



Instituto Politécnico  
de Viana do Castelo



**ASSOCIAÇÃO DE POLITÉCNICOS DO NORTE (APNOR)**  
**INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA**  
**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**PROPOSIÇÃO DE UM MODELO DE DECISÃO MULTICRITÉRIO PARA  
AVALIAÇÃO DE PROGRAMAS DE DESENVOLVIMENTO DE  
FORNECEDORES SUSTENTÁVEIS**

**Guilherme Kyu Fabris Hasegawa**

Dissertação apresentada ao Instituto Politécnico de Bragança para obtenção do  
Grau de Mestre em Gestão das Organizações, Ramo de Gestão de Empresas

Orientada por

**Carla Alexandra Soares Gerales**

**Francisco Rodrigues Lima Júnior**

Bragança, julho de 2021.





**ASSOCIAÇÃO DE POLITÉCNICOS DO NORTE (APNOR)**  
**INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA**  
**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**PROPOSIÇÃO DE UM MODELO DE DECISÃO MULTICRITÉRIO PARA  
AVALIAÇÃO DE PROGRAMAS DE DESENVOLVIMENTO DE  
FORNECEDORES SUSTENTÁVEIS**

**Guilherme Kyu Fabris Hasegawa**

Dissertação apresentada ao Instituto Politécnico de Bragança para obtenção do  
Grau de Mestre em Gestão das Organizações, Ramo de Gestão de Empresas

Orientada por

**Carla Alexandra Soares Gerales**

**Francisco Rodrigues Lima Júnior**

Bragança, julho de 2021.



## Resumo

Devido ao aumento da complexidade e da competitividade das cadeias de suprimentos, empresas compradoras vêm investindo recursos consideráveis em programas de desenvolvimento de fornecedores (PDF), a fim de aumentar sua vantagem competitiva e ganhar destaque no mercado. Além disso, pressões externas forçam as empresas a adotar práticas de sustentabilidade na gestão da cadeia de suprimentos. Nesse contexto, surgiram novos modelos e métricas para apoiar a avaliação de PDF, porém nenhum deles considera métricas alinhadas ao tripé da sustentabilidade. Portanto, o presente estudo propõe um modelo de decisão para avaliação de programas de desenvolvimento de fornecedores sustentáveis (PDFS) usando a técnica HFLTS-QFD, que é uma combinação de *hesitant fuzzy linguistic term sets* (HFLTS) com o método *quality function deployment* (QFD). Por meio da implementação do modelo utilizando o *software* MS Excel® e do desenvolvimento de uma aplicação em um caso ilustrativo, foi possível demonstrar o uso do modelo em um problema que envolveu a avaliação de cinco PDFS. Além disso, foi realizada uma análise de sensibilidade considerando um cenário otimista e outro pessimista, para avaliar a possibilidade de alteração da classificação dos PDFS, o que foi observado com três deles. O modelo proposto permite apoiar a escolha de critérios considerando seus pesos relativos e o grau de dificuldade de se coletar dados dos fornecedores ao avaliar cada PDFS, além de possibilitar a utilização de expressões linguísticas para lidar com decisões sob hesitação e incerteza. Os resultados também evidenciam a capacidade do método em auxiliar a tomada de decisão em grupo, considerando pesos para o julgamento dos decisores na escolha dos critérios.

**Palavras-chave:** Avaliação de programas de desenvolvimento de fornecedores sustentáveis, tomada de decisão multicritério, HFLTS-QFD, gestão de cadeias de suprimentos sustentáveis.

## Abstract

Due to the increased complexity and competitiveness of supply chains, purchasing companies have been investing considerable resources in supplier development programs (SDP), to increase their competitive advantage and gain prominence in the market. In addition, external pressures force companies to adopt sustainability practices in supply chain management. In this context, new models and metrics have emerged to support SDP assessment, but none of them consider metrics aligned with the sustainability. Therefore, this study proposes a decision model for evaluating sustainable supplier development programs (SSDP) using the HFLTS-QFD technique, which is a combination of hesitant fuzzy linguistic term sets (HFLTS) with the quality function deployment (QFD) method. Through the implementation of the model using MS Excel® software and the development of an application in an illustrative case, it was possible to demonstrate the use of the model in a problem that involved the evaluation of five SSDP. In addition, a sensitivity analysis was carried out considering an optimistic and a pessimistic scenario, to assess the possibility of altering the classification of the SSDP, which was observed with three of them. The proposed model allows to support the choice of criteria considering their relative weights and the degree of difficulty in collecting data from suppliers when evaluating each SSDP, in addition to enabling the use of linguistic expressions to deal with decisions under hesitation and uncertainty. The results also show the method's ability to assist group decision-making, considering weights for judging decision-makers when choosing criteria.

**Keywords:** Evaluation of sustainable supplier development programs, multicriteria decision making, HFLTS-QFD, sustainable supply chain management.

## Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me abençoado e protegido em todos os momentos até aqui. Agradeço a minha família, que me apoiaram e incentivaram mesmo distantes. A minha orientadora Prof Carla Alexandra Soares Geraldês, pela atenção e ser minha ponte com o IPB. Ao meu coorientador Prof Francisco Rodrigues Lima Junior, por todo apoio, atenção e dedicação para que este trabalho fosse realizado.

Agradeço ao Instituto Politécnico de Bragança e a Universidade Tecnológica Federal do Paraná que, por meio da mobilidade estudantil internacional e do programa de Dupla Diplomação entre Portugal e Brasil, possibilitaram que este trabalho fosse realizado com dedicação e garra, mesmo em meio a pandemia.

Aos meus amigos, que se fizeram perto mesmo estando distantes, em especial Elisa Salie, Fernanda Carvalho de Almeida, Kiara Olivetti, Mariana Buchmann, Natália Oliveira e Raphaela Gonçalves. Aos meus primos Guilherme Barreto de Assis e Paula Naomi Yamaguishi, pela ajuda, conselhos, abrigo e atenção em todo o período do intercâmbio.

Aos meus estimados amigos que me suportaram e viveram comigo esse tempo, Ana Paula Ranzan, Beatriz Meira Albino, Leonardo Correa e Thais Theomaris. Aos meus amores que estiveram junto comigo em todos os momentos. Muito obrigado, sem vocês eu não conseguiria!

---

## Lista de Abreviaturas e/ou Siglas

AHP – *Analytic Hierarchy Process*

ANP – *Analytic Network Process*

CBR – *Case-based Reasoning*.

DEA – *Data Envelopment Analysis*

DEMATEL – *Decision Making Trial and Evaluation Laboratory*

DF – *Desenvolvimento de Fornecedores*

ELECTRE – *Elimination Et Choix Traduisant La Réalité*

ESCM – *Environmental Supply Chain Management*

FST – *Fuzzy Set Theory*

GSCM – *Green Supply Chain Management*

HFLTSS – *Hesitant Fuzzy Linguistic Term Set*

IA – *Inteligência Artificial*

MCDM – *Multi-criteria Decision-Making*

MILP – *Mixed Integer Linear Programming*

PDF – *Programas de Desenvolvimento de Fornecedores*

PDFS – *Programas de Desenvolvimento de Fornecedores Sustentáveis*

PROMETHEE – *Preference Ranking Organization Method for Enriched Evaluation*

QFD – *Quality Function Deployment*

SCEM – *Supply Chain Environmental Management*

SCM – *Supply Chain Management*

SDP – *Supplier Development Programs*

SSCM – *Sustainable Supply Chain Management*

SSDP – *Sustainable Supplier Development Programs*

SSM – *Sustainable Supply Chain*

TBL – *Triple Bottom Line*

TOPSIS – *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*

VIKOR – *VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje*

---

# Índice Geral

|                                                                                             |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Índice de Figuras .....                                                                     | vii  |
| Índice de Tabelas .....                                                                     | viii |
| Introdução.....                                                                             | 1    |
| 1. Referencial Teórico .....                                                                | 5    |
| 1.1 Gestão de Cadeia de Suprimentos .....                                                   | 5    |
| 1.2 Gestão de Cadeia de Suprimentos Sustentáveis .....                                      | 7    |
| 1.3 Gestão de Fornecedores Sustentáveis .....                                               | 8    |
| 1.4 Desenvolvimento de Fornecedores .....                                                   | 13   |
| 1.5 Modelos de Decisão para Avaliação de Programas de Desenvolvimento de Fornecedores ..... | 16   |
| 1.6 O Método HFLTS-QFD .....                                                                | 27   |
| 1.6.1 Fundamentos da Teoria <i>Hesitant Fuzzy</i> .....                                     | 27   |
| 1.6.2 Definição de <i>Hesitant Fuzzy Linguistic Term Set</i> (HFLTS).....                   | 28   |
| 1.6.3 Transformação de expressões linguísticas em HFLTS .....                               | 28   |
| 1.6.4 Distância entre dois HFLTS .....                                                      | 29   |
| 1.6.5 Solução ideal positiva e negativa.....                                                | 30   |
| 1.6.6 Grau de satisfação de uma alternativa .....                                           | 30   |
| 1.6.7 QFD - Quality Function Deployment .....                                               | 31   |
| 1.6.8 Etapas do Método HFLTS-QFD.....                                                       | 32   |
| 2. Metodologia .....                                                                        | 34   |
| 2.1 Caracterização da Pesquisa .....                                                        | 34   |
| 2.2 Objetivo Geral .....                                                                    | 35   |
| 2.3 Objetivos Específicos .....                                                             | 35   |
| 3. Modelo proposto para avaliação de PDFS .....                                             | 37   |
| 3.1 Apresentação do modelo proposto .....                                                   | 37   |
| 3.2 Etapa 1 – Definição e avaliação de Requisitos.....                                      | 38   |
| 3.3 Etapa 2 – Definição e avaliação de Critérios .....                                      | 40   |
| 3.4 Etapa 3 – Avaliação da dificuldade da Coleta de Dados .....                             | 41   |
| 3.5 Etapa 4 – Avaliação dos PDFS .....                                                      | 43   |
| 4. Aplicação Ilustrativa .....                                                              | 45   |

---

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| 4.1 Determinação e Avaliação de Requisitos.....               | 46 |
| 4.2 Definição e Avaliação de Critérios .....                  | 48 |
| 4.3 Avaliação da dificuldade de Coleta de Dados.....          | 51 |
| 4.4 Avaliação dos PDFS.....                                   | 54 |
| 5. Análise de Sensibilidade .....                             | 57 |
| Conclusões, Limitações e Futuras Linhas de Investigação ..... | 62 |
| Referências Bibliográficas .....                              | 65 |

---

## Índice de Figuras

|                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1: Etapas do gerenciamento de fornecedores sustentáveis .....                               | 9  |
| Figura 2: Processo de seleção de fornecedores .....                                                | 9  |
| Figura 3: Estrutura hierárquica de relevância de temas na SSM .....                                | 11 |
| Figura 4: Ranking de critérios econômicos, ambientais e sociais mais encontrados na literatura.... | 12 |
| Figura 5: Critérios mais utilizados para avaliação de fornecedores sustentáveis .....              | 12 |
| Figura 6: Exemplos de programas de desenvolvimento de fornecedores sustentáveis .....              | 15 |
| Figura 7: Classificação da abordagem dos modelos em categorias e as possíveis combinações ..       | 18 |
| Figura 8: Classificação das abordagens utilizadas por frequência de aparição. ....                 | 25 |
| Figura 9: Conjunto básico de termos linguísticos .....                                             | 28 |
| Figura 10: Matriz QFD - Casa da qualidade .....                                                    | 32 |
| Figura 11: Modelo proposto para avaliação de PDFS .....                                            | 38 |
| Figura 12: Conjunto de cinco termos linguísticos .....                                             | 41 |
| Figura 13: Matriz de classificação de critérios .....                                              | 43 |
| Figura 14: Matriz de classificação de critérios .....                                              | 53 |
| Figura 15: Matriz de classificação dos critérios em cenário pessimista .....                       | 60 |
| Figura 16: Matriz de classificação dos critérios em cenário otimista .....                         | 60 |

---

## Índice de Tabelas

|                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1: Métricas adotadas por modelos de avaliação de PDF e sua frequência de uso.....         | 21 |
| Tabela 2: Critérios adotados pelos modelos para avaliação de PDF e seu tipo de abordagem .....   | 23 |
| Tabela 3: Características dos modelos de decisão para avaliar PDF .....                          | 24 |
| Tabela 4: Requisitos de desenvolvimento de fornecedores sustentáveis .....                       | 39 |
| Tabela 5: Expressões linguísticas usadas para avaliação dos requisitos .....                     | 39 |
| Tabela 6: Lista de possíveis critérios para avaliação de PDFS .....                              | 40 |
| Tabela 7: Requisitos selecionados pelos tomadores de decisão .....                               | 46 |
| Tabela 8: Avaliação do nível de importância dos requisitos com uso de expressões linguísticas .. | 46 |
| Tabela 9: Conversão do julgamento dos decisores em HFLTS.....                                    | 47 |
| Tabela 10: Resultado do cálculo dos pesos dos requisitos .....                                   | 47 |
| Tabela 11: Lista de critérios selecionados pelos decisores .....                                 | 48 |
| Tabela 12: Intensidade de relacionamento entre critérios e requisitos.....                       | 49 |
| Tabela 13: Conversão da intensidade de relacionamento para o formato de HFLTS.....               | 50 |
| Tabela 14: Resultados do cálculo dos pesos dos critérios de avaliação de PDFS .....              | 50 |
| Tabela 15: Julgamento dos decisores em relação ao grau de dificuldade de coleta de dados .....   | 51 |
| Tabela 16: Julgamentos sobre a dificuldade de coleta de dados convertidos em HFLTS .....         | 52 |
| Tabela 17: Resultado do cálculo do grau de dificuldade da coleta de dados.....                   | 52 |
| Tabela 18: Avaliação dos PDFS pelos tomadores de decisão .....                                   | 55 |
| Tabela 19: Avaliação dos PDFS convertida em HFLTS .....                                          | 55 |
| Tabela 20: Classificação dos PDFS avaliados.....                                                 | 56 |
| Tabela 21: Resultado da análise de sensibilidade nos cenários pessimista e otimista.....         | 59 |

## Introdução

Um dos desafios das organizações para se obter vantagem competitiva quanto a concorrência em nível global é incorporar a sustentabilidade na gestão de cadeia de suprimentos. Rocha, Gomes, Kneipp, e Camargo (2015, p. 294) afirmam que a gestão de cadeias de suprimentos sustentável deve “incorporar aspectos econômicos, sociais e ambientais na estratégia e nas operações das organizações, considerando os impactos socioambientais relacionados à atividade produtiva”. Assim sendo, além de melhorar continuamente as operações logísticas e de manufatura, o atendimento de requisitos ambientais e sociais passa a ser de suma importância para as empresas se destacarem no mercado (Zimmer, Fröhling, & Schultmann, 2016).

Por conta de regulamentações ou pressão externas de clientes, o desenvolvimento de fornecedores (DF) é importante para organizações envolvidas em cadeias de suprimentos com requisitos ambientais e sociais crescentes e mais rígidos, a fim de alcançar resultados importantes quanto ao tripé da sustentabilidade (*triple bottom line* – TBL) (Dou, Zhu, & Sarkis, 2014; Bai, Dhavale, & Sarkis, 2016). Toda cadeia de suprimentos pode sofrer impactos por conta de os fornecedores não adotarem práticas sustentáveis (Lu, Lee, & Cheng, 2012). Muitos fornecedores não conseguem implementar ou levar em consideração a sustentabilidade por conta da falta de *expertise* gerencial

---

e tecnológica, dentre outros recursos (Ehrgott, Reimann, Kaufmann, & Carter, 2013). Consequentemente, faz-se necessário um maior desprendimento por parte da empresa compradora, a fim de melhorar o desempenho de seus fornecedores em aspectos relacionados a sustentabilidade (Fu, Zhu, & Sarkis, 2012; Akman, 2015; Schmidt, Foerstl, & Schaltenbrand, 2017). É por meio das relações com fornecedores que as empresas compradoras acessam e alavancam recursos (Glavee-Geo, 2019), as quais podem ser melhoradas a partir da execução de programas de desenvolvimento de fornecedores.

Para Shokri, Nabbani, e Hodgson (2010), o DF é um conjunto de atividades de suporte advindas do fabricante a fim de melhorar o fornecedor. Segundo Bai e Sarkis (2011), o processo de DF se inicia antes mesmo da fabricação do produto. A construção das cadeias de suprimentos depende da capacidade estratégica que a organização possui, e precisa conter bases muito bem estruturadas para o processo de seleção dos fornecedores. No processo de DF, as organizações decidem quais os fornecedores serão desenvolvidos, quais os programas serão implantados, como serão avaliados e quais manutenções serão necessárias (Glock, Glosse, & Ries, 2017). A identificação de programas de desenvolvimento de fornecedores (PDF) eficientes pode amparar a tomada de decisão nas organizações, principalmente em relação à alocação de investimento. Contudo, faz-se necessário analisar quão eficiente está sendo esse processo de desenvolvimento dos fornecedores, se as métricas utilizadas são eficazes e se os programas desenvolvidos estão surtindo efeito (Glock et al., 2017).

Na literatura existem alguns modelos propostos a apoiar a avaliação de programas de desenvolvimento de fornecedores, os quais consideram critérios de avaliação como: qualidade, logística, saúde financeira e recursos técnicos, entre outros (Olsen & Ellram, 1997; Araz & Ozkarahan, 2007; Sarkar & Mohapatra, 2006; Omurca, 2013; Rezaei & Ortt, 2013). Foram encontrados três artigos de revisão sistemática da literatura que contemplam modelos de decisão para avaliação de programas de desenvolvimento de fornecedores. Zimmer et al. (2016) analisaram 143 artigos que apresentaram modelos quantitativos e qualitativos de apoio à decisão na gestão de fornecedores sustentáveis, englobando os estágios de seleção, monitoramento e desenvolvimento de fornecedores. Glock et al. (2017) revisaram 46 artigos e apresentaram uma relação de modelos de decisão para desenvolvimento de fornecedores, compreendendo as fases de seleção, desenvolvimento, e monitoramento e avaliação. O artigo desenvolvido por Zimmer et al. (2016) demonstra que a maioria dos trabalhos estudados (81%) estão voltados ao problema de seleção de fornecedores, enquanto poucos estudos englobam o desenvolvimento e avaliação de fornecedores. No estudo de Glock et al. (2017), essa negligência também é observada, uma vez que há uma baixa frequência de modelos que avaliam programas de desenvolvimento de fornecedores (10,9%). Resende e Lima-Junior (2019) realizaram uma revisão em 23 artigos sobre modelos de suporte à formulação e avaliação de PDF, sendo que 13 (56,5%) focam em apoiar a formulação de PDF e 10 (43,5%) visam avaliar os PDF após sua implementação. Além disso, esse estudo destaca a predominância de uso de técnicas de tomada de decisão multicritério (MCDM) para apoiar os gestores envolvidos nos processos de desenvolvimento de fornecedores. Dos 23 artigos analisados por Resende e Lima-Junior (2019), 15 (65,2%) adotaram alguma técnica apropriada para apoiar a

---

tomada de decisão em ambientes de incerteza, caracterizados pela ausência de informações precisas sobre o desempenho dos fornecedores, uso de critérios qualitativos e de julgamentos subjetivos dos decisores. Dentre as abordagens identificadas para lidar com essas decisões sob incerteza, a mais recorrente é a *Fuzzy Sets Theory*, que costuma ser usada isoladamente ou de forma combinada com outros métodos. Quanto à capacidade de apoiar situações de decisão em grupo, 8 dos 13 modelos (61,5%) são aptos a considerar a opinião de dois ou mais decisores (ou especialistas) na tomada de decisão. Dentre os 10 artigos sobre avaliação de PDF, apenas 5 englobam critérios no âmbito ambiental e nenhum contempla critérios que abranjam as três dimensões da sustentabilidade.

Além desses estudos de revisão da literatura sobre modelos de decisão para o desenvolvimento de fornecedores, Xu e Zhang (2019) apresentam uma revisão sistemática das aplicações de técnicas baseadas em conjuntos *hesitant fuzzy* em diferentes problemas de decisão. Esses autores não encontraram estudos que realizem aplicações desse tipo de técnica na avaliação de programas de desenvolvimento de fornecedores. Baseado nesses artigos de revisão sistemática e por meio de pesquisa bibliográfica realizada no presente estudo, constatou-se que nenhum dos estudos encontrados apresenta um modelo de decisão para avaliação de programas de desenvolvimento de fornecedores sustentáveis (PDFS), ou seja, que considere critérios associados às dimensões econômica, ambiental e social, nenhum dos modelos apoia a escolha de critérios de avaliação de PDF levando em conta a intensidade da relação entre estes critérios e os requisitos de desenvolvimento do fornecedor, ou seja, os fatores nos quais o fornecedor carece de melhoria. Também não consideram a dificuldade para coletar informações sobre o desempenho dos PDF como um fator de decisão na escolha dos critérios. Além disso, na literatura não há modelos que utilizem técnicas *hesitant fuzzy* na avaliação de PDF. Nesse sentido, nenhum dos modelos encontrados permite que os tomadores de decisão utilizem dois ou mais termos linguísticos, bem como expressões linguísticas (como “entre médio e alto”) para expressar seus julgamentos quanto ao peso de uma métrica ou ao desempenho de um PDF, e embora diversas técnicas MDCM sejam utilizadas na avaliação de PDF, somente 6 modelos (Awasthi & Kanna, 2016; Bai & Sarkis, 2011; Fu et al., 2012; Kumar & Routroy, 2017a; Kumar & Routroy, 2017b; Routroy, Pradhan, & Kumar, 2016) são adequados para a tomada de decisão em grupo, ou seja, envolvendo os julgamentos de dois ou mais especialistas.

O desenvolvimento de um novo modelo de apoio a decisão baseado em uma combinação de *Hesitant Fuzzy Linguistic Term Set* (HFLTS) (Rodríguez, Martínez, & Herrera, 2012) com a metodologia *Quality Function Deployment* (QFD), denominada HFLTS-QFD, pode contribuir para o preenchimento das lacunas encontradas, além de contribuir para esta área de estudo ainda pouco explorada. A técnica HFLTS-QFD desenvolvida por Osiro, Lima-Junior, e Carpinetti (2018), permite com que os tomadores de decisão utilizem um ou mais termos linguísticos ou expressões linguísticas para auxiliar seu julgamento em ambientes de incerteza e hesitação, para avaliar sistematicamente requisitos, critérios e alternativas. Diante do contexto apresentado, propõe-se os objetivos deste estudo.

---

O texto desta dissertação segue uma estrutura lógica que se divide em seis capítulos, sendo eles:

1. Referencial teórico: contém uma revisão da literatura sobre o tema de gestão de cadeias de suprimentos, gestão de fornecedores e das principais nomenclaturas e definições utilizadas pela literatura. Também mapeia a literatura sobre modelos de decisão para avaliação de PDF e descreve os fundamentos e as etapas do método HFLTS-QFD;
2. Metodologia: explica em que tipo de pesquisa científica esta dissertação se encaixa e quais os passos tomados para atender o objetivo geral e os objetivos específicos a que se destinam a pesquisa;
3. Proposição do modelo: detalha o modelo para avaliação de programas de desenvolvimento de fornecedores sustentáveis e suas etapas de implementação;
4. Aplicação ilustrativa do modelo: apresenta a aplicação de todas as etapas do modelo com base em dados simulados, analisando os resultados em cada etapa do processo;
5. Análise de sensibilidade: analisa o comportamento do modelo proposto em diferentes cenários;
6. Conclusões: apresenta uma conclusão dos resultados obtidos em relação ao modelo aplicado, diferenciais em relação aos modelos prévios encontrados na literatura e sugestão para trabalhos futuros.

---

# 1. Referencial Teórico

## 1.1 Gestão de Cadeia de Suprimentos

Embora a logística já exista há muitos séculos, as noções de cadeias de suprimentos (*supply chain*) e gerenciamento da cadeia de suprimentos (*supply chain management*) são fenômenos muito mais recentes. No início dos anos 1980, Oliver e Webber (1982) discutiram os benefícios potenciais da integração das funções internas de negócios de compra, fabricação, vendas e distribuição. Para Taschner e Charifzadeh (2020) essa ideia logo foi estendida para além dos limites organizacionais de uma empresa, a fim de incluir também as tarefas e atividades que agregam valor realizadas por parceiros externos (fornecedores, distribuidores etc.). A cadeia de suprimentos engloba toda a rede corporativa de funções logísticas tradicionais, não se limitando a tarefas de transporte e armazenamento, com o objetivo de integrar as operações e processos entre empresas fornecedores e clientes finais, a fim de aumentar a eficiência, estimular a troca de informações entre as partes

---

envolvidas e agregar valor ao produto ou serviço e/ou proporcionar maior vantagem competitiva frente a outras empresas (Taschner & Charifzadeh, 2020; Lambert & Cooper, 2000).

A gestão da cadeia de suprimentos pode ser definida como “a gestão das relações a montante e a jusante com fornecedores e clientes, a fim de fornecer valor superior ao cliente com menor custo para a cadeia de suprimentos como um todo” (Christopher, 2016, p. 3). Para gerenciar essas relações é necessário um ótimo controle de todos os processos, tanto dentro da empresa quanto com todas as partes envolvidas, desde o estratégico até o operacional, de modo com que não se percam informações (Back, Schrippe, Pazuch, Weise, & Kovaleski, 2015).

Existem vários benefícios em realizar a gestão da cadeia de suprimentos numa organização, uma vez que é possível gerenciar melhor todos os recursos envolvidos e interligados, tanto da própria empresa quanto dos demais envolvidos na rede. Contudo, é preciso superar vários desafios para alcançar esses resultados, uma vez que surgem pressões advindas de clientes mais exigentes, necessidade do uso de novas tecnologias, integrar equipe e processos, mensurar resultados, relacionamento com fornecedores, dentre outros fatores (Avelar-Sosa, García-Alcaraz, & Maldonado-Macías, 2019).

Nos últimos anos, as organizações têm percebido que uma boa gestão das cadeias de suprimentos é um fator chave para impulsionar a empresa frente às demais. Várias ferramentas e métricas de desempenho vêm sendo utilizadas para monitorar e avaliar os componentes das cadeias para prevenir ou evitar falhas no processo, a fim de quantificar a eficiência e efetividade dos componentes e subcomponentes que compõem a cadeia (Taschner & Charifzadeh, 2020).

Em um estudo de revisão sistemática sobre modelos de avaliação de desempenho de cadeias de suprimentos, Lima-Junior e Carpinetti (2017) investigaram as estratégias competitivas adotadas pelas cadeias concomitantes aos requisitos de mercado em que estão inseridas, e destacaram os seguintes tipos de estratégia de cadeias de suprimentos:

1. enxuta: que se caracteriza por alto volume, baixa variabilidade de produtos, baixo custo, alta confiança e baixo risco;
2. ágil: que consegue obter respostas rápidas às demandas externas frente a mercados competidores;
3. flexível: que consegue se adequar a novos cenários, encontrando soluções inovadoras frente a problemas não planejados;
4. verde: tem foco em processos, tecnologias e capacidade, combinado com questões ambientais como forma de destaque mercadológico;
5. sustentável: leva em conta os aspectos ambientais e sociais combinados com aspectos econômicos, formando um tripé – *triple bottom line* (Elkington, 2004).

As cadeias de suprimentos sustentáveis são um campo cada vez mais explorado, tanto por pesquisadores e empresas que desejam obter um maior entendimento nesta área (implantação, alinhamento e relacionamento com partes envolvidas), quanto por empresas que sofrem com

---

pressões externas advindas de consumidores, fornecedores, normas regulamentadoras, legislações, dentre outros, e por isso precisam suprir tais necessidades (Zimmer et al., 2016).

## 1.2 Gestão de Cadeia de Suprimentos Sustentáveis

A partir dos anos 80, os termos sustentabilidade e desenvolvimento sustentável começam a conquistar seu espaço por conta de uma crise ambiental em que o mundo passava (Nascimento, 2012), e se encontra ainda hoje. Desde então, as organizações vêm sofrendo pressões externas por parte de clientes, fornecedores, distribuidores e devem, de acordo com a definição de desenvolvimento sustentável, “atender às necessidades do presente, sem comprometer a possibilidade das futuras gerações atenderem suas próprias necessidades” (Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento [CMMAD], 1991, p. 46). Ou seja, é necessário implementar modelos de gestão alinhados às propostas do desenvolvimento sustentável.

A partir de 1990, surgiram conceitos que englobam preocupações ambientais à gestão de cadeias de suprimentos (*supply chain management*, SCM), tais como: gestão ambiental da cadeia de suprimentos (*supply chain environmental management*, SCEM) (Lippman, 2001); gestão da cadeia de suprimentos verde (*green supply chain management*, GSCM) (Srivastava, 2007); gestão da cadeia de suprimentos ambiental (*environmental supply chain management*, ESCM) (Walker, Sisto, & McBain, 2008); gestão de cadeias de suprimentos sustentáveis (*sustainable supply chain management*, SSCM) (Carter & Rogers, 2008). Apesar de serem muitos os conceitos utilizados na literatura, todas as definições se referem a mesma preocupação. Carter e Rogers (2008, p. 368) conceituam a SSCM como “[...] integração e realização estratégica e transparente de metas sociais, ambientais e econômicas da organização na coordenação sistêmica de processos intraorganizacionais de negócios com o objetivo de melhorar o desempenho econômico de longo prazo da empresa e de suas cadeias de suprimentos”.

Muitas organizações de diversos segmentos mercadológicos têm utilizado a gestão de cadeia de suprimentos, englobando a sustentabilidade nessa gestão, a fim de gerar vantagem competitiva e longevidade frente aos seus concorrentes (Rocha et al., 2015). Segundo Pedroso (2019), nos últimos anos é crescente a preocupação das empresas em integrar aspectos sociais e ambientais aos aspectos econômicos em suas organizações, por pressões externas vindas de clientes, parceiros e acionistas. Além disso, por conta da complexidade dessas integrações, mais pesquisas têm sido realizadas a fim de elaborar métricas e modelos para avaliar a sustentabilidade de cadeias de suprimentos.

Integrar as práticas sustentáveis em empresas membras das cadeias de suprimentos não é algo fácil, uma vez que no processo de desenvolvimento e avaliação do desempenho, não é apenas a qualidade dos produtos e serviços ofertados que os compradores terão de avaliar, mas também outros fatores sociais e ambientais definidos de acordo com o contexto da empresa (Bai & Sarkis, 2011). Outra questão é de estabelecer métricas para avaliar e comparar o desempenho sustentável das cadeias de suprimentos, já que, além de estarem alinhadas com a questão estratégica da organização, têm de ser pensadas em termos de importância e facilidade em relação à obtenção

---

das informações envolvidas. A dificuldade de coletar tais informações pode estar atrelada ao fato de a organização não dispor de tempo e outros recursos, tanto humanos quanto financeiros, para realizar a avaliação dos fornecedores em todas as métricas escolhidas (Lee, So, & Tang, 2000; Zhong, Newman, Huang, & Lan, 2016). Outra dificuldade é que essa coleta de dados requer um alto nível de confiança entre as partes envolvidas (Ebrahim-Khanjari, Hopp, & Iravani, 2012; Tsanos & Zografos, 2016).

As métricas para avaliar a sustentabilidade das cadeias de suprimentos se referem a medidas e indicadores que servem como ferramentas de gestão e mensuram o impacto das práticas sustentáveis (Aires, Lopes, Machado, Sales Jr, & Silva, 2015). Elas podem ser qualitativas ou quantitativas e estar relacionadas a aspectos econômicos, sociais e ambientais (Ahmadi, Kusi-Sarpong, & Rezaei, 2017). O desenvolvimento de métricas e a avaliação da sustentabilidade devem ser um processo contínuo e devem englobar todos os envolvidos na cadeia de suprimentos (fornecedores, clientes, distribuidores, dentre outros). Para isto, é fundamental definir métricas para monitorar e avaliar os componentes que constituem as cadeias, ou seja, é necessário obter dados adequados para calcular os indicadores (Assadourian & Prugh, 2013). Sendo assim, a avaliação da sustentabilidade na maioria dos estudos é realizada com base no conhecimento de especialistas ao invés de informações puramente numéricas, por ser necessário uma grande quantidade de dados históricos de todos os envolvidos (Lima-Junior & Carpinetti, 2017), além do fato de que não haver uma padronização de indicadores sobre métricas sustentáveis fornecidas pelas empresas (Zimmer et al., 2016).

As seções a seguir detalham dois processos essenciais da gestão de cadeias de suprimentos sustentáveis, que constituem o tema central do presente estudo: a gestão de fornecedores sustentáveis e, mais especificamente, o desenvolvimento de fornecedores.

### **1.3 Gestão de Fornecedores Sustentáveis**

É crescente a interdependência entre fabricantes e fornecedores nas empresas modernas. Uma prática muito adotada pelos fabricantes é a terceirização de atividades não essenciais, uma vez que estes podem se concentrar em suas reais competências a fim de obter maior vantagem competitiva (Routroy & Pradhan, 2014). Por conta disso, cadeias de suprimentos mais longas e integradas têm se formado, porém mais incertas, dinâmicas e sujeitas a acidentes, ou seja, mais vulneráveis (Taschner & Charifzadeh, 2020). Consequentemente, deve haver um gerenciamento eficaz de fornecedores para garantir melhor coordenação e desempenho ao longo da cadeia de suprimentos.

Segundo Zimmer et al. (2016), a gestão de fornecedores sustentáveis (*sustainable supplier management* - SSM), pode ser entendida como a gestão de todas as atividades da cadeia de suprimentos relacionadas com os componentes ou serviços adquiridos, gerando resultados para maximizar o tripé de sustentabilidade (econômico, social e ambiental). Para esses autores, na SSM existem os processos de seleção, monitoramento e desenvolvimento de fornecedores, atuantes de forma independente, porém interrelacionados, como mostra a Figura 1.

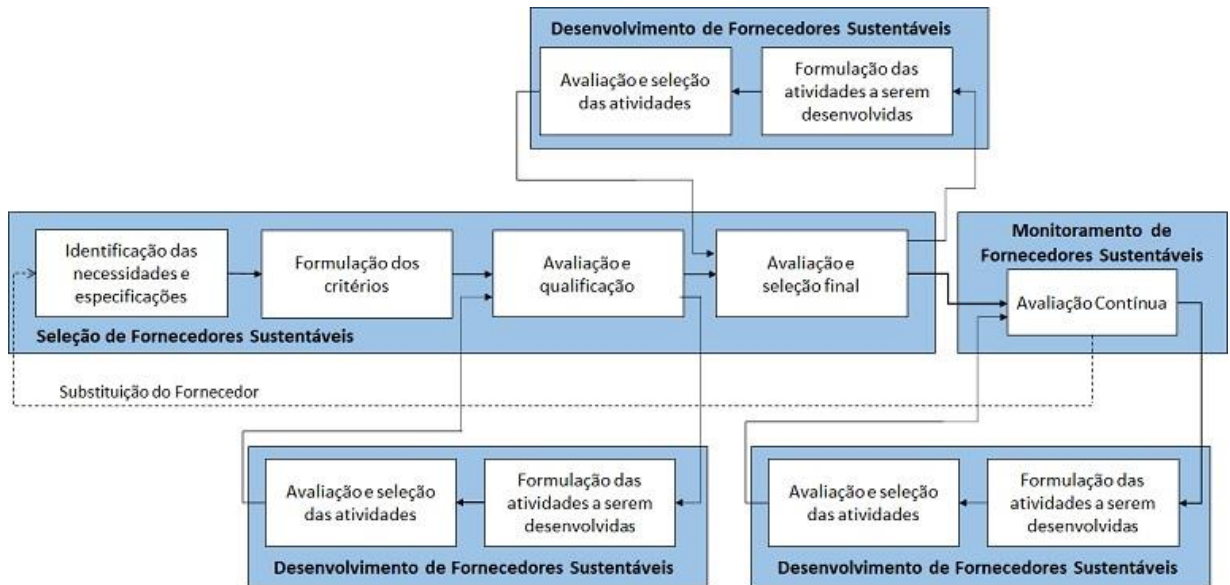


Figura 1: Etapas do gerenciamento de fornecedores sustentáveis  
 Fonte: Adaptado de Zimmer et al. (2016, p.3)

O processo de seleção de fornecedores, segundo Zimmer et al. (2016), envolve várias etapas, começando normalmente com a identificação das necessidades da empresa (definição do problema), seguido de um levantamento de critérios e a qualificação destes, e posteriormente a escolha efetiva dos fornecedores com maior desempenho. Esses autores entendem a seleção de fornecedores sustentáveis como um processo de identificação e avaliação dos fornecedores mais adequados no que diz respeito às três dimensões da sustentabilidade, com o objetivo de selecionar as opções que apresentam o melhor desempenho ao longo da cadeia de suprimentos. O processo de seleção de fornecedores supracitado consiste em várias etapas e está alinhado com a sequência lógica apresentada na Figura 2, proposta por de Boer, Labro, e Morlacchi (2001).

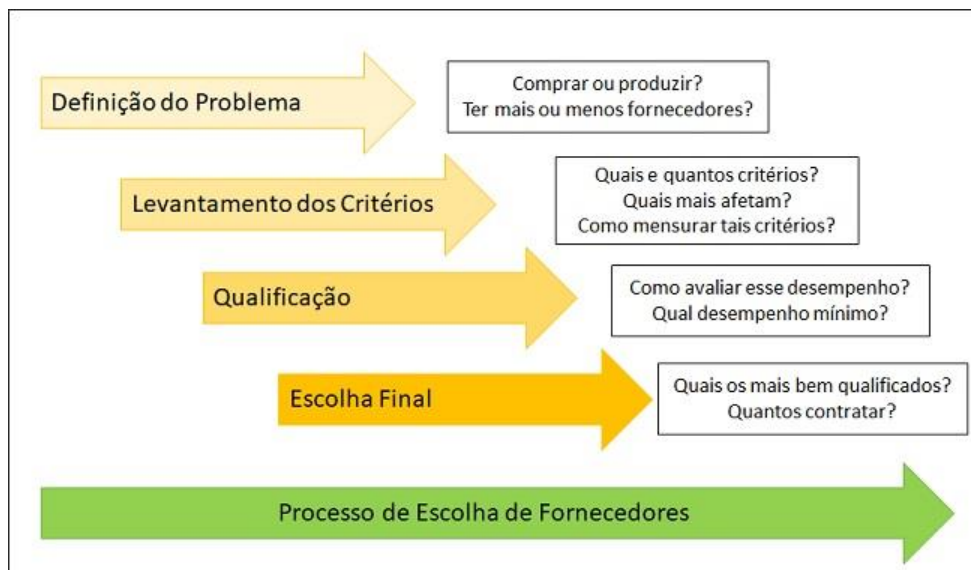


Figura 2: Processo de seleção de fornecedores  
 Fonte: adaptado de Lima-Junior, Osiro, e Carpinetti (2014, p.195) e Boer et al. (2001, p.77)

---

O monitoramento dos fornecedores é um processo que acontece posteriormente à seleção, ou seja, é um processo independente do primeiro, porém interrelacionado. Consiste em uma avaliação, análise e acompanhamento contínuo dos fornecedores, a fim de verificar o desempenho destes frente aos critérios definidos anteriormente, além de poder servir como suporte a decisão de substituição destes por outros que atendam melhor os requisitos (Zimmer et al., 2016).

A avaliação de desempenho ocorre em todo o processo de gestão de fornecedores sustentáveis, porém com finalidades distintas. Enquanto na etapa de seleção o foco é identificar os fornecedores que atendam aos requisitos mínimos estabelecidos, na etapa de desenvolvimento o foco da avaliação passa a ser identificar os fornecedores que não atendem os requisitos mínimos do comprador, bem como detectar os fatores nos quais estes apresentam baixo desempenho, para que a empresa compradora possa implementar atividades que melhorem o desempenho e as capacidades do fornecedor. Após a implementação dos programas de desenvolvimento para os fornecedores selecionados, realiza-se uma reavaliação a fim de verificar qual foi o desempenho obtido com a implementação dos programas. Essa avaliação pode indicar quais os programas mais eficazes, quais devem ser interrompidos ou, até mesmo, quais fornecedores devem ser substituídos, em busca de uma melhoria contínua (Zimmer et al., 2016).

Em sua revisão sistemática sobre modelos de decisão de apoio à SSM, Zimmer et al. (2016) desenvolveram uma estrutura hierárquica de temas e subdivisões desses, de acordo com os pilares da sustentabilidade, ou seja, cada tema representa um conjunto de critérios usados para avaliar o desempenho dos fornecedores. Os principais temas e subtemas estão ilustrados na Figura 3. Na sequência, os critérios mais comuns encontrados nesse estudo são apresentados em ordem de frequência de utilização na Figura 4.

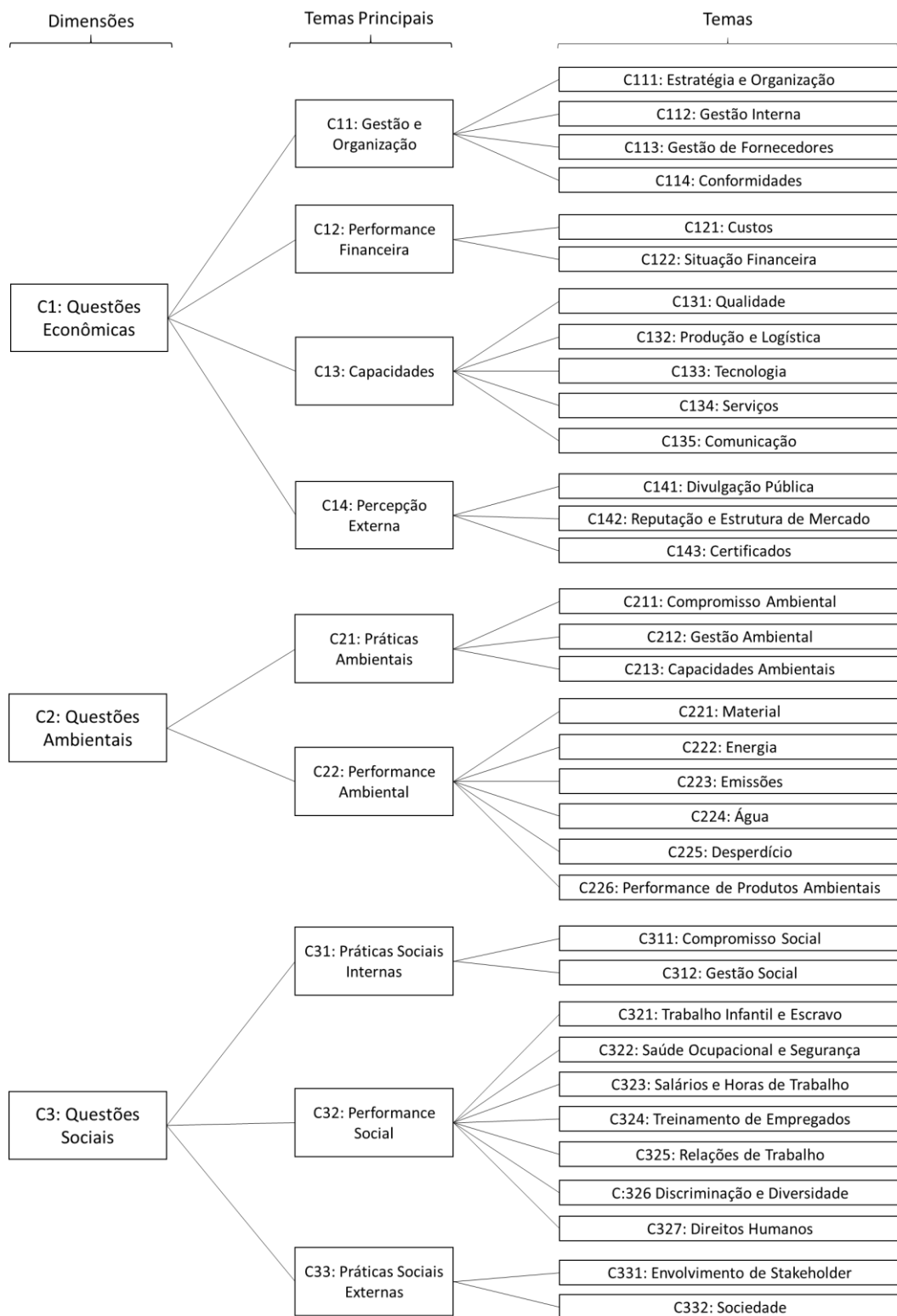


Figura 3: Estrutura hierárquica de relevância de temas na SSM  
 Fonte: adaptado de Zimmer et al. (2016, p.8) a partir de Benoît (2009); Lee et al. 2009; Bai e Sarkis (2010); Benoît et al. (2010); Sloan (2010); Govindan, Khodaverdi, e Jafarian (2013); Global Reporting Initiative (2013).

| <b>Crítérios Econômicos</b> | <b>Crítérios Ambientais</b> | <b>Crítérios Sociais</b>          |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| Qualidade                   | Sistema de gestão ambiental | Envolvimento dos stakeholders     |
| Flexibilidade               | Consumo de recursos         | Treinamento de staff              |
| Preço                       | Ecodesign                   | Comprometimento com gestão social |
| Prazo de entrega            | Reciclagem                  | Saúde e Segurança                 |
| Relacionamento              | Controle de impactos        | Relacionamento com stakeholders   |
| Custo                       | Consumo de água             | Código social de conduta          |
| Capacidade técnica          | Consumo de energia          | Doações a projetos sustentáveis   |
| Custos de logística         | Reuso                       | Direitos dos stakeholders         |
| Logística reversa           | Emissões de ar              | Práticas de segurança             |
| Taxa de rejeição            | Código ambiental de conduta | Número de acidentes anuais        |

Nota: Os critérios estão organizados em ordem decrescente de frequência de utilização.  
 Figura 4: Ranking de critérios econômicos, ambientais e sociais mais encontrados na literatura  
 Fonte: adaptado de Zimmer et al. (2016, p.19).

Rashidi, Noorizadeh, Kannan, e Cullinane (2020) realizaram uma revisão sistemática da literatura no campo da seleção de fornecedores sustentáveis considerando o tripé da sustentabilidade, abrangendo um universo temporal de 1990 a 2018. Esses autores encontram 1219 critérios utilizados para avaliar os fornecedores. Dentre esses critérios, 488 estão relacionados com aspectos econômicos, 433 a aspectos ambientais e 298 a aspectos sociais. No entanto, nem todos são amplamente utilizados, ao passo que apenas 47 dos critérios econômicos tiveram ao menos duas ocorrências nos artigos analisados. No caso dos critérios ambientais e sociais, foram encontrados 45 e 37 critérios respectivamente, com pelos menos duas ocorrências de uso. A Figura 5 lista os critérios mais frequentes encontrados em relação a cada dimensão da sustentabilidade.

| <b>Econômicos</b>      | <b>Ambientais</b>           | <b>Sociais</b>                            |
|------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------|
| Qualidade              | Sistema de gestão ambiental | Segurança do trabalho e saúde do trabalho |
| Entrega                | Reciclagem                  | Condições de trabalho                     |
| Custo                  | Controle de poluição        | Responsabilidade social                   |
| Preço                  | Eco-design                  | Divulgação de informações                 |
| Capacidade Tecnológica | Consumo de energia          | Influência nas comunidades locais         |
| Flexibilidade          | Emissões atmosféricas       | Flexibilidade de trabalho                 |

Figura 5: Critérios mais utilizados para avaliação de fornecedores sustentáveis  
 Fonte: adaptado Rashidi et al. (2020, p.13)

Segundo Rashidi et al. (2020), quando os critérios selecionados são bem justificados e refletem o desempenho real do fornecedor, os tomadores de decisão podem confiar nos resultados da avaliação e aplicá-los em seu sistema de suporte à decisão. Em ambos os estudos de Zimmer et al. (2016) e Rashidi et al. (2020), observa-se que os critérios encontrados são quase os mesmos, porém o que muda é a frequência de uso de cada um. Apesar de ambos os estudos terem relação com

---

avaliação de fornecedores, o foco não é o mesmo. Contudo, os critérios que aparecem em ambos os estudos são utilizados como métricas para avaliação de programas de desenvolvimento de fornecedores. Esse assunto é discutido na seção a seguir.

## **1.4 Desenvolvimento de Fornecedores**

O desenvolvimento de fornecedores (DF) é um elemento-chave da gestão dos fornecedores (Routroy & Pradhan, 2014). Segundo Krause, Handfield, e Scannell (1998), o DF é definido como "qualquer conjunto de atividades realizadas por uma empresa compradora para identificar, medir e melhorar o desempenho do fornecedor e facilitar a melhoria contínua do valor geral dos bens e serviços fornecidos à unidade de negócios da empresa compradora " (p.40). Portanto, gerenciar o desempenho dos fornecedores e promover sua melhoria contínua se tornou um item de sobrevivência das organizações a longo prazo (Bai & Sarkis, 2011).

As cadeias de suprimentos devem ser construídas e alinhadas com a capacidade estratégica da empresa, por isso antes de realizar o DF é necessário realizar uma boa seleção, a fim de evitar investir recursos de forma desnecessária (Routroy & Pradhan, 2013). Após possuir uma rede bem integrada e conectada no processo de DF, é necessário verificar quais fornecedores serão incluídos nos programas de desenvolvimento, quais práticas serão adotadas e realizar o monitoramento de todo o processo (Bai & Sarkis, 2011).

Segundo Wagner (2011), após identificar a necessidade de desenvolvimento de um ou mais fornecedores, é preciso implementar iniciativas (diretas ou indiretas) para efetivamente desenvolvê-los. As iniciativas podem ser diretas (ou internalizadas), quando a empresa compradora se envolve ativamente na melhoria do desempenho do fornecedor, dedicando recursos mais específicos; e indiretas (ou externalizadas), quando a empresa tenta influenciar o ambiente em que o fornecedor atua incentivando seu desenvolvimento por conta própria, ou seja, a atuação da empresa compradora é mais direcionada ao ambiente do que ao fornecedor.

O desenvolvimento tanto direto como indireto dos fornecedores, segundo Glock et al. (2017), consiste em três etapas principais:

1. Preparar o desenvolvimento do fornecedor: avaliar quais as melhorias necessárias e identificar os fornecedores que se pretende desenvolver;
2. Desenvolver o(s) fornecedor(es): a partir do momento em que a empresa compradora decide desenvolver um ou mais fornecedores, ela precisa selecionar quais os atributos do fornecedor serão aprimorados, e posteriormente, decidir qual programa de desenvolvimento irá utilizar e implementar o mesmo.
3. Monitorar e controlar o desenvolvimento do fornecedor: após os programas terem sido implementados, é necessário acompanhar seu desempenho, verificando sua eficácia e eficiência. Cada programa é analisado e, caso os resultados não saiam conforme o esperado, pode-se realizar modificações ou o cancelamento do programa, ou até mesmo a substituição do fornecedor.

---

Glock et al. (2017, p.23) comentam ainda que, o monitoramento dos programas de desenvolvimento de fornecedores refere-se a “uma supervisão contínua das atividades de DF durante a execução das atividades para garantir que as atividades de desenvolvimento do fornecedor sejam implementadas conforme pretendido e que contribuam para os objetivos do comprador”. No caso de a empresa compradora verificar que as atividades implementadas não estejam de acordo com o esperado, ou tenham sido realizadas de forma incorreta, ela pode alterar, ajustar ou cancelar tais medidas. Já no caso da avaliação, o processo ocorre em um momento após a implantação das atividades de desenvolvimento, onde a empresa compradora verifica o desempenho do programa em si (análise de custo-benefício, por exemplo). Esses resultados podem servir como *insights* para novas implementações, bem como para verificar se o desenvolvimento e os programas foram adequados, e identificar pontos positivos e negativos para a empresa compradora e o fornecedor.

O desenvolvimento de fornecedores sustentáveis (DFS) é definido como um conjunto de atividades realizadas por uma empresa compradora para identificar e, posteriormente, melhorar o desempenho dos fornecedores (Krause et al., 1998), em todos os três pilares do *triple bottom line*, podendo incluir o desenvolvimento de novos produtos, processos e tecnologias (Ağan, Kuzey, Acar, & Açıkgöz, 2016). Pesquisas existentes sugerem que o DFS pode melhorar o desempenho do fornecedor através da implantação bem sucedida de programas de desenvolvimento (Foerstl, Reuter, Hartmann, & Blome, 2010; Wu, 2017; Yawar, & Seuring, 2018), que apesar de geralmente envolverem investimentos de longo prazo (Ağan et al., 2018), também estão associados a um melhor desempenho geral e financeiro da empresa (Akhavan & Beckmann, 2017; Ağan et al., 2018). Alguns exemplos de programas de desenvolvimento de fornecedores sustentáveis estão descritos na Figura 6, a qual foi adaptada de Bai e Sarkis (2010) e Lu et al. (2012).

| <b>Programas de SSD</b>                                                           | <b>Exemplos</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Transferência e comunicação de conhecimento verde</b>                          | Treinamento de funcionários de fornecedores em questões ambientais; treinamento os fornecedores nas expectativas das partes interessadas; treinamento de usuários em recursos ambientais; treinamento de fornecedores em controles ambientais e de custos; dar conselhos sobre manufatura verde e aumentar a conscientização para fornecedores. |
| <b>Investimento e transferência de recursos</b>                                   | Investir na melhoria dos processos de transação; reduzir os custos ambientais fornecedor; resolver problemas técnicos ambientais do fornecedor; financiar os principais gastos ambientais de capital do fornecedor; transferência de funcionários de fornecedores com experiência ambiental para empresa compradora.                            |
| <b>Práticas de gestão e organizacionais</b>                                       | Exigir certificação ISO 14000 para fornecedores; contratos de longo prazo com dimensões ambientais incorporadas; introduzir equipe multifuncional da cadeia de suprimentos com presença ambiental; construir o compromisso / apoio da alta administração dentro da organização compradora para as práticas ambientais.                          |
| <b>Discutir, implementar e compartilhar conceitos sociais com o fornecedor</b>    | Fornecer e compartilhar conhecimento com fornecedores em temas sociais para melhorar o desempenho ético; comunicar comportamentos sociais e éticos esperados e requisitos de uma forma clara e precisa aos fornecedores.                                                                                                                        |
| <b>Avaliação do fornecedor em questões sociais</b>                                | Avaliar e auditar o desempenho ético dos fornecedores e fornecer feedback e recompensas a eles; exigir que os fornecedores adotem uma certificação relacionada com a sociedade;                                                                                                                                                                 |
| <b>Treinamento do desempenho social fornecedores e ajuda com questões sociais</b> | Treinar fornecedores em atividades sociais e habilidades necessárias para melhorar o desempenho social; realizar visitas ao local e alocar pessoal para as instalações dos fornecedores para melhorar as capacidades sociais do fornecedor;                                                                                                     |

Figura 6: Exemplos de programas de desenvolvimento de fornecedores sustentáveis  
 Fonte: adaptado de Bai e Sarkis (2010, p.1202) e Lu et al. (2012, p.164).

Segundo Bai e Sarkis (2011), existem muitos estudos que buscam determinar quais práticas e programas são eficazes e suas correlações para o desenvolvimento de fornecedores, uma vez que essas relações podem variar dependendo do tipo de indústria e das características da organização. Por existir um grande número de práticas em potencial para cada tipo de empresa e a maioria delas não ter condições de implementar todos os programas que necessitam (Narasimhan, Mahapatra, & Arlbjorn, 2008), é preciso avaliar quais se adequam melhor ao contexto da organização e estão mais alinhados à estratégia da empresa.

Esses programas necessitam do envolvimento de esforços mútuos para melhorar a competitividade do comprador e do fornecedor. Portanto, é prudente que uma empresa com recursos limitados priorize e aloque seus investimentos realizados nas práticas de gestão mais relevantes de forma eficiente e eficaz. Para isso, modelos de apoio a decisão podem ser utilizados como forma de auxiliar essas organizações na priorização e avaliação dos PDFS (Bai & Sarkis, 2011).

---

## 1.5 Modelos de Decisão para Avaliação de Programas de Desenvolvimento de Fornecedores

Os programas de desenvolvimento de fornecedores (PDF) podem ser percebidos, segundo Kumar e Routroy (2017a, p.2256), como: “uma iniciativa do fabricante destinada a apoiar os principais fornecedores a contribuir competitivamente em conformidade com os requisitos dos clientes”. Para eles, o fabricante deve tomar essas iniciativas e fornecer certos investimentos de apoio aos fornecedores. Assumido a responsabilidade de desenvolver os fornecedores, o fabricante deve ser capaz de saber se os PDF propostos atendem ou não aos seus interesses. Além disso, compreender a relação entre esses programas e seu impacto ou suas consequências, ajudará a fornecer informações muito úteis sobre a identificação de programas fundamentais, que poderão influenciar outros (Dou, Zhu, & Sarkis, 2015). Apenas por um programa básico já ter sido estabelecido e operacionalizado, não o torna necessariamente mais ou menos importante para a organização, uma vez que os relacionamentos e a importância relativa dos programas podem variar dependendo das estratégias de cada organização e quem as gerencia (Fu et al., 2012).

De acordo com Ahmed e Hendry (2012), é crescente o interesse da área acadêmica pela etapa de desenvolvimento de fornecedores devido aos potenciais benefícios futuros desta para o fortalecimento da cadeia de suprimentos. Através dos PDF pode-se obter grande vantagem competitiva da cadeia de suprimentos, porém a sua implementação necessita de recursos organizacionais significativos (Pourjavad & Shahin, 2020). Devido ao desempenho heterogêneo dos PDF e a quantidade limitada de recursos para implementar, as empresas preferem que os programas mais adequados e eficientes sejam implementados e monitorados (Dou et al., 2014).

Para realizar a avaliação dos PDF, vários critérios podem ser considerados (Bai & Sarkis, 2010). O processo de avaliação dos critérios por si só apresenta uma imprecisão intrínseca por conta da subjetividade dos pesos atribuídos aos critérios por vários tomadores de decisão, conferindo-lhes uma incerteza na avaliação dos PDF (Pourjavad & Shahin, 2020). Sendo assim, destaca-se a importância de utilizar ferramentas que avaliem tanto os critérios quanto os programas de forma a se obter resultados adequados quanto a avaliação dos programas (Kumar & Routroy, 2017b).

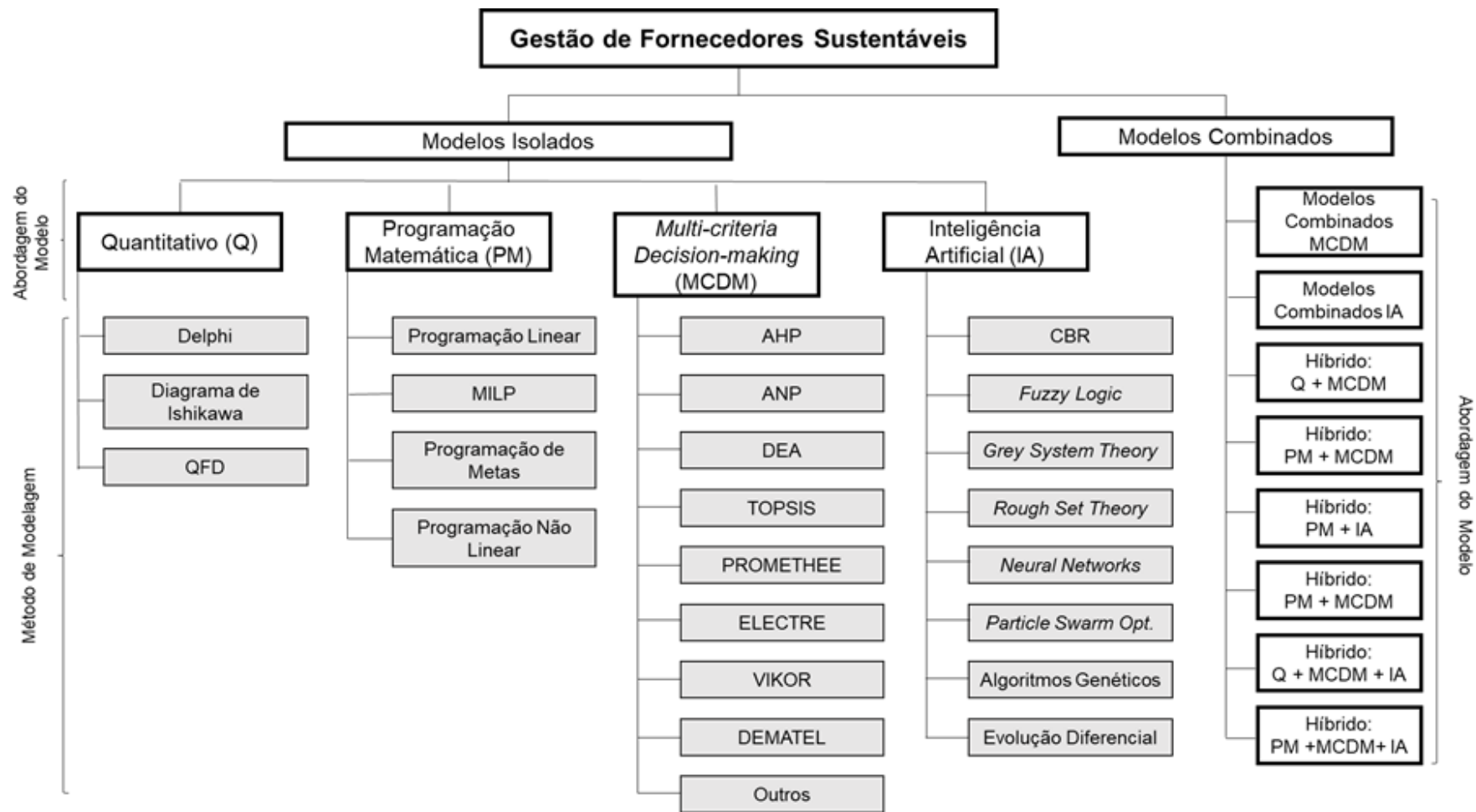
A abordagem multicritério para tomada de decisão possibilita que vários critérios sejam levados em conta ao invés de somente um único critério, o que possibilitaria um julgamento inadequado (de Almeida, 2001; Xu & Zhang, 2019). Os métodos multicritério ajudam, portanto, a formalizar e estruturar o processo de tomada de decisão em relação à gestão de fornecedores (Bozarth & Handfield, 2008). Esses métodos foram motivados tanto pela necessidade de levar em consideração essa variedade de aspectos e características para solucionar problemas práticos, quanto a aprimorar o processo de tomada de decisão com o auxílio de modelos mais modernos, baseados em técnicas matemáticas e tecnologia computacional (Behzadian, Kazemzadeh, Albadvi, & Aghdasi, 2010).

Os métodos MCDM são importantes por auxiliar os agentes tomadores de decisão em situações de complexidade, conflitos e incertezas, contribuindo no processo de decisão nas organizações (Wang, 2010). Esses métodos são capazes de auxiliar os decisores em três tipos de situação, segundo a

---

literatura: decisões sob risco, sob certeza e sob incerteza (de Boer, van der Wegen, & Telgen, 1998; de Andrade, 1998). Decisões sob risco (incerteza estocástica) acontecem quando o tomador de decisão não tem certeza sobre acontecimentos futuros e é possível pressupor uma probabilidade de ocorrência das variáveis analisadas, mesmo com influências diversas (risco). Decisões sob certeza ocorrem nos casos em que os agentes decisórios já estão cientes sobre quais e como os critérios serão avaliados, dispondo de todas as informações necessárias para os critérios e as alternativas com precisão. Já as decisões sob incerteza possuem características de imprecisão e indeterminação intrínsecas a elas. A imprecisão pode estar relacionada à dificuldade de determinar pesos aos critérios e as pontuações das alternativas envolvidas, enquanto a indeterminação se refere à interpretação ambígua destes critérios, dificultando sua mensuração.

Para Glock et al. (2017), uma das formas de se avaliar o desempenho dos fornecedores consistem no uso de técnicas de tomada de decisão multicritério (do inglês *Multi-criteria Decision-Making*, MCDM), como por exemplo, o AHP (*Analytic Hierarchy Process*), o ANP (*Analytic Network Process*), o DEA (*Data Envelopment Analysis*), o PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enriched Evaluation*) e o TOPSIS (*Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*). Também são utilizados métodos de programação matemática e abordagens baseadas em técnicas computacionais e de inteligência artificial (IA), como aqueles baseados em lógica *fuzzy*. O autor expõe ainda que a finalidade da modelagem é o que frequentemente as difere, podendo ser de dois tipos: as abordagens descritivas estudam e tentam compreender características do modelo e suas relações; e as abordagens normativas visam identificar e desenvolver meios para encontrar a solução ótima para determinado problema, além de levar em conta a opinião dos tomadores de decisão. Essas abordagens operam levando em consideração as opiniões subjetivas humanas para análise de problemas reais (Sangaiah, Samuel, Li, Abdel-Basset, & Wang, 2018). A Figura 7, adaptada de Zimmer et al. (2016), apresenta a classificação das abordagens dos modelos divididos em grupos e destaca algumas possibilidades de utilização dos modelos de forma combinada.



Nota: QFD: Quality Function Deployment, MILP: Mixed Integer Linear Programming, AHP: Analytic Hierarchy Process, ANP: Analytic Network Process, DEA: Data Envelopment Analysis, TOPSIS: Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution, PROMETHEE: Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation, ELECTRE: Elimination Et Choix Traduisant La Réalité, VIKOR: ViseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje, DEMATEL: Decision Making Trial and Evaluation Laboratory, CBR: Case-based Reasoning.

Figura 7: Classificação da abordagem dos modelos em categorias e as possíveis combinações  
 Fonte: adaptado de Zimmer et al. (2016, p.7)

---

As limitações dos métodos mostrados na Figura 7 também os diferem, seja pela forma de abordar cada problema ou de acordo com o contexto a que estão inseridos (Ho, Xu, & Dey, 2010). Além disso, fazem com que possam ser utilizados em forma simples ou combinada, sendo que na segunda opção um método tenta suprir as limitações do outro. Enquanto modelos baseados em técnicas tradicionais de programação matemática não consideram riscos, imprecisões e subjetividade, obtendo melhor desempenho em decisões sob certeza, modelos estatísticos estão voltados para situações de incerteza estocástica, em que é necessário determinar a probabilidade de os eventos ocorrerem. Já as técnicas de IA são capazes de lidar com fenômenos de imprecisão e incerteza (Ha & Krishnan, 2008).

O método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) por exemplo, leva em consideração múltiplos critérios, dividindo hierarquicamente o problema em questão (Routroy & Pradhan, 2014; Kumar & Routroy, 2017b). Consiste em julgamento ou comparação de pares de critérios estruturados hierarquicamente, indicando prioridades e verificando a consistência dos resultados, a fim de selecionar a melhor alternativa frente a avaliação realizada. Já o método *Analytic Network Process* (ANP) é uma generalização do AHP, pois ao invés de realizar uma divisão hierárquica utiliza uma rede de sistemas, avaliando os critérios e atributos e as relações existentes entre eles (Dou et al., 2014). O *Data Envelopment Analysis* (DEA) é um método de *benchmarking* que utiliza múltiplos *inputs* e *outputs* para comparar informações e estabelecer um indicador de avaliação entre os critérios e posteriormente sua classificação, de acordo com os resultados obtidos por meio da mensuração da eficiência entre critérios (Dobos & Vörösmarty, 2018). O *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS) é um método que prioriza a melhor das alternativas dentre as disponíveis, considerando os pesos dos critérios, normalizando as pontuações das alternativas e calculando a distância de cada alternativa com a alternativa ideal. A melhor alternativa é aquela mais próxima da solução ideal positiva e mais distante da solução ideal negativa (Zyoud & Fuchs-Hanusch, 2017). As técnicas baseadas em lógica *fuzzy* comumente realizam o ranqueamento de fornecedores em situações de incerteza por meio do uso de equações matemáticas, operadores *fuzzy* ou por mecanismos de inferência, capazes de compreender linguisticamente interlocutores e distinguir qualificações por meio de graduações (escala de desempenho, por exemplo) (Lima-Junior, Osiro, & Carpinetti, 2013).

Resende e Lima-Junior (2019) revisaram 23 artigos sobre modelos quantitativos de apoio para a formulação e avaliação de PDF, porém não foram encontrados modelos voltados para avaliação de PDF sustentáveis. Baseado em Resende e Lima-Junior (2019) e no levantamento bibliográfico realizado no presente estudo, a Tabela 1 apresenta uma lista dos critérios adotados pelos modelos para avaliação de PDF e sua frequência de uso. Na Tabela 2, os estudos mostrados na Tabela 1 foram divididos em grupos de acordo com o tipo de estratégia competitiva de cadeia de suprimentos considerado em cada modelo (genérica ou *green*). A Tabela 2 também descreve as métricas adotadas no processo de avaliação para cada estudo, porém identifica se a aplicação do modelo foi realizada em uma situação real ou em um caso ilustrativo com dados simulados. Em seguida, a Tabela 3 apresenta as técnicas de decisão utilizadas em cada estudo, as quais estão divididas quanto ao uso de apenas uma técnica ou de técnicas combinadas. Também descreve as

---

abordagens utilizadas para lidar com a modelagem de incerteza, se suportam decisão em grupo e se levam em conta a ponderação da opinião dos tomadores de decisão. A Tabela 3 também mostra quais modelos permitem aos decisores a utilização de termos linguísticos, como “baixo” ou “alto”, para representar seus julgamentos quanto ao desempenho dos fornecedores ou PDF avaliados.

Tabela 1: Métricas adotadas por modelos de avaliação de PDF e sua frequência de uso

| <b>Critérios</b>                | <b>Autores</b>                                                                                                                                         | <b>Frequência</b> |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| Inovação                        | Routroy e Pradhan (2014); Routroy et al. (2016); Kumar e Routroy (2017a); Kumar e Routroy (2017b); Pradhan e Routroy (2018); Pourjavad e Shahin (2020) | 6                 |
| Qualidade                       | Dou et al. (2015); Kumar e Routroy (2017a); Kumar e Routroy (2017b); Pradhan e Routroy (2018); Pourjavad e Shahin (2020)                               | 5                 |
| Capacidades                     | Routroy e Pradhan (2014); Routroy et al. (2016); Kumar e Routroy (2017a); Kumar e Routroy (2017b)                                                      | 4                 |
| Custo                           | Dou et al. (2015); Fororesh e Tavakkoli-Moghaddam (2018); Pradhan e Routroy (2018); Pourjavad e Shahin (2020)                                          | 4                 |
| Colaboração                     | Routroy e Pradhan (2014); Routroy et al. (2016); Kumar e Routroy (2017b)                                                                               | 3                 |
| Comprometimento                 | Routroy e Pradhan (2014); Routroy et al. (2016); Kumar e Routroy (2017b)                                                                               | 3                 |
| Controle de emissões            | Dou et al. (2015); Fororesh e Tavakkoli-Moghaddam (2018); Pourjavad e Shahin (2020);                                                                   | 3                 |
| Sistema de gestão ambiental     | Routroy e Pradhan (2014); Dou et al. (2015); Routroy et al. (2016)                                                                                     | 3                 |
| Ambiente externo                | Routroy e Pradhan (2014); Routroy et al. (2016); Pradhan e Routroy (2018)                                                                              | 3                 |
| Confiança                       | Kumar e Routroy (2017a); Kumar e Routroy (2017b); Pradhan e Routroy (2018)                                                                             | 3                 |
| Flexibilidade                   | Kumar e Routroy (2017a); Kumar e Routroy (2017b); Pourjavad e Shahin (2020)                                                                            | 3                 |
| Nível de Tecnologia             | Dou et al. (2015); Kumar e Routroy (2017b); Pradhan e Routroy (2018)                                                                                   | 3                 |
| Relacionamento                  | Dou et al. (2015); Pradhan e Routroy (2018); Kumar e Routroy (2017b)                                                                                   | 3                 |
| Tempo de produção do produto    | Dou et al. (2015); Fororesh e Tavakkoli-Moghaddam (2018); Pourjavad e Shahin (2020)                                                                    | 3                 |
| Gestão de resíduos              | Kumar e Routroy (2017b); Fororesh e Tavakkoli-Moghaddam (2018); Pourjavad e Shahin (2020)                                                              | 3                 |
| Recursos de capital tangíveis   | Fororesh e Tavakkoli-Moghaddam (2018); Pradhan e Routroy (2018)                                                                                        | 2                 |
| Uso de energia                  | Fororesh e Tavakkoli-Moghaddam (2018); Pourjavad e Shahin (2020)                                                                                       | 2                 |
| Design verde                    | Fororesh e Tavakkoli-Moghaddam (2018) Pourjavad e Shahin (2020)                                                                                        | 2                 |
| Embalagem verde                 | Fororesh e Tavakkoli-Moghaddam (2018); Pourjavad e Shahin (2020)                                                                                       | 2                 |
| Aquisições verdes               | Fororesh e Tavakkoli-Moghaddam (2018); Pourjavad e Shahin (2020)                                                                                       | 2                 |
| Transporte verde                | Fororesh e Tavakkoli-Moghaddam (2018); Pourjavad e Shahin (2020)                                                                                       | 2                 |
| Armazenagem verde               | Fororesh e Tavakkoli-Moghaddam (2018); Pourjavad e Shahin (2020)                                                                                       | 2                 |
| Impressão                       | Kumar e Routroy (2017a); Kumar e Routroy (2017b)                                                                                                       | 2                 |
| Compartilhamento de Informações | Routroy e Pradhan (2014); Routroy et al. (2016)                                                                                                        | 2                 |

---

|                                     |                                                                   |   |
|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|---|
| Acordos estratégicos de longo prazo | Routroy e Pradhan (2014); Routroy et al. (2016)                   | 2 |
| Barulho                             | Forooresh e Tavakkoli-Moghaddam (2018); Pourjavad e Shahin (2020) | 2 |
| Serviço pós-venda                   | Kumar e Routroy (2017a); Kumar e Routroy (2017b)                  | 2 |
| Logística reversa                   | Forooresh e Tavakkoli-Moghaddam (2018); Pourjavad e Shahin (2020) | 2 |
| Certificação do fornecedor          | Routroy e Pradhan (2014); Routroy et al. (2016)                   | 2 |
| Proximidade do fornecedor           | Routroy e Pradhan (2014); Routroy et al. (2016)                   | 2 |
| Economia de água                    | Forooresh e Tavakkoli-Moghaddam (2018); Pourjavad e Shahin (2020) | 2 |
| Imagem verde                        | Dou et al. (2015)                                                 | 1 |
| Manufatura verde                    | Forooresh e Tavakkoli-Moghaddam (2018)                            | 1 |
| Mão de obra                         | Pourjavad e Shahin (2020)                                         | 1 |
| Tempo de espera                     | Kumar e Routroy (2017b)                                           | 1 |
| Logística                           | Kumar e Routroy (2017b)                                           | 1 |
| Histórico de desempenho             | Routroy et al. (2016)                                             | 1 |
| Preço                               | Kumar e Routroy (2017b)                                           | 1 |
| Gerenciamento de processos          | Pourjavad e Shahin (2020)                                         | 1 |
| Redução do consumo de recursos      | Dou et al. (2015)                                                 | 1 |
| Serviço                             | Kumar e Routroy (2017b)                                           | 1 |
| Capacidade técnica                  | Forooresh e Tavakkoli-Moghaddam (2018)                            | 1 |

---

Fonte: adaptado de Resende e Lima-Junior (2019, p.9)

Tabela 2: Critérios adotados pelos modelos para avaliação de PDF e seu tipo de abordagem

| <b>Estratégia de Cadeia</b> | <b>Autores</b>                        | <b>Critérios</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <b>Tipo de aplicação</b> |
|-----------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Genérica (6)                | Bai e Sarkis (2011)                   | Transferência de conhecimento, transferência de recursos, gestão e características organizacionais, comunicação e feedback/incentivos.                                                                                                                                                                                                          | Ilustrativa              |
|                             | Routroy e Pradhan (2014)              | Acordos estratégicos de longo prazo, ambiente externo, capacidades, certificação do fornecedor, colaboração, compartilhamento de informações, comprometimento, inovação, proximidade do fornecedor, sistema de gestão ambiental.                                                                                                                | Real                     |
|                             | Routroy et al. (2016)                 | Acordos estratégicos de longo prazo, ambiente externo, capacidades, certificação do fornecedor, colaboração, compartilhamento de informações, comprometimento, histórico de desempenho, inovação, proximidade do fornecedor, relacionamento, sistema de gestão ambiental.                                                                       | Real                     |
|                             | Kumar e Routroy (2017a)               | Capacidades, confiança, flexibilidade, impressão, inovação, logística, qualidade, serviço pós-venda.                                                                                                                                                                                                                                            | Real                     |
|                             | Kumar e Routroy (2017b)               | Capacidades, colaboração, comprometimento, confiança, flexibilidade, gestão de resíduos, impressão, inovação, nível de tecnologia, preço, qualidade, relacionamento, serviço, serviço pós-venda, tempo de espera.                                                                                                                               | Real                     |
|                             | Pradhan e Routroy (2018)              | Ambiente externo, confiança, custo, inovação, nível de tecnologia, relacionamento, qualidade.                                                                                                                                                                                                                                                   | Real                     |
| Verde (5)                   | Bai e Sarkis (2010)                   | Transferência de conhecimento, transferência de recursos, gestão e características organizacionais.                                                                                                                                                                                                                                             | Ilustrativa              |
|                             | Fu et al. (2012)                      | Transferência de conhecimento, certificações, treinamento, características ambientais, responsabilidade, Feedback/incentivos e Design do produto.                                                                                                                                                                                               | Real                     |
|                             | Dou et al. (2015)                     | controle de emissões, custo, imagem verde, nível de tecnologia, qualidade, redução do consumo de recursos, sistema de gestão ambiental, tempo de produção do produto.                                                                                                                                                                           | Real                     |
|                             | Fororesh e Tavakkoli-Moghaddam (2018) | Aquisições verdes, armazenagem verde, barulho, capacidade técnica, controle de emissões, custo, design verde, economia de água, embalagem verde, gestão de resíduos, logística reversa, manufatura verde, recursos de capital tangíveis, tempo de produção do produto, transporte verde, uso de energia.                                        | Real                     |
|                             | Pourjavad e Shahin (2020)             | Aquisições verdes, armazenagem verde, barulho, controle de emissões, custo, design verde, economia de água, embalagem verde, flexibilidade, gerenciamento de processos, gestão de resíduos, inovação, logística reversa, mão de obra, qualidade, recursos de capital tangíveis, tempo de produção do produto, transporte verde, uso de energia. | Real                     |

Fonte: adaptado de Resende e Lima-Junior (2019, p.9)

Tabela 3: Características dos modelos de decisão para avaliar PDF

|                         | <b>Autores</b>                        | <b>Técnicas de decisão</b>                                     | <b>Abordagem para modelagem de Incerteza</b> | <b>Suporta decisão em grupo</b> | <b>Pondera as opiniões dos tomadores de decisão</b> | <b>Permite o uso de julgamentos linguísticos</b> |
|-------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Técnica Isolada (4)     | Bai e Sarkis (2010)                   | <i>Rough Set Theory</i>                                        | Rough set theory                             | Não                             | Não                                                 | Não                                              |
|                         | Routroy et al. (2016)                 | <i>GTA (Graph Theoretic Approach)</i>                          | Não lida com modelagem de incerteza          | Sim                             | Não                                                 | Não                                              |
|                         | Kumar e Routroy (2017a)               | <i>PVA (Performance Value Analysis)</i>                        | Não lida com modelagem de incerteza          | Sim                             | Não                                                 | Não                                              |
|                         | Pradhan e Routroy (2018)              | <i>ISM (Interpretive Structural Modeling)</i>                  | Não lida com modelagem de incerteza          | Não                             | Não                                                 | Não                                              |
| Técnicas Combinadas (7) | Bai e Sarkis (2011)                   | <i>Grey System Theory e Rough Set Theory</i>                   | Grey system theory com Rough set theory      | Sim                             | Sim                                                 | Sim                                              |
|                         | Fu et al. (2012)                      | <i>Grey System Theory e DEMATEL</i>                            | Grey system theory                           | Sim                             | Sim                                                 | Sim                                              |
|                         | Routroy e Pradhan (2014)              | <i>AHP e PVA</i>                                               | Comparação de pares                          | Não                             | Não                                                 | Não                                              |
|                         | Dou et al. (2015)                     | <i>Fuzzy Scoring e Fuzzy DEMATEL</i>                           | Fuzzy set theory                             | Não                             | Não                                                 | Sim                                              |
|                         | Kumar e Routroy (2017b)               | <i>Fuzzy AHP e Fuzzy Weighted Average</i>                      | Fuzzy set theory com comparação de pares     | Sim                             | Não                                                 | Sim                                              |
|                         | Forooreh e Tavakkoli-Moghaddam (2018) | <i>Interval-Valued Fuzzy Sets, Possibility Theory e TOPSIS</i> | Fuzzy set theory e possibility theory        | Sim                             | Não                                                 | Sim                                              |
|                         | Pourjavad e Shahin (2020)             | <i>Fuzzy DEMATEL, AHP e TOPSIS</i>                             | Fuzzy set theory com comparação de pares     | Sim                             | Não                                                 | Sim                                              |

Nota: GTA: *Graph Theoretic Approach*, PVA: *Performance Value Analysis*, ISM: *Interpretive Structural Modeling*, DEMATEL: *Decision Making Trial and Evaluation Laboratory*, AHP: *Analytic Hierarchy Process*, TOPSIS: *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*.

Fonte: adaptado de Resende e Lima-Junior (2019, p.7)

Cada critério adotado pelos estudos mostrados nas Tabelas 1 e 2 está relacionado com a estratégia competitiva da cadeia de suprimentos em questão. De acordo com a Tabela 1, percebe-se que a maioria dos estudos elaborados utilizou medidas econômicas relacionadas à inovação, qualidade, capacidade e custo (Routroy & Pradhan, 2014; Routroy et al. 2016; Kumar & Routroy, 2017a; Kumar & Routroy, 2017b; Pradhan & Routroy, 2018; Pourjavad & Shahin, 2020) na avaliação de programas de desenvolvimento. Também há alguns estudos que adotaram métricas focadas na dimensão ambiental, como controle de emissões, sistema de gestão ambiental e gestão de resíduos (Dou et al., 2015; Fororesh & Tavakkoli-Moghaddam, 2018; Pourjavad & Shahin, 2020; Routroy & Pradhan, 2014; Routroy et al. 2016). A sustentabilidade no quesito social não foi abordada pelos modelos de decisão identificados, mesmo com as preocupações com responsabilidade social sendo uma tendência e com o fato de maioria dos estudos realizar a aplicação destes modelos em casos reais (Tabela 2). Como pode-se observar na Tabela 3, dentre os 11 estudos que propõem modelos para avaliação de PDF, 7 propõem modelos usando técnicas de decisão combinadas, em que uma tenta trazer outros benefícios ou abrange outras características não contempladas pela outra, o que parece culminar em abordagens mais adequadas para lidar com o problema. Não existe uma técnica que tenha se destacado dentre as demais quanto à frequência de uso, porém a abordagem MCDM é a mais empregada nos estudos, seguida por IA (inteligência artificial), conforme a Figura 8. É importante destacar que as técnicas híbridas que combinam lógica *fuzzy* com técnicas MCDM foram contabilizadas também como técnicas MCDM.

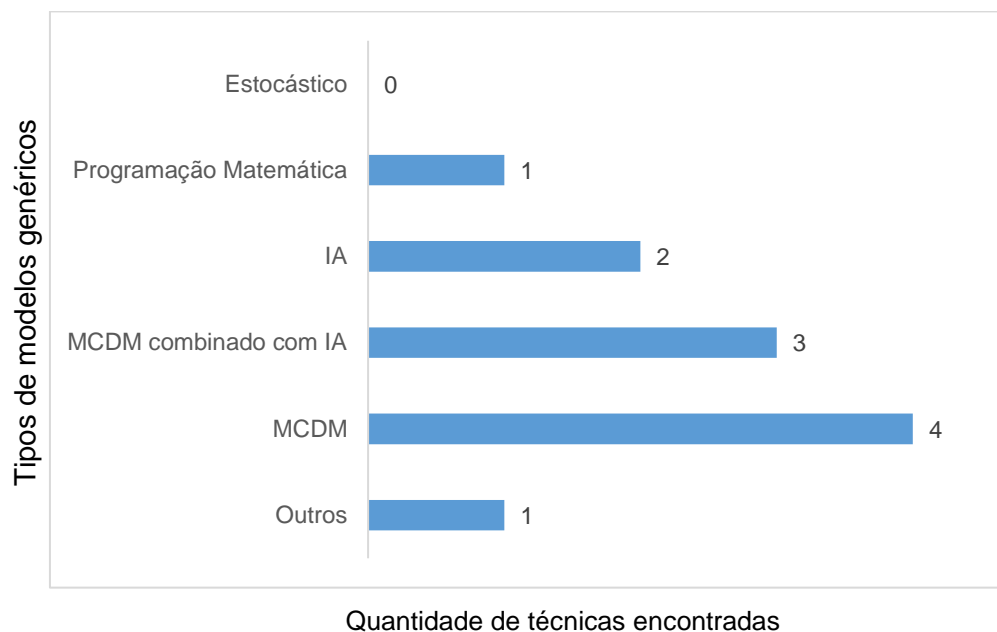


Figura 8: Classificação das abordagens utilizadas por frequência de aparição.  
Fonte: autoria própria (2020).

Embora quase todos os modelos mostrados na Tabela 3 suportem processos de decisão em grupo, apenas dois modelos propostos possibilitam ponderar a opinião dos diferentes tomadores de decisão, ou seja, demonstra que, em geral, as opiniões dos agentes decisores são tratadas com o mesmo peso, sem considerar os diferentes níveis de experiência e de conhecimento sobre o problema em questão. Para lidar com a modelagem de decisões sob incerteza, a teoria dos

---

conjuntos *fuzzy* é a mais frequentemente utilizada entre os estudos, seguida por *grey system theory*. Ainda na Tabela 3, observa-se que seis modelos permitem aos decisores o uso de julgamentos linguísticos. Dada a dificuldade de modelar julgamentos qualitativos e subjetivos, cada vez mais pesquisadores têm adotado técnicas baseadas na lógica *fuzzy* ou *grey system theory*, que permitem o uso de termos linguísticos como "alto", "médio" ou "baixo", quantificados de acordo com um método específico para representar as avaliações dos tomadores de decisão.

Nos processos de tomada de decisão relacionados à gestão de fornecedores existem vários fatores complicadores, como a subjetividade dos julgamentos dos decisores quanto ao desempenho das alternativas, a natureza qualitativa de alguns critérios, a falta da disponibilidade de informações e a dificuldade de coleta de dados sobre os fornecedores (Zimmer et al., 2016; Lima-Junior & Carpinetti, 2016). Complementando esse fato, há fatores que dificultam o processo de avaliação dos PDFS, como:

1. Subjetividade em atribuir pesos aos critérios de avaliação dos PDFS, uma vez que há a necessidade de traduzir os julgamentos dos decisores em valores numéricos, os quais muitas vezes são imprecisos e isso afeta diretamente o resultado da avaliação (Liao, Xu & Zeng, 2014; Xu & Zhang, 2019);
2. Escolha de um método adequado para avaliar os PDFS e ranqueá-los, já que existem muitos métodos disponíveis e a escolha de uma opção adequada deve considerar o alinhamento entre as particularidades do problema (ou necessidades) e as características do método em questão.

Portanto, a partir da identificação e do mapeamento de 11 modelos prévios de apoio à avaliação de PDF, constatou-se as seguintes lacunas de pesquisa:

1. Não foram encontrados modelos de avaliação de PDF que contemplem critérios econômicos, ambientais e sociais, ou seja, nenhum dos modelos é adequado para avaliação de PDF sustentáveis;
2. Há apenas dois modelos que permitem atribuir diferentes pesos à opinião dos decisores, de modo a considerar os diferentes níveis de experiência e conhecimento sobre o problema por parte de cada um dos decisores;
3. Embora existam alguns modelos que possibilitem aos decisores a utilização de termos linguísticos, nenhum dos modelos encontrados permite o uso de expressões linguísticas para representação dos julgamentos, tão pouco possibilitam o uso simultâneo de dois ou mais termos linguísticos. Assim, nenhum dos modelos é adequado para situações de incerteza em que os decisores hesitam na escolha dos termos linguísticos e não se sentem confortáveis em utilizar um único termo;
4. Nenhum dos modelos encontrados apresenta um processo de decisão estruturado para apoiar a escolha dos critérios de avaliação de PDF, de modo a considerar seus níveis de importância relativa e a dificuldade de obtenção dos dados para avaliação dos PDF em cada critério.

---

Tendo em vista as lacunas de pesquisa apresentadas e as dificuldades encontradas pelos tomadores de decisão para avaliar os PDF, propõe-se um modelo que visa suprir essas questões. A seção a seguir discute os fundamentos e as etapas do método de decisão multicritério adotado neste estudo.

## 1.6 O Método HFLTS-QFD

### 1.6.1 Fundamentos da Teoria *Hesitant Fuzzy*

Em 1965, Zadeh elaborou a teoria dos conjuntos *fuzzy* (FST – *fuzzy set theory*), como uma teoria matemática para lidar com a imprecisão e incerteza no processo de tomada de decisão. Essa teoria possibilita lidar com a incerteza e subjetividade inerentes ao julgamento humano fazendo uso de termos linguísticos (Simić, Kovačević, Svirčević, & Simić, 2017). Segundo Zadeh (1973), termos linguísticos são representações de uma variável linguística, onde os valores não numéricos são passíveis de serem adotados (por exemplo, utilizando termos “alto, médio ou baixo”), os quais são quantificados por conjuntos *fuzzy* para representar os julgamentos dos decisores. A partir desse método ficou mais fácil converter as avaliações descritas por linguagem em valores numéricos. Segundo Lima-Junior et al. (2013), a FST é adequada ao tratamento de incerteza pelo uso da lógica que define o grau de inclusão dos elementos em conjuntos *fuzzy* por meio de uma função de pertinência, definida pela Equação 1:

$$\mu_A(x): X \rightarrow [0,0; 1,0] \quad (1)$$

Essa função de pertinência possibilita empregar, entre os valores extremos de “falso” e “verdadeiro”, níveis parciais para expressar melhor o julgamento pretendido (Zadeh, 1965). As variáveis linguísticas utilizadas no processo de avaliação dos critérios de decisão são definidas por meio de sentenças de origem natural (nossa linguagem) ou artificial, e permitem identificar termos intermediários graduais (Zadeh, 1973). Por exemplo, a variável “nível de envolvimento ambiental dos fornecedores”, que pode adquirir valor “péssimo”, “ruim”, “bom” e “ótimo”.

Ao estimar o grau de desempenho de uma alternativa em relação a uma determinada métrica, muitas vezes os tomadores de decisão não têm a certeza sobre um valor específico, mas hesitam entre vários possíveis (Xu, 2014). Uma vez que a avaliação do desempenho de fornecedores quanto a requisitos sustentáveis é frequentemente incerta, o uso de conjuntos *hesitant fuzzy* é preferível para lidar com a representação e processamento de informações incertas e modelar tais questões (Kaya & Erginel, 2020). Como uma evolução do FST tradicional, Torra (2010) introduziu a teoria dos conjuntos *hesitant fuzzy* como forma de determinar o grau de pertinência de um elemento a um conjunto em situações de hesitação. Em tais circunstâncias, há uma dificuldade causada pela dúvida dos decisores ao escolher entre valores diferentes. Essa dificuldade é análoga à questão de haver hesitação na escolha de diferentes termos linguísticos (Rodriguez, Martinez, & Herreira, 2013). Além disso, a abordagem *hesitant fuzzy* se mostra particularmente interessante para agregar opiniões divergentes na tomada de decisão em grupo (Osiro et al., 2018). Antes de apresentar as etapas da técnica HFLTS-QFD, os fundamentos de HFLTS e do método QFD são discutidos a seguir.

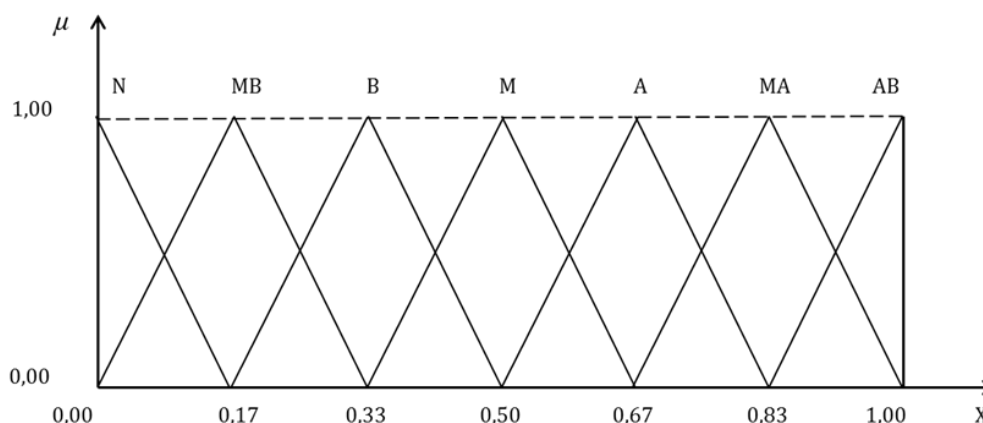
### 1.6.2 Definição de *Hesitant Fuzzy Linguistic Term Set (HFLTS)*

Conforme discutido anteriormente, é comum ao tomador de decisão hesitar entre um ou mais termos linguísticos para determinar seu julgamento sobre alternativas ou critérios, por conta de incerteza ou falta de informações. A fim de solucionar essa questão, Rodriguez et al. (2012) propuseram o *Hesitant Fuzzy Linguistic Term Set (HFTLS)*, que possibilita que o agente julgador expresse sua opinião com mais de um termo linguístico, ou seja, é adequado em casos onde não é possível utilizar somente um termo linguístico para expressar tal julgamento. Segundo Rodriguez et al. (2012), é possível utilizar expressões como “entre alto e baixo”, “no máximo alto” e “no mínimo baixo” para representar os julgamentos dos tomadores de decisão quanto ao peso dos critérios e ao desempenho das alternativas.

Seja um conjunto de termos linguísticos ( $\vartheta$ ) descritos pela variável  $S$ , conforme proposto por Rodriguez et al. (2012) e demonstrado na Figura 9 na seguinte equação (2):

$$S = \{s_{-\tau}, \dots, s_0, \dots, s_{\tau}\} = \{\text{nenhum, muito baixo, baixo, médio, alto, muito alto, absoluto}\} \quad (2)$$

A variável  $S$  é, portanto, composta por todos os possíveis termos linguísticos que podem ser escolhidos pelo tomador de decisão, enquanto dentro das chaves estão cada um destes termos.



Nota: N= Nulo, MB= Muito Baixo, B= Baixo, M= Médio, A= Alto, MA= Muito Alto, AB= Absoluto

Figura 9: Conjunto básico de termos linguísticos

Fonte: adaptado de Rodriguez et al. (2012)

Para Rodriguez et al. (2012), quando o nível para a descrição de um critério é incerto, os tomadores de decisão preferem a utilização de mais de um termo linguístico, o que pode ser representado como  $H_s(\vartheta) = \{\text{nenhum, muito baixo e baixo}\}$  ou  $H_s(\vartheta) = \{\text{muito alto, absoluto}\}$ , por exemplo. Esses termos linguísticos ou conjunto de expressões, utilizados pelos tomadores de decisão, precisam ser transformados em HFLTS da maneira descrita a seguir.

### 1.6.3 Transformação de expressões linguísticas em HFLTS

Rodriguez et al. (2012; 2013) propuseram a função  $E_{GH}: ll \rightarrow H_S$  para transformar expressões linguísticas em HFLTS de acordo com seus significados, da seguinte forma:

- 1)  $E_{GH}(s_i) = \{s_i / s_i \in S\}$ ;
- 2)  $E_{GH}(\text{no máximo } s_i) = \{s_j / s_j \in S \text{ e } s_j \leq s_i\}$ ;
- 3)  $E_{GH}(\text{menor que } s_i) = \{s_j / s_j \in S \text{ e } s_j < s_i\}$ ;
- 4)  $E_{GH}(\text{pelo menos } s_i) = \{s_j / s_j \in S \text{ e } s_j \geq s_i\}$ ;
- 5)  $E_{GH}(\text{maior que } s_i) = \{s_j / s_j \in S \text{ e } s_j > s_i\}$ ;
- 6)  $E_{GH}(\text{entre } s_i \text{ e } s_j) = \{s_k / s_k \in S \text{ e } s_i \leq s_k \leq s_j\}$ ;

Usando o conjunto de termos linguísticos da equação 2 e das condições citadas e denotadas por  $ll$ , é possível gerar exemplos de HFLTS descritos pelos conjuntos a seguir:

$$H_s = E_{GH}(ll_1 = \text{muito alto}) = \{\text{muito alto}\}$$

$$H_s = E_{GH}(ll_2 = \text{maior que baixo}) = \{\text{médio, alto, muito alto, absoluto}\}$$

$$H_s = E_{GH}(ll_3 = \text{entre muito baixo e médio}) = \{\text{muito baixo, baixo, médio}\}$$

Em alguns métodos MCDM, como TOPSIS e VIKOR, o cálculo das medidas de distâncias são a base da sua abordagem. O cálculo para estimar a distância entre HFLTS será tratado a seguir.

### 1.6.4 Distância entre dois HFLTS

Liao et al. (2014) introduziram uma metodologia mais eficaz de se utilizar os HFLTS em problemáticas de MCDM, a partir do cálculo de medidas das distâncias entre duas coleções de HFLTS. A pontuação de cada alternativa  $i$ , em um problema MCDM, é dada por uma coleção de HFLTS, sendo um para cada critério. Por exemplo,  $\mathbb{H}_s^i = \{H_s^{i1}, H_s^{i2}, \dots, H_s^{im}\}$ , onde  $\mathbb{H}_s^i$  é uma coleção de HFLTS e  $H_s^{ij}$  representa a avaliação da alternativa  $i$  em relação ao critério  $j$ . Os autores ainda definem que, em situações onde os pesos de cada critério são diferentes, a medida das distâncias entre  $\mathbb{H}_s^1$  e  $\mathbb{H}_s^2$  pode ser calculada de acordo com a equação 3.

$$d_{\text{gwd}}(\mathbb{H}_s^1, \mathbb{H}_s^2) = \left( \sum_{j=1}^m \frac{w_j}{L} \sum_{l=1}^L \left( \frac{|\delta_1^{1j} - \delta_1^{2j}|}{2\tau + 1} \right)^\lambda \right)^{1/\lambda} \quad (3)$$

Em que:

$\lambda$  é um parâmetro para determinar diferentes distâncias. Utilizando a distância Euclidiana, usa-se  $\lambda = 2$ .

$L$  é o número de termos linguísticos em  $H_s^{1j}$  ou  $H_s^{2j}$ .

$\delta_1^{1j}$  é  $l$ th termo de  $H_s^{1j}$ .

$\delta_1^{2j}$  é  $l$ th termo de  $H_s^{2j}$ .

$2\tau + 1$  é o número de termos linguísticos em  $S$ .

$W = (w_1, w_2, \dots, w_m)^t$  é o vetor de ponderação dos critérios

O vetor peso deve satisfazer a Eq. 4 e Eq. 5 a seguir:

$$0 \leq w_j \leq 1 \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^m w_j = 1 \quad (5)$$

### 1.6.5 Solução ideal positiva e negativa

Liao et al. (2014) propuseram uma maneira de calcular a distância entre dois HFLTS baseada em suas soluções ideais positiva  $H_S^{ij+}$  e negativa  $H_S^{ij-}$ . Admitindo-se a necessidade de avaliar as alternativas  $X = \{x_i \mid i = 1, \dots, n\}$  em relação aos critérios  $C = \{c_j \mid j = 1, \dots, m\}$ , a fim de calcular as soluções ideais positivas e negativas, obtém-se a matriz de julgamento dada pela equação 6, onde  $H_S^{ij}$  é um HFLTS que representa o desempenho da alternativa  $i$  em relação ao critério  $j$ .

$$\begin{bmatrix} H_S^{11} & H_S^{12} & \dots & H_S^{1m} \\ H_S^{21} & H_S^{22} & \dots & H_S^{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ H_S^{n1} & H_S^{n2} & \dots & H_S^{nm} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Sendo  $H_S^{ij}$  um conjunto de termos linguísticos, com seu valor máximo superior (positivo) dado por  $H_S^{ij+} = \max\{s_{ij} \mid s_{ij} \in H_S^{ij}\}$  e seu valor mínimo inferior (negativo)  $H_S^{ij-} = \min\{s_{ij} \mid s_{ij} \in H_S^{ij}\}$ , as soluções ideais positiva ( $x^+$ ) e negativa ( $x^-$ ) são obtidas através das equações 7 e 8, a seguir:

$$x^+ = \{H_S^{j+} \mid j = 1, \dots, m\} \quad (7)$$

$$x^- = \{H_S^{j-} \mid j = 1, \dots, m\} \quad (8)$$

Onde:

$$H_S^{j+} = \begin{cases} \max\{s_{ij} \mid i = 1, \dots, n\} \text{ para critério de benefício } c_j \\ \min\{s_{ij} \mid i = 1, \dots, n\} \text{ para critério de custo } c_j \end{cases}$$

$$H_S^{j-} = \begin{cases} \min\{s_{ij} \mid i = 1, \dots, n\} \text{ para critério de benefício } c_j \\ \max\{s_{ij} \mid i = 1, \dots, n\} \text{ para critério de custo } c_j \end{cases}$$

A distância entre cada alternativa  $x_i$  e sua solução ideal, tanto positiva quanto negativa, pode ser utilizada para escolher a melhor alternativa dentre o conjunto de critérios que foram considerados. A alternativa que possuir a maior ou a menor distância de sua solução ideal (positiva ou negativa), será escolhida por ser a melhor alternativa (Liao et al., 2014).

### 1.6.6 Grau de satisfação de uma alternativa

Liao et al. (2014) propuseram uma forma de cálculo do desempenho global de uma alternativa  $x_i$ , que leva em consideração a contribuição individual dos critérios e é representado pelo grau de satisfação  $\eta(x_i)$ , conforme a equação 9.

---

$$\eta(x_i) = \frac{(1 - \theta)d(x_i, x^-)}{\theta d(x_i, x^+) + (1 - \theta)d(x_i, x^-)} \quad (9)$$

Sendo  $\theta$  a representação de um parâmetro de risco que é ajustável de acordo com a visão dos decisores, a obtenção de um valor de  $\theta$  maior que 0,5 representa uma visão pessimista do tomador de decisão, enquanto um valor menor implica em uma visão oposta, ou seja, otimista.

### 1.6.7 QFD - Quality Function Deployment

*Quality Function Deployment* (QFD), também conhecido como casa da qualidade, é um método que “mapeia as necessidades do cliente em parâmetros de produto e processo definíveis e mensuráveis, usando matrizes e outras técnicas quantitativas e qualitativas” (Bickness & Bicknell, 1995, p.28). O QFD é um método popular que foi desenvolvido nas décadas de 1960 e 1970 para enfrentar os desafios de qualidade do projeto para atender melhor às expectativas dos clientes (Chan & Wu, 2002). Desde então, muitas outras empresas perceberam os benefícios notáveis do QFD e, conseqüentemente, essa ferramenta continua a crescer em popularidade além do Japão e dos Estados Unidos. Apesar de ter sido elaborado para o desenvolvimento do produto, esse método também é utilizado em outras áreas como gestão, tomada de decisão, planejamento, trabalho em equipe e redução de custos (Chan & Wu, 2002). Existem ainda, abordagens que combinam a metodologia de QFD com técnicas de apoio à decisão (AHP, TOPSIS e *fuzzy*, por exemplo), a fim de lidar com a imprecisão decorrente da atribuição de avaliações numéricas no QFD (Chan & Wu, 2002; Carnevalli & Miguel, 2008; Wang, 2010).

Em sua aplicação original, o conceito central do QFD é coletar e traduzir os requisitos do cliente em características de engenharia e, posteriormente, em características parciais, parâmetros de processo e requisitos de produção (Wang & Xiong, 2011). O processo típico de QFD consiste em quatro fases, ou seja, planejamento de produto, projeto do produto, planejamento de processo e planejamento de produção (Chen & Ko, 2010). A casa da qualidade (*House of Quality*, HoQ) mostrada na Figura 10 é uma parte do QFD que aparece como um diagrama e é utilizada para fins de desenvolvimento de produto de certas características de engenharia de produtos ou serviços que afetam diferentes aspectos de seu desempenho (Paryani, Masoudi, & Cudney, 2010).

Na aplicação do QFD tradicional, primeiramente é feito o levantamento dos requisitos dos clientes (matriz “*what*”), aos quais são atribuídos um grau de importância (pesos), seguido por uma avaliação competitiva. Posteriormente, realiza-se o planejamento da qualidade, ou seja, verifica-se o desempenho do produto ou processo para cada requisito identificado. Com base nesses requisitos, são atribuídas metas de qualidade para cada um deles. Finalmente, cria-se uma matriz de relacionamento entre os requisitos e características da qualidade (matriz “*how*”), a fim de avaliar quais características técnicas têm impacto sobre os requisitos do cliente e o grau desse impacto (Chan & Wu, 2002).

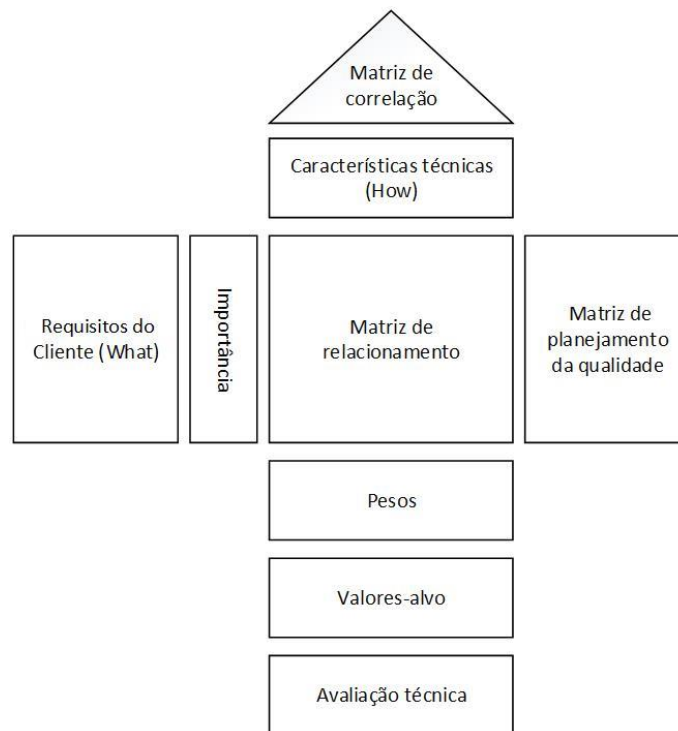


Figura 10: Matriz QFD - Casa da qualidade  
 Fonte: adaptado por Yang, Yang, Qian, e Kraslawski (2015, p.232)

Tradicionalmente, o QFD utiliza valores numéricos para avaliar os pesos dos requisitos e critérios nas matrizes da casa da qualidade. Em um estudo de revisão da literatura sobre QFD, Carnevalli e Miguel (2008) discutem sobre a dificuldade em “interpretar a voz do cliente” utilizando escalas de importância numéricas, as quais muitas vezes não conseguem representar o julgamento impreciso e subjetivo do tomador de decisão. Apesar de técnicas que combinam o QFD com a lógica *fuzzy* tradicional (como o *Fuzzy-QFD*) conseguirem apaziguar essa questão, ainda assim são criticadas por utilizar apenas um termo linguístico para avaliar cada um dos critérios selecionados (Chan, Kao, & Wu, 1999), não sendo adequadas para situações de hesitação. Dentro deste contexto, Osiro et al. (2018) propuseram uma técnica *Hesitant Fuzzy-QFD*, que possibilita ao decisor utilizar mais de um termo linguístico simultaneamente para ponderar os requisitos ou critérios, lidando assim com a modelagem de julgamentos subjetivos dos decisores e com o suporte a decisões sob hesitação.

### 1.6.8 Etapas do Método HFLTS-QFD

O método proposto por Osiro et al. (2018) se baseia na combinação entre conjuntos HFLTS com o método QFD (intitulado HFLTS-QFD), sendo adequado para modelar dados imprecisos e lidar com hesitação em problemas de tomada de decisão. A metodologia utiliza termos e expressões linguísticas para estimar o julgamento dos tomadores de decisão quanto aos pesos dos requisitos e critérios, o grau de dificuldade da coleta de dados e o desempenho das alternativas. Além disso, para priorizar os requisitos e critérios, aplica-se o método de medidas das distâncias entre HFLTS. Segundo os autores, a metodologia proposta se destaca das demais devido ao número de requisitos, critérios e/ou alternativas passíveis de serem utilizados não ser limitado, sendo possível considerar pesos diferentes aos julgamentos dos decisores (de acordo com nível de experiência

---

e/ou conhecimento sobre o problema), além de poder considerar o grau de dificuldade associado à coleta de dados como fator de decisão na escolha dos critérios.

Segundo Osiro et al. (2018), os quatro passos para implementar a abordagem HFLTS-QFD são:

1. Primeira etapa: os tomadores de decisão, utilizando a matriz “*what*”, estabelecem um conjunto de requisitos de sustentabilidade que serão transformados em HFLTS, de acordo com termos e expressões linguísticas. Os pesos de cada requisito serão calculados de acordo com as equações 3, 4, 5, 7, 8 e 9;
2. Segunda etapa: usando a matriz “*how*”, os tomadores de decisão devem definir um conjunto de critérios relacionados aos requisitos selecionados na etapa 1. Posteriormente, devem avaliar a intensidade da relação entre os critérios e requisitos. Novamente, calculado de acordo com as equações 3, 4, 5, 7, 8 e 9;
3. Terceira etapa: deve-se estimar o grau de dificuldade da coleta de dados para avaliar as alternativas em relação a cada critério, considerando aceitação do fornecedor, custo de implementação e grau de dificuldade da técnica. O uso de conjuntos HFLTS ainda se faz necessário, bem como a utilização das equações usadas nas etapas 1 e 2;
4. Quarta etapa: por fim, deve-se categorizar e selecionar o conjunto final de métricas na matriz considerando os resultados das etapas 2 e 3, a fim de selecionar quais serão utilizadas para avaliar os fornecedores.

---

## 2. Metodologia

### 2.1 Caracterização da Pesquisa

Segundo Bertrand e Fransoo (2016, p.291), “modelos quantitativos são baseados em um conjunto de variáveis que variam em um domínio específico, enquanto relações quantitativas e causais foram definidas entre essas variáveis”. Pesquisas envolvendo modelos quantitativos baseiam-se na hipótese de que se pode construir modelos computacionais matemáticos que explicam o comportamento de processos reais ou que capturam problemas de decisão encontrados por gestores em processos operacionais reais. A pesquisa em questão se caracteriza com uma pesquisa quantitativa axiomática normativa, baseada em modelagem e simulação computacional (Bertrand & Fransoo, 2002), que visa construir um modelo quantitativo que atenda as necessidades existentes das empresas em suas avaliações de PDF. Pesquisas quantitativas baseadas em modelos abordam relações causais entre variáveis de controle e variáveis de desempenho são desenvolvidas, analisadas ou testadas. Para Bertrand e Fransoo (2016), pesquisas axiomáticas estão focadas no comportamento de certas variáveis no modelo, a partir de suposições de comportamento de outras variáveis no modelo, e obter soluções dentro do modelo definido certificando-se de que essas soluções fornecem *insights* conforme definido no modelo.

---

Os procedimentos de pesquisa utilizados no trabalho podem ser agrupados em quatro etapas: revisão bibliográfica, desenvolvimento do modelo quantitativo, aplicação em um caso ilustrativo e análise de sensibilidade. Essas etapas são descritas a seguir:

1. O objetivo desta etapa foi realizar uma revisão bibliográfica sobre avaliação de programas de desenvolvimento de fornecedores sustentáveis (PDFS), métodos multicritério de tomada de decisão e modelos de análise de PDF em livros e artigos de periódicos científicos, nacionais e internacionais. A partir de bases de dados como *Science Direct*, *Emerald*, *Scopus*, *Web of Science* e *Google Scholar*, foi realizado um levantamento da bibliografia a fim de construir um referencial teórico sobre gestão de cadeias de suprimento sustentáveis, gestão de fornecedores sustentáveis, desenvolvimento de fornecedores e método HFLTS-QFD. O levantamento bibliográfico também permitiu mapear o estado da arte sobre modelos de avaliação de PDF, de modo a identificar lacunas de pesquisa, bem como as métricas usadas para avaliar os PDF e os métodos quantitativos já utilizados, o que baseou todo o desenvolvimento das etapas posteriores da pesquisa;
2. Nesta etapa foi elaborado o modelo de decisão proposto e feita a implantação do modelo computacional baseado em HFLTS-QFD com o auxílio do *software* MS Excel, conforme as equações apresentadas em Osiro et al. (2018). O modelo possui a finalidade de ranquear os PDFS, levando em conta o desempenho individual dos PDF em cada critério avaliado, bem como os respectivos pesos dos critérios e dos decisores;
3. Nesta etapa foi realizada a aplicação do modelo por meio de um caso ilustrativo utilizando dados simulados, a fim de se verificar a aplicabilidade do modelo proposto;
4. Por fim, foi realizada uma análise de sensibilidade do modelo desenvolvido a fim de verificar a confiabilidade dos resultados, tendo em vista simular diferentes cenários, ou seja, alterando os parâmetros propostos de forma otimista e pessimista.

## 2.2 Objetivo Geral

Propor e aplicar um modelo de decisão para apoiar a avaliação de programas de desenvolvimento de fornecedores sustentáveis em cadeias de suprimentos com base na técnica HFLTS-QFD.

## 2.3 Objetivos Específicos

1. Caracterizar o estado da arte sobre o uso de modelos quantitativos de avaliação de programas de desenvolvimento de fornecedores sustentáveis na literatura, a fim de identificar, dentre outros fatores, os critérios e os métodos quantitativos comumente utilizados;
2. Desenvolver um modelo conceitual que oriente o processo de tomada de decisão para avaliação de programas de desenvolvimento de fornecedores sustentáveis, a partir de uma sequência lógica de atividades inter-relacionadas;

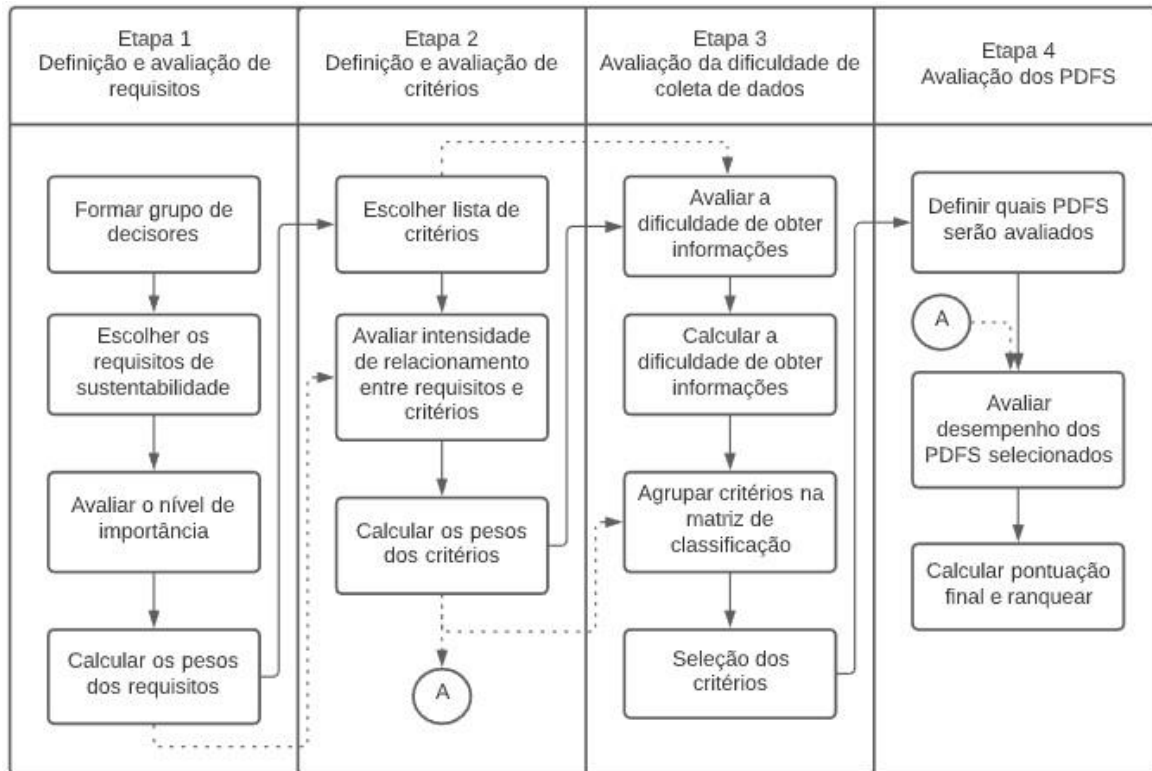
- 
3. Implementar um modelo computacional baseado no modelo conceitual proposto e na técnica HFLTS-QFD;
  4. Aplicar o modelo em um caso ilustrativo baseado em uma situação empresarial, utilizando julgamentos simulados de especialistas;
  5. Realizar testes de análise de sensibilidade, a fim de verificar a consistência dos resultados do modelo.

---

## **3. Modelo proposto para avaliação de PDFS**

### **3.1 Apresentação do modelo proposto**

O modelo proposto para apoiar o processo de avaliação de programas de desenvolvimento de fornecedores sustentáveis (PDFS) é composto por quatro etapas, conforme ilustrado na Figura 11. Esse modelo foi desenvolvido com base nos estudos propostos por Rodriguez et al. (2012;2013), Lima-Junior e Carpinetti (2014), Zimmer et al. (2016), Glock et al. (2017) e Osiro et al. (2018). Conforme as etapas do modelo proposto, inicialmente os tomadores de decisão irão selecionar dentre os requisitos da sustentabilidade (requisitos econômicos, ambientais e sociais), quais deseja melhorar quanto ao(s) seu(s) fornecedores(s). Posteriormente, é realizada uma análise de intensidade entre os critérios listados nesta etapa e os requisitos selecionados anteriormente. Também se avalia a dificuldade de obter informações para avaliar os PDFS em cada critério, e são definidos quais critérios serão considerados na avaliação. Por fim, os programas de desenvolvimento são avaliados com base nos critérios selecionados e, a partir de sua pontuação global, estes são ranqueados. Cada etapa do modelo proposto será descrita mais detalhadamente a seguir.



Nota: Setas inteiras: sequência de execução das atividades; Setas pontilhadas: fluxo de dados entre etapas.

Figura 11: Modelo proposto para avaliação de PDFS

Fonte: autoria própria (2020).

### 3.2 Etapa 1 – Definição e avaliação de Requisitos

Primeiramente nesta etapa são selecionados os tomadores de decisão que irão compor o grupo de julgadores envolvidos no processo de avaliação de PDFS. É importante salientar que, como este grupo possui grande influência no resultado final, é de suma importância que a formação desta equipe seja feita a partir de profissionais e especialistas de diferentes áreas (abrangendo as três dimensões da sustentabilidade, principalmente ambiental e social). A partir da utilização de uma matriz “*what*”, os tomadores de decisão irão identificar os requisitos quanto a sustentabilidade (abrangendo aspectos econômicos, ambientais e sociais), e ponderá-los de acordo com os aspectos do fornecedor que desejam melhorar. É importante destacar que a aplicação do modelo visa analisar apenas um fornecedor ou um conjunto de fornecedores com requisitos iguais ou similares. De acordo com os resultados obtidos de monitoramento e desempenho dos fornecedores, cada integrante da comissão julgadora deverá identificar os requisitos da empresa compradora e avaliar o nível de importância destes, de acordo com a necessidade constatada para melhorar o desempenho dos fornecedores em tais aspectos.

A escolha dos requisitos é baseada na discussão entre os agentes tomadores de decisão e pode ser apoiada pela tabela de requisitos sugerida por Zimmer et al. (2016) em seu estudo sobre gestão de fornecedores sustentáveis, conforme a Tabela 4. Essa lista não é uma imposição feita pelo modelo, pelo contrário, ela serve apenas de sugestão para os julgadores selecionarem os requisitos,

podendo esta ser complementada de acordo com as especificidades e necessidades da empresa compradora quanto ao desenvolvimento de fornecedores.

Tabela 4: Requisitos de desenvolvimento de fornecedores sustentáveis

| Requisitos econômicos                   | Requisitos ambientais                  | Requisitos sociais                          |
|-----------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------|
| R <sub>11</sub> : Gestão da Organização | R <sub>21</sub> : Práticas Ambientais  | R <sub>31</sub> : Práticas Sociais Internas |
| R <sub>12</sub> : Desempenho Financeiro | R <sub>22</sub> : Desempenho Ambiental | R <sub>32</sub> : Desempenho Social         |
| R <sub>13</sub> : Capacidades           |                                        | R <sub>33</sub> : Práticas Sociais Externas |
| R <sub>14</sub> : Percepção Externa     |                                        |                                             |

Fonte: adaptado de Zimmer et al. (2016, p.8)

Após a seleção de um conjunto de requisitos, sendo pelo menos um de cada uma das dimensões listadas, poderá ser utilizado um ou mais termos linguísticos da Figura 9 (nenhum, muito baixo, baixo, médio, alto, muito alto, absoluto), para expressar os julgamentos de cada um dos tomadores de decisão em relação ao nível de importância de cada requisito selecionado. Além disso, poderão ser utilizadas expressões linguísticas, como “*pelo menos...*”, “*...no máximo...*”, “*...no mínimo...*”, “*...entre...e...*”, entre outros, que estão representadas na Tabela 5.

Tabela 5: Expressões linguísticas usadas para avaliação dos requisitos

| Expressão        | Transformação da função $E_{GH}$<br>(Rodriguez et al., 2012)                                       | Exemplo de uso     | Termos linguísticos<br>ativados |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|---------------------------------|
| “No máximo...”   | $E_{GH}(\text{no máximo } s_i) = \{s_j / s_j \in S \text{ e } s_j \leq s_i\};$                     | No máximo alto     | [MB, B, M, A]                   |
| “Menor que...”   | $E_{GH}(\text{menor que } s_i) = \{s_j / s_j \in S \text{ e } s_j < s_i\};$                        | Menor que alto     | [MB, B, M]                      |
| “Pelo menos...”  | $E_{GH}(\text{pelo menos } s_i) = \{s_j / s_j \in S \text{ e } s_j \geq s_i\};$                    | Pelo menos baixo   | [B, M, A, MA, AB]               |
| “Maior que...”   | $E_{GH}(\text{maior que } s_i) = \{s_j / s_j \in S \text{ e } s_j > s_i\};$                        | Maior que médio    | [A, MA, AB]                     |
| “Entre... e ...” | $E_{GH}(\text{entre } s_i \text{ e } s_j) = \{s_k / s_k \in S \text{ e } s_i \leq s_k \leq s_j\};$ | Entre baixo e alto | [B, M, A]                       |

Fonte: adaptado de Siqueira-Junior (2019, p.63)

Após obter todas as informações pertinentes, os pesos referentes aos requisitos selecionados serão calculados de acordo com as equações 7, 8, 3 e 9, nesta sequência. Com os pesos calculados, eles passam pelo processo de normalização (equação 10), no qual a soma de todos os resultados obtidos se igual a 1 e facilita a ordenação preferencial dos requisitos.

$$v_i = \eta(x_i) / \sum \eta(x_i) \quad (10)$$

Sendo:  $v_i$  – grau de satisfação normalizado;

$\eta$  – grau de satisfação para o critério  $X_i$ .

### 3.3 Etapa 2 – Definição e avaliação de Critérios

Nesta etapa, é definida uma primeira lista de critérios alternativos, os quais serão avaliados e posteriormente selecionados ou não pelo decisor. Esses critérios devem estar relacionados com os requisitos selecionados da etapa anterior. Para apoiar essa escolha inicial, uma lista de critérios é sugerida de acordo Zimmer et al. (2016). Esses autores realizaram um levantamento de critérios baseado em outros artigos sobre gestão de fornecedores sustentáveis. Portanto, esses critérios derivam de vários estudos que avaliaram cadeias de suprimentos sustentáveis, compreendendo o monitoramento de desempenho após a contratação dos fornecedores e a avaliação de programas de desenvolvimento de fornecedores. A Tabela 6 sugere uma lista de critérios que foram segregados de acordo com o tripé da sustentabilidade, a fim de auxiliar os decisores no processo de seleção de critérios desta etapa.

Tabela 6: Lista de possíveis critérios para avaliação de PDFS

| Critérios Econômicos                      | Critérios Ambientais                   | Critérios Sociais                            |
|-------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------|
| C <sub>11</sub> Estratégia da Organização | C <sub>21</sub> Compromisso Ambiental  | C <sub>31</sub> Compromisso Social           |
| C <sub>12</sub> Gestão Interna            | C <sub>22</sub> Gestão Ambiental       | C <sub>32</sub> Gestão Social                |
| C <sub>13</sub> Gestão de Fornecedores    | C <sub>23</sub> Capacidades Ambientais | C <sub>33</sub> Trabalho Infantil e Escravo  |
| C <sub>14</sub> Conformidades             | C <sub>24</sub> Material               | C <sub>34</sub> Saúde e Segurança            |
| C <sub>15</sub> Custos                    | C <sub>25</sub> Energia                | C <sub>35</sub> Salários e Tempo de Trabalho |
| C <sub>16</sub> Situação Financeira       | C <sub>26</sub> Emissões               | C <sub>36</sub> Treinamento de Empregados    |
| C <sub>17</sub> Qualidade                 | C <sub>27</sub> Consumo de água        | C <sub>37</sub> Relações de Trabalho         |
| C <sub>18</sub> Produção e Logística      | C <sub>28</sub> Desperdício            | C <sub>38</sub> Discriminação e Diversidade  |
| C <sub>19</sub> Tecnologia                |                                        | C <sub>39</sub> Responsabilidade Social      |
| C <sub>110</sub> Serviços                 |                                        |                                              |
| C <sub>111</sub> Comunicação              |                                        |                                              |
| C <sub>112</sub> Divulgação Pública       |                                        |                                              |
| C <sub>113</sub> Reputação e Mercado      |                                        |                                              |
| C <sub>114</sub> Certificados             |                                        |                                              |

Fonte: adaptado de Zimmer et al. (2016, p.8) a partir de Benoît, 2009; Lee et al. 2009; Bai e Sarkis, 2010; Benoît et al. 2010; Sloan, 2010; Govindan, Khodaverdi, e Jafarian, 2013; Global Reporting Initiative, 2013.

Após selecionar os critérios ( $C_k = C_1, C_2, \dots, C_r$ ) que mais se adequam a realidade de cada caso, a comissão de decisores deve avaliar a intensidade de relacionamento dos critérios com os requisitos da primeira etapa ( $R_i = R_1, R_2, \dots, R_n$ ), fazendo o uso de julgamentos linguísticos (conforme a figura 10), e utilizando a matriz “how” da casa da qualidade (QFD). Portanto, eles utilizarão o mesmo conjunto de termos linguísticos adotado anteriormente, porém para expressar sua opinião quanto à intensidade de relação entre requisitos e critérios. Os resultados dessa etapa produzem os pesos dos critérios, que são calculados de acordo com as equações 7, 8, 3, 9, e 10 (nesta sequência), os

quais serão normalizados a partir da equação 11, o que garante uma melhor distribuição dos dados para classificação final dos critérios na matriz de categorização (etapa 3).

$$w_i = \frac{1}{1 + e^{-\frac{v - \bar{v}}{\sigma_v}}} \quad (11)$$

Sendo:

- $w_i$  - Valor resultante da normalização;
- $v$  - Valor a ser normalizado;
- $\bar{v}$  - Média simples dos valores a serem normalizados;
- $\sigma_v$  - Desvio padrão dos valores a serem normalizados;

### 3.4 Etapa 3 – Avaliação da dificuldade da Coleta de Dados

Esta etapa tem como objetivo avaliar o grau de dificuldade em obter informações sobre os fornecedores para avaliar o desempenho dos PDFS, e partir disso definir quais critérios podem ser mais facilmente considerados na avaliação. Os tomadores de decisão, portanto, devem considerar três fatores principais: a disponibilidade das informações, o capital humano e tempo demandado para se obter os dados, e a necessidade de recursos extras (Lima-Junior & Carpinetti, 2016; Osiro et al., 2018). Como a avaliação de tais critérios exige o julgamento dos tomadores de decisão (carácter subjetivo), o HFTLS pode ser utilizado a partir do conjunto de expressões linguísticas da tabela 5 e dos cinco termos linguísticos da Figura 12: Conjunto de cinco termos linguísticos

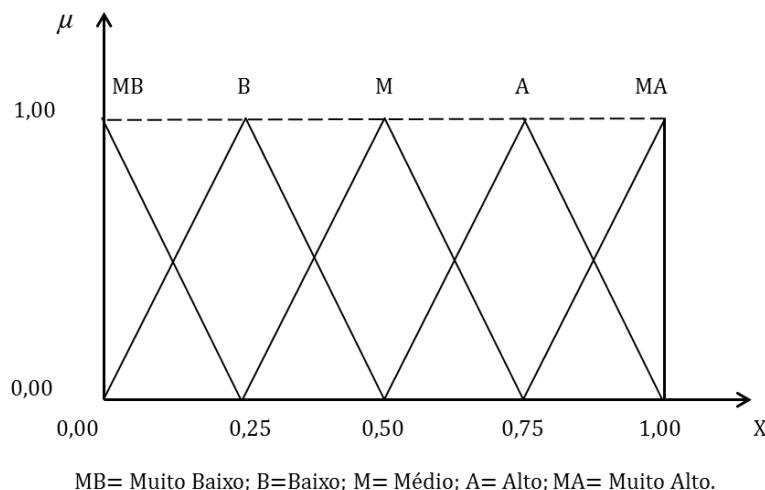


Figura 12: Conjunto de cinco termos linguísticos  
Fonte: adaptado de Lima Junior e Carpinetti (2016, p. 276)

Nessa parte do processo, os tomadores de decisão precisam chegar a um consenso em suas avaliações por meio de discussões entre eles, assim como na etapa anterior. Os termos sugeridos

---

por cada decisor para avaliar um critério específico também podem ser agrupados na forma de uma expressão linguística. É importante destacar que, segundo Osiro et al. (2018), a disponibilidade de informações é considerada um critério de custo, pois a medida que aumenta essa disponibilidade diminui a dificuldade em se coletar os dados. Sendo assim, essa métrica utiliza o limite inferior para definir sua solução ideal positiva (equação 7), e limite superior para definir sua solução ideal negativa (equação 8). Contudo, os outros dois fatores são considerados critérios de benefício, utilizando o limite superior para definir sua solução ideal positiva (equação 7), e limite inferior para a solução ideal negativa (equação 8). As distâncias para cada critério são calculadas a partir da equação 3. O grau de satisfação é calculado usando a equação 9 e a normalização dos resultados é feita a partir da equação 11.

Os resultados obtidos após a normalização deverão ser agrupados na matriz de classificação, de acordo com a Figura 13 (Lima-Junior & Carpinetti, 2016). Essa matriz está dividida em quatro grupos distintos, sendo eles: critérios prioritários, critérios críticos, critérios complementares e critérios custosos. Os critérios prioritários (grupo 1) são aqueles que possuem maior peso e se relacionam mais fortemente com os requisitos prioritários, apresentando baixa dificuldade de coleta de dados, fazendo com que sejam mais atrativos para serem utilizados no processo de avaliação. Os critérios críticos (grupo 2) são aqueles que possuem pesos altos, porém possuem elevado grau de dificuldade na obtenção de dados, sendo indicado selecionar apenas os mais relevantes deste grupo. Já os critérios complementares (grupo 3) são compostos de critérios não tão interessantes por possuírem um peso baixo. Porém, pelo fato de possuírem baixo grau de dificuldade na obtenção dos dados, pode-se selecionar alguns destes critérios para o processo de avaliação de PDFS a fim de propiciar uma avaliação mais minuciosa. Por fim, o grupo 4 é composto pelos critérios custosos que, além de serem menos importantes (pesos baixos), possuem alto grau de dificuldade em se obter informações, devendo não se optar por critérios classificados neste grupo. Segundo os mesmos autores, deve-se selecionar todos os critérios do grupo 1, descartar os pertencentes ao grupo 4, e analisar e selecionar dentre os critérios dos grupos 2 e 3 quais são mais interessantes e relevantes na avaliação pretendida.

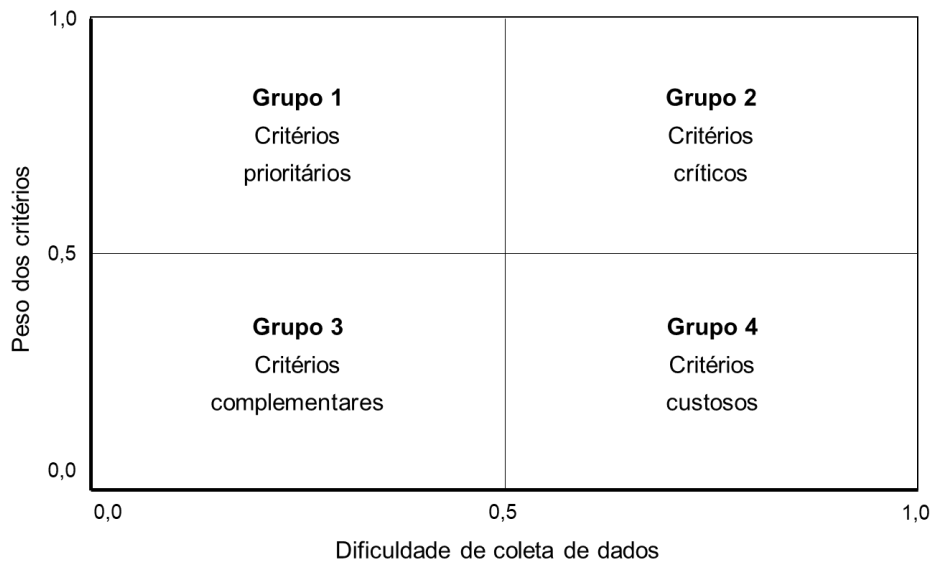


Figura 13: Matriz de classificação de critérios  
 Fonte: adaptado de Lima-Junior e Carpinetti (2016, p.276).

### 3.5 Etapa 4 – Avaliação dos PDFS

Nesta etapa, será realizada a avaliação dos programas de desenvolvimento de fornecedores sustentáveis (PDFS) que já estão em curso pela empresa, de acordo com o(s) fornecedor(es) considerado(s) na aplicação. Vale ressaltar que o modelo proposto pode ser aplicado em apenas um fornecedor por vez ou em um grupo de fornecedores com necessidades de desenvolvimento similares, ou seja, que carecem dos mesmos aspectos de melhoria de desempenho. Os tomadores de decisão devem avaliar os PDFS com base em todos os critérios selecionados na etapa 3, verificando o desempenho de cada um deles individualmente. Aplicam-se as equações 7, 8, 3 e 9 (nesta sequência), a fim de se obter o grau de satisfação (ou desempenho global) de cada um dos PDFS. Para se obter uma melhor visualização dos resultados, realiza-se a normalização do grau de satisfação usando a equação 10. Posteriormente, deve-se ranquear os resultados de forma decrescente e, a partir de então, tomar as próximas decisões gerenciais. Dependendo dos resultados obtidos, os gestores podem optar por manter o programa de desenvolvimento, fazer adequações necessárias, ou até mesmo removê-lo e dar oportunidade a outro programa que possa atender melhor aos requisitos do comprador em termos de desenvolvimento de fornecedores sustentáveis.



---

## 4. Aplicação Ilustrativa

Foi desenvolvido um caso ilustrativo, baseado em dados simulados e em estudos encontrados na literatura, para demonstrar o uso do modelo proposto. Supondo uma empresa compradora que precise avaliar os PDFS que já foram ou estão sendo implantados em um fornecedor, a fim de verificar qual destes está tendo melhor desempenho e, a partir de então, tomar as próximas decisões gerenciais cabíveis em cada caso. Os programas que a empresa implementa atualmente abrangem os três pilares da sustentabilidade e estão apresentados a seguir (Finger, 2019):

1. PDFS<sub>1</sub>: Envolvimento da diretoria da empresa para desenvolvimento de produtos com menor impacto ambiental (Sánchez, Hemsworth, & Martínez, 2005; Trent & Monczka, 1999), treinamento de funcionários (Krause, Scannell, & Calantone, 2000) e suporte para entrada em novo mercado (Wagner, 2006);
2. PDFS<sub>2</sub>: Criação de um sistema de rastreabilidade de produtos para identificação de lotes com problemas e criação de um sistema de FIFO (primeiro a entrar, primeiro a sair) para garantir a rastreabilidade e a melhoria do fluxo logístico interno e externo da companhia (Alamri & Syntetos, 2018);

3. PDFS<sub>3</sub>: Práticas para aumento da eficiência energética (Trianni, 2019). Auxílio à instalação de fontes de energias renováveis- solar, eólica e/ou de biomassa (Barba et al., 2019);
4. PDFS<sub>4</sub>: Programa de aumento de segurança e higiene fabril para o trabalhador e redução de acidentes de trabalho (Pedroso, 2019), a fim de diminuir o *turn-over* de funcionários (Awasthy & Hazra, 2019);
5. PDFS<sub>5</sub>: Apoiar financeiramente atividades educacionais e culturais para melhorar a qualidade de vida das comunidades locais (Lu et al., 2012).

## 4.1 Determinação e Avaliação de Requisitos

Inicialmente três decisores das áreas de pesquisa e desenvolvimento (P&D), responsabilidade social e gestão de operações foram selecionados e incumbidos da tarefa de determinar quais os requisitos da empresa compradora quanto às capacidades que precisam ser melhoradas em um fornecedor a partir da implantação de um determinado conjunto de PDFS. Os requisitos foram selecionados com base na Tabela 4 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, abrangendo os três pilares da sustentabilidade, e estão apresentados na Tabela 7. Em seguida, os decisores avaliaram o nível de importância de cada um dos requisitos por meio da utilização de expressões e termos linguísticos (tabela 5 e figura 9, respectivamente). A avaliação feita pelos decisores está apresentada na Tabela 8 e sua conversão em formato HFLTS na Tabela 9.

Tabela 7: Requisitos selecionados pelos tomadores de decisão

| ID              | Requisitos                |
|-----------------|---------------------------|
| R <sub>11</sub> | Gestão da Organização     |
| R <sub>12</sub> | Desempenho Financeiro     |
| R <sub>21</sub> | Práticas Ambientais       |
| R <sub>22</sub> | Desempenho Ambiental      |
| R <sub>32</sub> | Desempenho Social         |
| R <sub>33</sub> | Práticas Sociais Externas |

Fonte: autoria própria (2020).

Tabela 8: Avaliação do nível de importância dos requisitos com uso de expressões linguísticas

|                 | D <sub>1</sub>           | D <sub>2</sub>           | D <sub>3</sub>           |
|-----------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| R <sub>11</sub> | Entre alto e muito alto  | Entre médio e muito alto | No mínimo muito alto     |
| R <sub>12</sub> | Entre médio e muito alto | Entre alto e muito alto  | Entre alto e muito alto  |
| R <sub>21</sub> | Entre médio e muito alto | No mínimo alto           | No mínimo alto           |
| R <sub>22</sub> | Entre médio e alto       | Entre alto e muito alto  | Entre médio e muito alto |
| R <sub>32</sub> | No mínimo alto           | Entre médio e muito alto | Entre médio e muito alto |
| R <sub>33</sub> | Entre médio e muito alto | Alto                     | Entre alto e muito alto  |

Fonte: autoria própria (2020).

Tabela 9: Conversão do julgamento dos decisores em HFLTS

|                 | D <sub>1</sub> | D <sub>2</sub> | D <sub>3</sub> |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|
| R <sub>11</sub> | [A, MA]        | [M, A, MA]     | [MA, AB]       |
| R <sub>12</sub> | [M, A, MA]     | [A, MA]        | [A, MA]        |
| R <sub>21</sub> | [M, A, MA]     | [A, MA, AB]    | [A, MA, AB]    |
| R <sub>22</sub> | [M, A]         | [A, MA]        | [M, A, MA]     |
| R <sub>32</sub> | [A, MA, AB]    | [M, A, MA]     | [M, A, MA]     |
| R <sub>33</sub> | [M, A, MA]     | [A]            | [A, MA]        |

Nota: M=Médio, A=Alto, MA=Muito Alto, AB=Absoluto  
 Fonte: autoria própria (2020).

Com isso, foram calculadas soluções ideais positiva e negativa de acordo com as equações 7 e 8, respectivamente. Para a solução ideal positiva, tem-se  $x^+ = [[AB] [AB] [AB]]$ , e para solução ideal negativa, obteve-se  $x^- = [[M] [M] [M]]$ . Neste caso ilustrativo, foi considerado que os julgamentos de cada um dos decisores tem mesmo peso (0,333). Portanto, com o auxílio da equação 3, foram calculadas as distâncias entre as pontuações dos requisitos e as soluções positivas ( $d(x_i, x^+)$ ) e negativas ( $d(x_i, x^-)$ ) encontradas anteriormente. Definidos os valores das distâncias e o parâmetro de preferência de risco do tomador de decisão  $\theta=0,5$  (neste caso representando uma visão neutra), o grau de satisfação de cada um dos requisitos ( $\eta(x_i)$ ) foi calculado por meio do uso da expressão 9 e normalizado através da equação 10. A Tabela 10 apresenta os valores calculados para cada um dos requisitos avaliados pelos decisores.

Tabela 10: Resultado do cálculo dos pesos dos requisitos

| ID              | Distância da solução ideal positiva<br>$d(x_i, x^+)$ | Distância da solução ideal negativa<br>$d(x_i, x^-)$ | Grau de satisfação<br>$\eta(x_i)$ | Peso normalizado<br>$v(x_i)$ | Classificação |
|-----------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|---------------|
| R <sub>11</sub> | 0,228                                                | 0,269                                                | 0,541                             | 0,1955                       | 1°            |
| R <sub>21</sub> | 0,233                                                | 0,274                                                | 0,540                             | 0,1949                       | 2°            |
| R <sub>32</sub> | 0,274                                                | 0,233                                                | 0,460                             | 0,1663                       | 3°            |
| R <sub>12</sub> | 0,256                                                | 0,213                                                | 0,454                             | 0,1639                       | 4°            |
| R <sub>33</sub> | 0,276                                                | 0,187                                                | 0,405                             | 0,1462                       | 5°            |
| R <sub>22</sub> | 0,305                                                | 0,178                                                | 0,369                             | 0,1332                       | 6°            |

Fonte: autoria própria (2020).

Segundo os resultados mostrados na Tabela 10, pode-se observar que o requisito prioritário é gestão da organização ( $R_{11}$ ), que está relacionado à dimensão econômica da sustentabilidade. O segundo requisito mais importante se refere a práticas ambientais ( $R_{21}$ ), seguido por desempenho social ( $R_{32}$ ), desempenho financeiro ( $R_{12}$ ), práticas sociais externas ( $R_{33}$ ) e desempenho ambiental ( $R_{22}$ ).

---

## 4.2 Definição e Avaliação de Critérios

Nesta parte do processo, os tomadores de decisão definiram um conjunto de critérios relacionados com os requisitos da etapa anterior. A lista de critérios selecionados de forma consensual (com base na Tabela 6) está apresentada na Tabela 11.

Tabela 11: Lista de critérios selecionados pelos decisores

| <b>ID</b>       | <b>Critérios</b>          |
|-----------------|---------------------------|
| C <sub>11</sub> | Estratégia da Organização |
| C <sub>12</sub> | Gestão Interna            |
| C <sub>15</sub> | Custos                    |
| C <sub>16</sub> | Situação Financeira       |
| C <sub>21</sub> | Compromisso Ambiental     |
| C <sub>22</sub> | Gestão Ambiental          |
| C <sub>27</sub> | Consumo de água           |
| C <sub>34</sub> | Saúde e Segurança         |
| C <sub>36</sub> | Treinamento de Empregados |
| C <sub>39</sub> | Responsabilidade Social   |

Fonte: autoria própria (2020).

Definida a lista de critérios, os tomadores de decisão avaliaram qual é o grau de relacionamento entre cada um dos critérios com os requisitos avaliados na etapa anterior. Para isso, utilizaram termos e expressões linguísticas, os quais foram convertidos em formato HFLTS (Tabela 12 e Tabela 13).

Tabela 12: Intensidade de relacionamento entre critérios e requisitos

| ID              | R <sub>11</sub>           | R <sub>12</sub>           | R <sub>21</sub>           | R <sub>22</sub>           | R <sub>32</sub>           | R <sub>33</sub>           |
|-----------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| C <sub>11</sub> | No mínimo muito alto      | No mínimo muito alto      | Entre médio e alto        | Entre baixo e médio       | Entre muito baixo e baixo | Entre muito baixo e baixo |
| C <sub>12</sub> | No mínimo alto            | Entre médio e alto        | Entre baixo e médio       | Entre muito baixo e baixo | Entre baixo e médio       | Muito baixo               |
| C <sub>15</sub> | Entre médio e alto        | Entre alto e muito alto   | Nulo                      | Muito baixo               | Entre muito baixo e baixo | Muito baixo               |
| C <sub>16</sub> | Entre alto e muito alto   | Entre alto e muito alto   | Entre muito baixo e baixo | No máximo muito baixo     | No máximo muito baixo     | No máximo muito baixo     |
| C <sub>21</sub> | Entre baixo e médio       | Entre muito baixo e baixo | No mínimo muito alto      | Entre alto e muito alto   | Entre muito baixo e baixo | Muito baixo               |
| C <sub>22</sub> | Entre muito baixo e baixo | No máximo muito baixo     | No mínimo muito alto      | No mínimo muito alto      | Baixo                     | Baixo                     |
| C <sub>27</sub> | Nulo                      | Nulo                      | Entre alto e muito alto   | Entre alto e muito alto   | Muito baixo               | No máximo muito baixo     |
| C <sub>34</sub> | Entre muito baixo e médio | Entre muito baixo e baixo | Entre muito baixo e baixo | Entre muito baixo e baixo | No mínimo alto            | Entre alto e muito alto   |
| C <sub>36</sub> | Entre muito baixo e médio | Entre muito baixo e baixo | Entre baixo e médio       | Entre baixo e médio       | Entre alto e muito alto   | No mínimo alto            |
| C <sub>39</sub> | Muito baixo               | Muito baixo               | Entre médio e alto        | Entre médio e alto        | Entre alto e muito alto   | No mínimo muito alto      |

Fonte: autoria própria (2020).

Tabela 13: Conversão da intensidade de relacionamento para o formato de HFLTS

| ID              | R <sub>11</sub> | R <sub>12</sub> | R <sub>21</sub> | R <sub>22</sub> | R <sub>32</sub> | R <sub>33</sub> |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| C <sub>11</sub> | [MA, AB]        | [MA, AB]        | [M, A]          | [B, M]          | [MB, B]         | [MB, B]         |
| C <sub>12</sub> | [A, MA, AB]     | [M, A]          | [B, M]          | [MB, B]         | [B, M]          | [MB]            |
| C <sub>15</sub> | [M, A]          | [A, MA]         | [N]             | [MB]            | [MB, B]         | [MB]            |
| C <sub>16</sub> | [A, MA]         | [A, MA]         | [MB, B]         | [N, MB]         | [N, MB]         | [N, MB]         |
| C <sub>21</sub> | [B, M]          | [MB, B]         | [MA, AB]        | [A, MA]         | [MB, B]         | [MB]            |
| C <sub>22</sub> | [MB, B]         | [N, MB]         | [MA, AB]        | [MA, AB]        | [B]             | [B]             |
| C <sub>27</sub> | [N]             | [N]             | [A, MA]         | [A, MA]         | [MB]            | [N, MB]         |
| C <sub>34</sub> | [MB, B, M]      | [MB, B]         | [MB, B]         | [MB, B]         | [A, MA]         | [A, MA]         |
| C <sub>36</sub> | [MB, B, M]      | [MB, B]         | [B, M]          | [B, M]          | [A, MA]         | [A, MA, AB]     |
| C <sub>39</sub> | [MB]            | [MB]            | [M, A]          | [M, A]          | [A, MA]         | [MA, AB]        |

Nota: N=Nulo, MB=Muito baixo, B=Baixo, M=Médio, A=Alto, MA=Muito alto, AB=Absoluto  
 Fonte: autoria própria (2020).

Após a avaliação da intensidade de relacionamentos entre critérios e requisitos, foi possível identificar as soluções ideais para esta etapa. Como solução ideal positiva obteve-se  $x^+ = [[AB] [AB] [AB] [AB] [MA] [AB]]$  (equação 7), e como solução ideal negativa obteve-se  $x^- = [[N] [N] [N] [N] [N] [N]]$  (equação 8). Então, aplicou-se a equação 3 para calcular as distâncias entre as pontuações dos critérios e a soluções ideais positiva e negativa, considerando os pesos dos requisitos que foram calculados na etapa anterior. Sequencialmente, foram aplicadas as equações 9 e 11 para determinar o grau de satisfação ( $\theta = 0.5$ ) e normalizar os pesos obtidos para os critérios. Os resultados estão apresentados na Tabela 14 a seguir.

Tabela 14: Resultados do cálculo dos pesos dos critérios de avaliação de PDFS

| ID              | Distância da solução ideal positiva<br>$d(x_i, x^+)$ | Distância da solução ideal negativa<br>$d(x_i, x^-)$ | Grau de satisfação<br>$\eta(x_i)$ | Peso normalizado<br>$w(x_i)$ | Classificação |
|-----------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|---------------|
| C <sub>11</sub> | 0,194                                                | 0,307                                                | 0,612                             | 0,8481                       | 1°            |
| C <sub>39</sub> | 0,237                                                | 0,252                                                | 0,515                             | 0,7136                       | 2°            |
| C <sub>36</sub> | 0,232                                                | 0,217                                                | 0,483                             | 0,6557                       | 3°            |
| C <sub>22</sub> | 0,289                                                | 0,241                                                | 0,455                             | 0,6023                       | 4°            |
| C <sub>21</sub> | 0,271                                                | 0,223                                                | 0,451                             | 0,5941                       | 5°            |
| C <sub>12</sub> | 0,251                                                | 0,202                                                | 0,446                             | 0,5841                       | 6°            |
| C <sub>34</sub> | 0,285                                                | 0,192                                                | 0,402                             | 0,4941                       | 7°            |
| C <sub>16</sub> | 0,377                                                | 0,165                                                | 0,304                             | 0,3023                       | 8°            |
| C <sub>15</sub> | 0,390                                                | 0,133                                                | 0,254                             | 0,2224                       | 9°            |
| C <sub>27</sub> | 0,457                                                | 0,142                                                | 0,237                             | 0,1997                       | 10°           |

Fonte: autoria própria (2020).

Pode-se observar que os critérios com maior peso, de acordo com os julgamentos dos decisores, foram estratégia da organização ( $C_{11}$ ), responsabilidade social ( $C_{39}$ ), treinamento de empregados ( $C_{36}$ ) e gestão ambiental ( $C_{22}$ ), seguidos por compromisso ambiental ( $C_{21}$ ), gestão interna ( $C_{12}$ ), saúde e segurança ( $C_{34}$ ), situação financeira ( $C_{16}$ ), custos ( $C_{15}$ ) e consumo de água ( $C_{27}$ ).

### 4.3 Avaliação da dificuldade de Coleta de Dados

Nesta etapa é avaliada a dificuldade em coletar os dados sobre o desempenho dos fornecedores que permitam avaliar os resultados dos PDFS em curso. Essa avaliação é baseada em três aspectos: a disponibilidade das informações, o capital humano e tempo demandado para se obter os dados, e a necessidade de recursos extras. Para avaliar os critérios selecionados na etapa anterior em relação a esses três aspectos, foram utilizados termos linguísticos (Figura 9: Conjunto básico de termos linguísticos) e expressões linguísticas (Tabela 5) para representar os julgamentos, que estão expressos na Tabela 15. A conversão desses em formato HFLTS é mostrada na Tabela 16. A Tabela 17 apresenta os resultados ao final desta etapa.

Tabela 15: Julgamento dos decisores em relação ao grau de dificuldade de coleta de dados

| ID       | Disponibilidade de informações | Recursos humanos e tempo necessário | Recursos adicionais |
|----------|--------------------------------|-------------------------------------|---------------------|
| $C_{11}$ | Entre médio e alto             | Entre médio e alto                  | Muito baixo         |
| $C_{12}$ | Entre médio e alto             | Entre baixo e médio                 | Muito baixo         |
| $C_{15}$ | No máximo baixo                | Baixo                               | Entre médio e alto  |
| $C_{16}$ | Entre médio e alto             | Entre médio e alto                  | Entre baixo e médio |
| $C_{21}$ | Entre médio e alto             | Entre baixo e médio                 | Entre baixo e médio |
| $C_{22}$ | Entre médio e alto             | Entre médio e alto                  | No mínimo alto      |
| $C_{27}$ | Baixo                          | No máximo baixo                     | No máximo baixo     |
| $C_{34}$ | Entre baixo e médio            | Entre baixo e médio                 | Entre baixo e médio |
| $C_{36}$ | Entre médio e alto             | Entre médio e alto                  | Entre baixo e médio |
| $C_{39}$ | Entre baixo e médio            | Entre médio e alto                  | Entre baixo e médio |

Fonte: autoria própria (2020)

Tabela 16: Julgamentos sobre a dificuldade de coleta de dados convertidos em HFLTS

| ID              | Disponibilidade de informações | Recursos humanos e tempo necessário | Recursos adicionais |
|-----------------|--------------------------------|-------------------------------------|---------------------|
| C <sub>11</sub> | [M, A]                         | [M, A]                              | [MB]                |
| C <sub>12</sub> | [M, A]                         | [B, M]                              | [MB]                |
| C <sub>15</sub> | [MB, B]                        | [B]                                 | [M, A]              |
| C <sub>16</sub> | [M, A]                         | [M, A]                              | [B, M]              |
| C <sub>21</sub> | [M, A]                         | [B, M]                              | [B, M]              |
| C <sub>22</sub> | [M, A]                         | [M, A]                              | [A, MA]             |
| C <sub>27</sub> | [B]                            | [MB, B]                             | [MB, B]             |
| C <sub>34</sub> | [B, M]                         | [B, M]                              | [B, M]              |
| C <sub>36</sub> | [M, A]                         | [M, A]                              | [B, M]              |
| C <sub>39</sub> | [B, M]                         | [M, A]                              | [B, M]              |

Nota: MB=Muito baixo, B=Baixo, M=Médio, A=Alto, MA=Muito alto  
 Fonte: autoria própria (2020)

Em sequência, foram encontradas as soluções ideais positiva ( $x^+ = [[MB] [A] [MA]]$ ) e negativa ( $x^- = [[A] [MB] [MB]]$ ) para cada um dos parâmetros analisados de acordo com as equações 7 e 8, respectivamente. No caso do fator “disponibilidade de informações” é feita a inversão das equações já que é considerado fator de custo, uma vez que a dificuldade da coleta de dados diminui com o aumento da disponibilidade de informações. Foram calculadas as distâncias entre cada critério e cada uma dessas soluções positivas e negativas. Por fim, calculou-se o grau de satisfação de cada um dos critérios utilizando a equação 9 e  $\theta = 0.5$ , e a normalização destes resultados foi feita a partir da equação 11. A Tabela 13 apresenta os resultados ao final desta etapa.

Tabela 17: Resultado do cálculo do grau de dificuldade da coleta de dados

| ID              | Distância da solução ideal positiva<br>$d(x_i, x^+)$ | Distância da solução ideal negativa<br>$d(x_i, x^-)$ | Grau de satisfação<br>$\eta(x_i)$ | Peso normalizado<br>$w(x_i)$ | Classificação |
|-----------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|---------------|
| C <sub>22</sub> | 0,245                                                | 1,010                                                | 0,805                             | 0,899                        | 1°            |
| C <sub>36</sub> | 0,548                                                | 0,787                                                | 0,590                             | 0,702                        | 2°            |
| C <sub>16</sub> | 0,632                                                | 0,748                                                | 0,542                             | 0,637                        | 3°            |
| C <sub>11</sub> | 0,735                                                | 0,583                                                | 0,442                             | 0,487                        | 4°            |
| C <sub>39</sub> | 0,787                                                | 0,616                                                | 0,439                             | 0,482                        | 5°            |
| C <sub>21</sub> | 0,872                                                | 0,600                                                | 0,408                             | 0,434                        | 6°            |
| C <sub>12</sub> | 0,906                                                | 0,548                                                | 0,377                             | 0,388                        | 7°            |
| C <sub>34</sub> | 0,787                                                | 0,424                                                | 0,350                             | 0,349                        | 8°            |
| C <sub>15</sub> | 0,825                                                | 0,400                                                | 0,327                             | 0,317                        | 9°            |
| C <sub>27</sub> | 0,959                                                | 0,283                                                | 0,228                             | 0,201                        | 10°           |

Fonte: autoria própria (2020)

Dentre os critérios analisados, pode-se perceber que gestão ambiental ( $C_{22}$ ), treinamento de empregados ( $C_{36}$ ) e situação financeira ( $C_{16}$ ) obtiveram maiores pontuações em relação à dificuldade de coleta de dados o que indica que estes critérios são os mais difíceis de avaliar.

Após obter o resultado da dificuldade em coletar dados, os valores resultantes foram agrupados em uma matriz de classificação juntamente com os pesos dos critérios calculados na etapa 2. Conforme citado na seção 4.4, esta matriz é dividida em quatro quadrantes: critérios prioritários (grupo 1), críticos (grupo 2), complementares (grupo 3) e custosos (grupo 4). Além disso, o limiar definido entre os quadrantes é de 0,5, ou seja, se o valor normalizado obtido a partir dos cálculos for igual ou maior que 0,5, o critério correspondente será categorizado em um dos quadrantes superiores ou à direita da matriz, indicando que o critério possui um peso alto e/ou alta dificuldade na coleta de dados. A Figura 14 ilustra a matriz com os resultados obtidos para este caso.

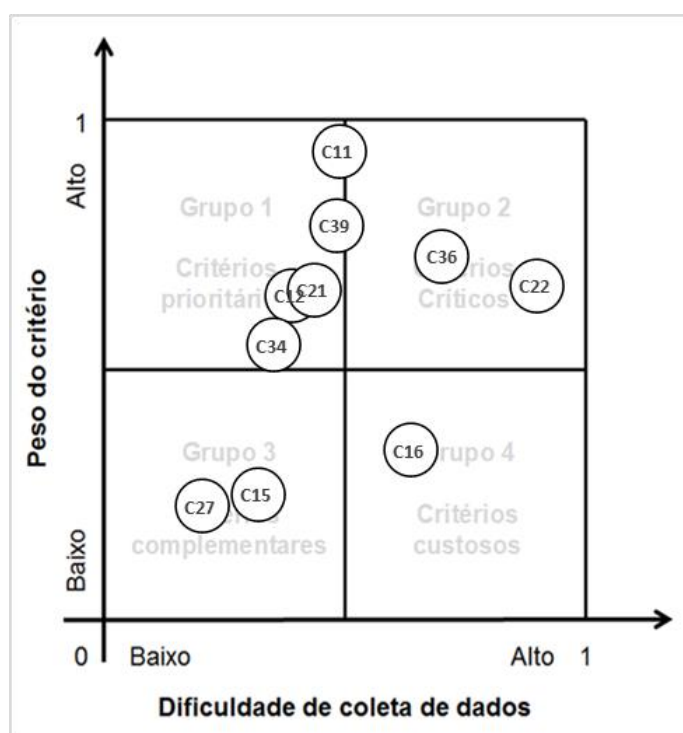


Figura 14: Matriz de classificação de critérios  
Fonte: autoria própria (2020)

Como pode ser observado nos resultados mostrados na Figura 18, o grupo 1 (critérios prioritários) é composto pela maioria dos critérios analisados, sendo eles: estratégia da organização ( $C_{11}$ ), gestão interna ( $C_{12}$ ), compromisso ambiental ( $C_{21}$ ), saúde e segurança ( $C_{34}$ ) e responsabilidade social ( $C_{39}$ ). Esses critérios foram classificados com pesos altos e baixa dificuldade para coleta de dados, ao passo que o critério estratégia da organização ( $C_{11}$ ) possui o peso mais alto dentre eles. Estratégia da organização ( $C_{11}$ ), compromisso ambiental ( $C_{21}$ ) e responsabilidade social ( $C_{39}$ ) foram critérios classificados próximo do limite entre quadrantes, o que indica haver uma relativa dificuldade em se obter os dados, porém continuam pertencentes ao primeiro grupo. No grupo 2 (critérios críticos) estão gestão ambiental ( $C_{22}$ ) e treinamento de empregados ( $C_{36}$ ), que foram critérios considerados com alta importância e alta dificuldade em se obter dados. O grupo 3 (critérios complementares) é composto por consumo de água ( $C_{27}$ ) e custos ( $C_{15}$ ) que apresentam a menor

---

importância e menor dificuldade em coletar dados. Por fim, o grupo 4 (critérios custosos) é composto por situação financeira ( $C_{16}$ ) que foi classificado com baixo nível de importância e alto grau de dificuldade na obtenção das informações.

Neste caso ilustrativo, os tomadores de decisão resolveram selecionar todos os critérios do grupo 1 e descartar os critérios do grupo 4, uma vez que o primeiro grupo se torna muito atrativo por apresentar altos níveis de importância e baixo grau de dificuldade em obter informações, ao passo que observa-se o oposto no grupo descartado. Em relação aos grupos 2 e 3, os tomadores de decisão devem chegar a um consenso e verificar qual a importância relativa para o processo de avaliação, uma vez que para o grupo 2 é muito difícil se obter dados (apesar da sua importância), e o grupo 3 acaba por apresentar um nível de importância menor. Contudo, levando em conta o maior nível de importância, menor dificuldade em relação a obtenção dos dados e/ou proximidade com o limiar, decidiu-se selecionar os critérios  $C_{36}$  (treinamento de empregados) e  $C_{15}$  (custos) e excluir os critérios  $C_{27}$  (consumo de água) e  $C_{22}$  (gestão ambiental).

#### **4.4 Avaliação dos PDFS**

Nesta etapa, os tomadores de decisão avaliaram um conjunto de PDFS já implementados pela empresa, considerando os critérios selecionados na etapa 3. Conforme ocorre nas demais etapas, eles julgaram de forma consensual e através do uso de termos linguísticos (Figura 9) e expressões linguísticas (), o desempenho dos PDFS implementados no fornecedor em questão, considerando o grau de melhoria que estes programas propiciaram ao fornecedor frente a cada um dos critérios. A Tabela 18 e Tabela 19 apresentam os julgamentos dos decisores quanto ao desempenho dos PDFS e a conversão destes em HFLTS, respectivamente.

Tabela 18: Avaliação dos PDFS pelos tomadores de decisão

| ID                | C <sub>11</sub>           | C <sub>12</sub>       | C <sub>15</sub>           | C <sub>21</sub>           | C <sub>34</sub>         | C <sub>36</sub>           | C <sub>39</sub>         |
|-------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|
| PDFS <sub>1</sub> | No mínimo muito alto      | Entre médio e alto    | Entre médio e alto        | Entre muito baixo e baixo | Nulo                    | Entre muito baixo e baixo | Nulo                    |
| PDFS <sub>2</sub> | Entre médio e alto        | Entre médio e alto    | Entre médio e alto        | Muito baixo               | Nulo                    | Nulo                      | Nulo                    |
| PDFS <sub>3</sub> | Entre muito baixo e baixo | Entre baixo e médio   | Entre baixo e médio       | Entre alto e muito alto   | Muito baixo             | Entre muito baixo e baixo | Entre médio e alto      |
| PDFS <sub>4</sub> | Muito baixo               | Entre médio e alto    | Entre muito baixo e baixo | No máximo muito baixo     | Entre alto e muito alto | Entre médio e alto        | Entre alto e muito alto |
| PDFS <sub>5</sub> | Entre muito baixo e baixo | No máximo muito baixo | Entre muito baixo e baixo | Entre muito baixo e baixo | Entre baixo e médio     | Entre médio e alto        | No mínimo muito alto    |

Fonte: autoria própria (2020)

Tabela 19: Avaliação dos PDFS convertida em HFLTS

| ID                | C <sub>11</sub> | C <sub>12</sub> | C <sub>15</sub> | C <sub>21</sub> | C <sub>34</sub> | C <sub>36</sub> | C <sub>39</sub> |
|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| PDFS <sub>1</sub> | [MA, AB]        | [M, A]          | [M, A]          | [MB, B]         | [N]             | [MB, B]         | [N]             |
| PDFS <sub>2</sub> | [M, A]          | [M, A]          | [M, A]          | [MB]            | [N]             | [N]             | [N]             |
| PDFS <sub>3</sub> | [MB, B]         | [B, M]          | [B, M]          | [A, MA]         | [MB]            | [MB, B]         | [M, A]          |
| PDFS <sub>4</sub> | [MB]            | [M, A]          | [MB, B]         | [N, MB]         | [A, MA]         | [M, A]          | [A, MA]         |
| PDFS <sub>5</sub> | [MB, B]         | [N, MB]         | [MB, B]         | [MB, B]         | [B, M]          | [M, A]          | [MA, AB]        |

Nota: N=Nulo, MB=Muito baixo, B=Baixo, M=Médio, A=Alto, MA=Muito alto, AB=Absoluto  
 Fonte: autoria própria (2020).

Em sequência, foram obtidas as soluções ideais positiva e negativa. Por meio da equação 7, encontrou-se como solução ideal positiva  $x^+ = [[AB] [A] [A] [MA] [MA] [A] [AB]]$ . Usando a equação 8, obteve-se como solução ideal negativa  $x^- = [[MB] [N] [MB] [N] [N] [N] [N]]$ . As distâncias da solução ideal positiva ( $d(x_i, x^+)$ ) e da solução ideal negativa ( $d(x_i, x^-)$ ) foram determinadas a partir da equação 3, de acordo com os pesos dos critérios encontrados na etapa 2. Contudo, os pesos da etapa 2 foram normalizados de acordo com a equação 10 a fim de serem utilizados nesta etapa, uma vez que se tem como premissa a soma dos pesos dos critérios ser igual a 1. Calculou-se o grau de satisfação a partir da equação 9 e  $\theta = 0.5$ , e por fim, normalizou-se a pontuação a partir da equação 10. A Tabela 20 mostra a classificação dos resultados obtidos.

Tabela 20: Classificação dos PDFS avaliados

| ID                | Distância da solução ideal positiva<br>$d(x_i, x^+)$ | Distância da solução ideal negativa<br>$d(x_i, x^-)$ | Grau de satisfação<br>$\eta(x_i)$ | Peso normalizado<br>$v(x_i)$ | Classificação |
|-------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|---------------|
| PDFS <sub>4</sub> | 0,351                                                | 0,388                                                | 0,526                             | 0,2333                       | 1°            |
| PDFS <sub>5</sub> | 0,365                                                | 0,355                                                | 0,493                             | 0,2189                       | 2°            |
| PDFS <sub>1</sub> | 0,417                                                | 0,335                                                | 0,445                             | 0,1977                       | 3°            |
| PDFS <sub>3</sub> | 0,370                                                | 0,291                                                | 0,440                             | 0,1955                       | 4°            |
| PDFS <sub>2</sub> | 0,468                                                | 0,250                                                | 0,348                             | 0,1546                       | 5°            |

Fonte: autoria própria (2020).

Após a aplicação das quatro etapas, pode-se perceber que dentre os programas desenvolvidos pela empresa neste caso, os que estão mais bem classificados de acordo com o modelo proposto são os PDFS<sub>4</sub> e PDFS<sub>5</sub>, seguidos pelos PDFS<sub>1</sub>, PDFS<sub>3</sub> e PDFS<sub>2</sub>. Tendo isso em vista, os tomadores de decisão podem optar por continuar com os programas implementados (como no caso dos PDFS<sub>4</sub> e PDFS<sub>5</sub>) uma vez que estes obtiveram as maiores pontuações finais, significando que seu desempenho está sendo construtivo para a empresa. Também podem optar por tentar melhorar ou reformular os programas que não obtiveram pontuações intermediárias (como os PDFS<sub>1</sub> e PDFS<sub>3</sub>); e/ou podem eliminar o PDFS<sub>2</sub>, já que este obteve o pior desempenho dentre os avaliados. Dando sequência ao modelo, será feita uma análise de sensibilidade para verificar o comportamento do modelo a partir de diferentes cenários de tomada de decisão.

---

## 5. Análise de Sensibilidade

Os principais objetivos de uma análise de sensibilidade são garantir a consistência dos resultados e entender quando os dados analisados (ou seja, preferência, julgamentos, graus de imprecisão e discordância entre os tomadores de decisão) são alterados para novos valores (Sitorus & Brito-Parada, 2020). A análise de sensibilidade depende de vários fatores e é um método eficaz para dividir a resposta sintética em componentes individuais, para determinar a contribuição individual de cada fator de influência (Li, Sato, Shirase, Ihara, & Milutinovic, 2019). A análise de sensibilidade permite que os gerentes testem a robustez (estabilidade) dos fatores analisados e tenham maior apoio em sua tomada de decisão, a partir da compreensão do comportamento e desempenho dos fatores avaliados (Dou et al., 2014). Uma análise de sensibilidade pode ser concluída de várias maneiras, como alterar o nível de influência dos critérios de avaliação ou o nível de ponderação dado a um gerente específico (Fu et al., 2012).

Nos testes de análise de sensibilidade desenvolvidos neste trabalho, é feita a variação dos níveis de risco assumidos pelos tomadores de decisão frente aos cenários possíveis. Segundo Liao et al.

---

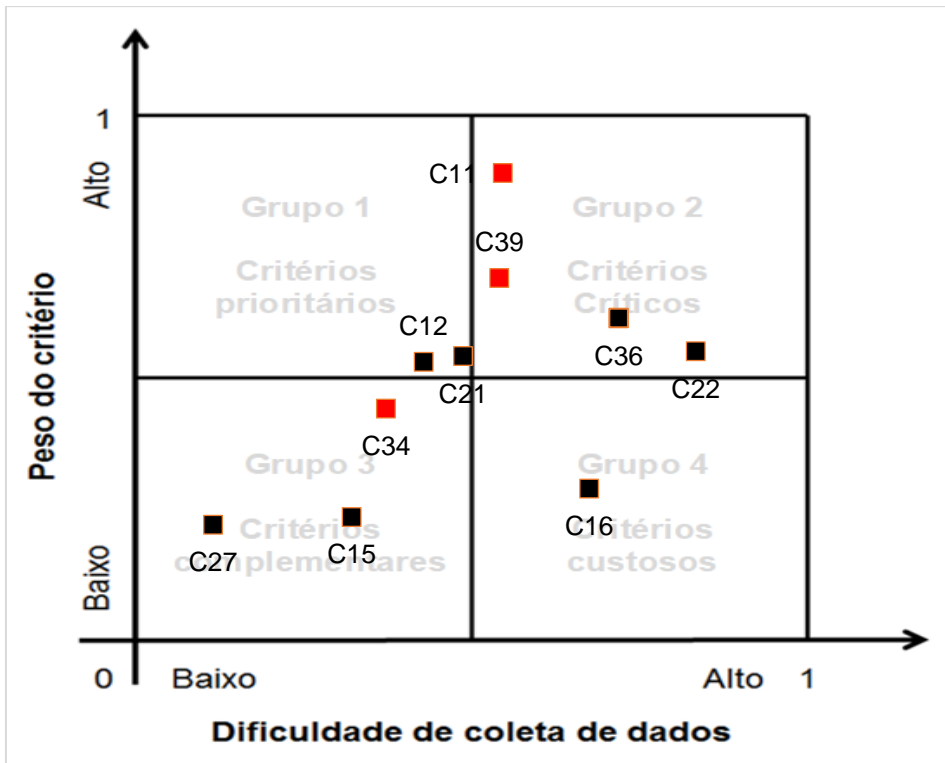
(2014), o parâmetro  $\theta$  denota as preferências de risco do tomador de decisão, sendo que  $\theta > 0,5$  significa que o tomador de decisão é pessimista neste aspecto (implicando em menor risco), enquanto  $\theta < 0,5$  significa que o tomador de decisão está sendo otimista, submetendo-se a maior risco. Sendo assim, foram testados dois cenários (otimista e pessimista) a fim de analisar o comportamento da categorização dos critérios na matriz de classificação, de modo a identificar possíveis mudanças na categorização. Para esta análise, não foram modificados nenhum dos julgamentos dos decisores, ou seja, os dados de entrada são os mesmos utilizados na aplicação ilustrativa. A configuração do cenário otimista é dada através da alteração do parâmetro utilizado para calcular o peso dos critérios na etapa 2, adotando-se  $\theta=0,1$ , e também do parâmetro para calcular o grau de dificuldade da coleta de dados na etapa 3 ( $\theta=0,9$ ). Para o cenário pessimista foi feita a inversão dos valores usados no cenário otimista, ou seja, para os cálculos da etapa 2 utilizou-se  $\theta=0,9$  e para os cálculos da etapa 3 utilizou-se  $\theta=0,1$ . A inversão dos valores de  $\theta$  na avaliação da dificuldade de coleta de dados aconteceu por conta do impacto sobre ela ser inversamente proporcional, ou seja, quanto maior a pontuação obtida neste quesito, maior é o impacto negativo do critério avaliado.

Para obter uma melhor percepção visual dos resultados dos testes de análise de sensibilidade, foram geradas matrizes de categorização dos critérios para os cenários testados. Os resultados também estão apresentados na Tabela 21. A matriz de classificação apresentada pela Figura 15 mostra os resultados do cenário pessimista. Nessa matriz, os critérios que apresentaram alterações em relação ao caso ilustrativo (cenário neutro) são representados por quadrados pretos, enquanto os critérios que mudaram de grupo após a análise são identificados em cor vermelha. Já a matriz apresentada na Figura 16 mostra os resultados do cenário otimista, na qual os critérios que se mantiveram em seus grupos de origem são representados por triângulos azuis.

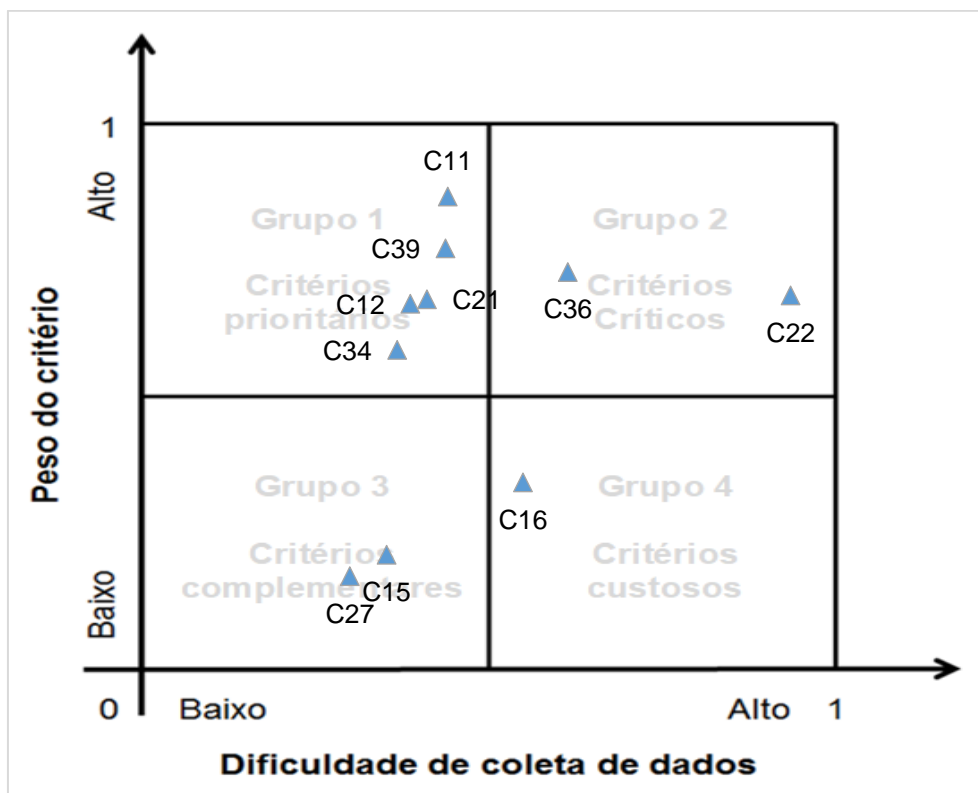
Tabela 21: Resultado da análise de sensibilidade nos cenários pessimista e otimista

| Critérios       | Cenário Pessimista |                                |                       | Aplicação          |                                |                | Cenário Otimista   |                                |                |
|-----------------|--------------------|--------------------------------|-----------------------|--------------------|--------------------------------|----------------|--------------------|--------------------------------|----------------|
|                 | Peso dos critérios | Dificuldade de coleta de dados | Classificação         | Peso dos critérios | Dificuldade de coleta de dados | Classificação  | Peso dos critérios | Dificuldade de coleta de dados | Classificação  |
| C <sub>11</sub> | <b>0,884</b>       | <b>0,547</b>                   | <b>Críticos</b>       | 0,848              | 0,487                          | Prioritários   | 0,775              | 0,441                          | Prioritários   |
| C <sub>12</sub> | 0,525              | 0,429                          | Prioritários          | 0,584              | 0,388                          | Prioritários   | 0,599              | 0,387                          | Prioritários   |
| C <sub>15</sub> | 0,231              | 0,323                          | Complementares        | 0,222              | 0,317                          | Complementares | 0,185              | 0,353                          | Complementares |
| C <sub>16</sub> | 0,285              | 0,674                          | Custosos              | 0,302              | 0,637                          | Custosos       | 0,304              | 0,549                          | Custosos       |
| C <sub>21</sub> | 0,536              | 0,488                          | Prioritários          | 0,594              | 0,434                          | Prioritários   | 0,606              | 0,411                          | Prioritários   |
| C <sub>22</sub> | 0,545              | 0,832                          | Críticos              | 0,602              | 0,899                          | Críticos       | 0,612              | 0,933                          | Críticos       |
| C <sub>27</sub> | 0,216              | 0,117                          | Complementares        | 0,200              | 0,201                          | Complementares | 0,150              | 0,301                          | Complementares |
| C <sub>34</sub> | <b>0,436</b>       | <b>0,374</b>                   | <b>Complementares</b> | 0,494              | 0,349                          | Prioritários   | 0,523              | 0,369                          | Prioritários   |
| C <sub>36</sub> | 0,608              | 0,718                          | Críticos              | 0,656              | 0,702                          | Críticos       | 0,651              | 0,613                          | Críticos       |
| C <sub>39</sub> | <b>0,684</b>       | <b>0,541</b>                   | <b>Críticos</b>       | 0,714              | 0,482                          | Prioritários   | 0,690              | 0,438                          | Prioritários   |

Fonte: autoria própria (2020).



Nota: Preto=critérios que continuaram em seus grupos de origem, Vermelho=critérios que mudaram de grupo  
 Figura 15: Matriz de classificação dos critérios em cenário pessimista  
 Fonte: autoria própria (2020).



Nota: Azul=critérios que continuaram em seus grupos de origem  
 Figura 16: Matriz de classificação dos critérios em cenário otimista  
 Fonte: autoria própria (2020).

---

De acordo com a análise de sensibilidade realizada foi possível observar que, no cenário pessimista, três critérios mudaram de grupo em relação ao caso de aplicação ilustrativa do modelo. Os critérios  $C_{11}$  e  $C_{39}$  passaram do grupo 1 (prioritário) para o grupo 2 (críticos). O critério  $C_{34}$  saiu do grupo 1 e foi classificado no grupo 3 (complementares). Já no cenário otimista, nenhum dos critérios mudou de grupo. Esses resultados mostram pouca variação nas classificações dos valores encontrados em comparação com o caso ilustrativo proposto, o que reforça a consistência e a estabilidade dos valores fornecidos pelo modelo. Pode-se constatar que há certa sensibilidade no modelo proposto, de acordo com o valor de  $\theta$  utilizado, indicando que a análise para seleção dos critérios deve ser realizada de forma criteriosa, principalmente aqueles localizados próximos ao limiar dos quadrantes e que podem mudar de classificação de acordo com o parâmetro adotado.

---

## **Conclusões, Limitações e Futuras Linhas de Investigação**

Por conta do aumento da competitividade entre empresas, pressões externas advindas do mercado e necessidade da construção de cadeias de suprimentos cada vez mais sólidas e integradas, empresas estão elaborando programas de desenvolvimento aos seus fornecedores a fim de adquirir maior vantagem competitiva de mercado. Este estudo propôs um modelo de decisão para avaliar programas de desenvolvimento de fornecedores sustentáveis, por meio da combinação de HFLTS com o método QFD, considerando requisitos e critérios do tripé da sustentabilidade. Para alcançar os objetivos propostos, a partir do estudo da bibliografia realizado foi possível identificar limitações dos modelos prévios e lacunas de pesquisa quanto ao tema apresentado. A análise da literatura sobre desenvolvimento de fornecedores no âmbito da sustentabilidade auxiliou a construção de um modelo conceitual baseado em requisitos e critérios voltados às dimensões econômica, ambiental e social. O modelo computacional baseado no método HFLTS-QFD foi desenvolvido em MS Excel® para facilitar a aplicação, além possibilitar uma melhor compreensão dos resultados obtidos quanto aos PDFS implementados. O modelo foi aplicado de forma ilustrativa considerando o julgamento de três decisores, inicialmente de forma individual (etapa 1) e, posteriormente de forma consensual

---

(etapas 2, 3 e 4), além de ter sido realizada uma análise de sensibilidade para compreender o comportamento do modelo proposto frente a um cenário pessimista e outro otimista. Sendo assim, foi possível apresentar algumas conclusões sobre este estudo:

1. Foram encontradas onze pesquisas na literatura referentes a modelos de apoio à elaboração de programas de desenvolvimento de fornecedores, que em sua maioria focam apenas no aspecto econômico, ou seja, nenhum dos trabalhos listados considera as três dimensões da sustentabilidade de forma conjunta. Além de não serem voltados para o desenvolvimento de fornecedores sustentáveis, nenhum dos modelos prévios utiliza HFLTS-QFD para avaliar PDF;
2. Na literatura há uma predominância no uso de critérios e métricas relacionados ao pilar econômico para avaliar os PDF. Referente ao pilar ambiental, foi encontrada uma grande variedade de critérios e métricas, porém com pouca frequência de utilização. Em relação ao pilar social, obtiveram-se poucos critérios e com baixas frequência de uso;
3. O modelo conceitual desenvolvido apresenta quatro etapas lógicas que possibilitam avaliar um conjunto de programas de desenvolvimento de fornecedores sustentáveis considerando múltiplos critérios, cujos pesos são definidos a partir dos aspectos de desempenho que o fornecedor precisa melhorar. A escolha dos critérios é feita usando uma matriz de classificação com base em seus pesos e no grau de dificuldade em se obter informações para avaliar os PDFS em cada métrica. Essas etapas servem de orientação para auxiliar os tomadores de decisão na gestão dos programas já implementados, a partir de fatores relacionados ao desempenho de cada programa;
4. Ao contrário dos modelos apresentados por Bai e Sarkis (2010), Routroy e Pradhan (2014), Dou et al. (2015) e Pradhan e Routroy (2018), o modelo proposto suporta a tomada de decisão em grupo, uma vez que no processo de avaliação de PDFS faz-se necessário levar em consideração a opinião de decisores de diferentes áreas da empresa. Além disso, o modelo permite ponderar diferentes pesos aos julgamentos, de acordo com a experiência e conhecimento técnico dos decisores;
5. O modelo proposto não apresenta limitações para o número de critérios e alternativas avaliadas que podem ser avaliadas, como ocorre nos modelos encontrados na literatura que baseam suas técnicas em AHP (Routroy & Pradha, 2014) ou *Fuzzy AHP* (Pourjavad & Shahin, 2020);
6. Diferentemente dos modelos prévios que possibilitam aos decisores a utilização de apenas um termos linguísticos para avaliar o desempenho de um PDFS em um determinado critério (Bai & Sarkis, 2011; Routroy & Pradhan, 2014; Dou et al., 2015; Routroy et al., 2016; Kumar & Routroy, 2017b; Fororesh & Tavakkoli-Moghaddam, 2018; Pourjavad & Shahin, 2020), o modelo proposto permite o uso de expressões linguísticas para representação dos julgamentos, assim como a utilização de dois ou mais termos linguísticos simultaneamente.

---

Contudo, este estudo apresenta certas limitações. Uma delas é que o uso de uma aplicação ilustrativa pode limitar a percepção e compreensão das vantagens, dificuldade e implicações de uso do modelo. Outra limitação é que em ambientes onde a tomada de decisão é baseada em dados numéricos bem definidos, o modelo se torna inapropriado, uma vez que foi desenvolvido para auxiliar situações onde há incerteza de informações ou hesitação por parte dos decisores em realizar seus julgamentos. Devido a dificuldade de encontrar outras pesquisas que estudem a mesma área de avaliação de PDFS, não foi possível realizar uma comparação entre os resultados deste estudo e aqueles fornecidos por diferentes metodologias.

Outra dificuldade pode estar relacionada à necessidade de obtenção de consenso pelos decisores. Como as etapas 1 e 2 do modelo possibilitam utilizar até sete termos para representar os julgamentos dos decisores e a avaliação deve conter critérios de acordo com o tripé da sustentabilidade, fazendo com que o grupo de decisores seja formado por agentes de diferentes áreas estratégicas da empresa, entrar em um consenso quanto aos julgamentos pode ser uma tarefa complexa. Em função disso, sugere-se que aplicações futuras em situações reais testem o uso de cinco termos (como foi feito na etapa 3, por exemplo) em todas as etapas.

Algumas oportunidades para pesquisas futuras foram identificadas a partir deste estudo. Primeiramente, a aplicação deste modelo em um caso real, a fim de verificar o comportamento do modelo e suas possíveis contribuições e dificuldades de uso. Posteriormente, aplicar o modelo a diferentes tipos de cadeias de suprimentos com diferentes níveis de interação entre fornecedores e compradores, a fim de verificar qual a influencia dos resultados obtidos de acordo com o modelo e o efeito real dos programas implementados, bem como qual a periodicidade que o modelo deve ser utilizado. Outra sugestão é a aplicação do método HFLTS-QFD em outras áreas de gestão que não seja a avaliação de PDFS, mas que necessitem de apoio na decisão multicritério.

---

## Referências Bibliográficas

- Ağan, Y., Kuzey, C., Acar, M. F., & Açıkgöz, A. (2016). The relationships between corporate social responsibility, environmental supplier development, and firm performance. *Journal of Cleaner Production*, 112, 1872-1881.
- Ahmed, M., & Hendry, L. (2012). Supplier development literature review and key future research areas. *International Journal of Engineering and Technology Innovation*, 2(4), 293.
- Ahmadi, H.B., Kusi-Sarpong, S., & Rezaei, J. (2017). Assessing the social sustainability of supply chains using Best Worst Method. *Resources, Conservation and Recycling*, 126, 99-106.
- Aires, N., Lopes, L., Machado, E., Sales, P., Jr, M., & Silva, C. (2015). Proposta do Uso de Análise de Sentimento no Desenvolvimento de uma nova Métrica de Sustentabilidade. In Anais Principais do XI Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação, (pp. 455-458). doi:10.5753/sbsi.2015.5890
- Akhavan, R. M., & Beckmann, M. (2017). A configuration of sustainable sourcing and supply management strategies. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 23(2), 137-151.
- Akman, G. (2015). Evaluating suppliers to include green supplier development programs via fuzzy c-means and VIKOR methods. *Computers & industrial engineering*, 86, 69-82.
- Alamri, A. A., & Syntetos, A. A. (2018). Beyond LIFO and FIFO: Exploring an Allocation-In-Fraction-Out (AIFO) policy in a two-warehouse inventory model. *International journal of production economics*, 206, 33-45.
- de Almeida, A. T. (2001). Multicriteria decision making on maintenance: spares and contracts planning. *European Journal of Operational Research*, 129(2), 235-241.
- de Andrade, E. L. (1998). *Introdução à pesquisa operacional: métodos e modelos para a análise de decisão*. Livros Técnicos e Científicos.
- Araz, C., & Ozkarahan, I. (2007) Supplier evaluation and management system for strategic sourcing based on a new multicriteria sorting procedure. *International Journal of Production Economics*, 106 (2), 585-606.
- Assadourian, E., & Prugh, T. (2013). *Estudo do Mundo 2013: A sustentabilidade ainda é possível?* Salvador: Wordwatch Institute.
- Avelar-Sosa, L., García-Alcaraz, J.L., & Maldonado-Macías, A.A. (2019). *Evaluation of Supply Chain Performance: A Manufacturing Industry Approach* [PDF]. Springer Books. doi:10.1007/978-3-319-93876-9.
- Awasthi, A., & Kannan, G. (2016). Green supplier development program selection using NGT and VIKOR under fuzzy environment. *Computers & Industrial Engineering*, 91, 100-108.
- Awasthy, P., & Hazra, J. (2019). Responsible sourcing by improving workplace safety through buyer–supplier collaboration. *European Journal of Operational Research*, 274(1), 155-164.

- 
- Back, L., Schrippe, P., Pazuch, C. M., Weise, A. D., & Kovaleski, J. L. (2015). Gestão da cadeia de suprimentos: análise de uma indústria moveleira do oeste do Paraná. *Iberoamerican Journal of Industrial Engineering*, 7(14), 55-68.
- Bai, C., & Sarkis, J. (2010). Green supplier development: analytical evaluation using rough set theory. *Journal of cleaner production*, 18(12), 1200-1210.
- Bai, C., & Sarkis, J. (2011). Evaluating supplier development programs with a grey based rough set methodology. *Expert Systems with Applications*, 38(11), 13505-13517.
- Bai, C., Dhavale, D., & Sarkis, J. (2016). Complex investment decisions using rough set and fuzzy c-means: an example of investment in green supply chains. *European journal of operational research*, 248(2), 507-521.
- Barba, F. J., Gavahian, M., Es, I., Zhu, Z., Chemat, F., Lorenzo, J. M., & Khaneghah, A. M. (2019). Solar radiation as a prospective energy source for green and economic processes in the food industry: From waste biomass valorization to dehydration, cooking, and baking. *Journal of cleaner production*, 220, 1121-1130.
- Beamon, B. M. (1999). Designing the green supply chain. *Logistics Information Management*, 12(4), 332-42.
- Behzadian, M., Kazemzadeh, R. B., Albadvi, A., & Aghdasi, M. (2010). PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. *European journal of Operational research*, 200(1), 198-215.
- Bertrand, J. W. M., & Fransoo, J. (2002). Operations management research methodologies using quantitative modeling. *International Journal of Operations and Production Management*, 22(2), 241-264.
- Bertrand, J. W. M., & Fransoo, J. C. (2016). Modeling and Simulation. Em C. Karlsson (Ed.), *Research methods for operations management* (pp. 290-330). London, UK: Routledge.
- Bickness, B. A., & Bicknell, K. D. (1995). The road map to repeatable success: using QFD to implement change.
- Blome, C., Hollos, D., & Paulraj, A. (2014). Green procurement and green supplier development: antecedents and effects on supplier performance. *International Journal of Production Research*, 52(1), 32-49.
- de Boer, L., Labro, E., & Morlacchi, P. (2001). A review of methods supporting supplier selection. *European journal of purchasing & supply management*, 7(2), 75-89.
- de Boer, L., van der Wegen, L., & Telgen, J. (1998). Outranking methods in support of supplier selection. *European Journal of Purchasing & Supply Management*, 4(2-3), 109-118.
- Bozarth, C. C., & Handfield, R. B. (2016). *Introduction to operations and supply chain management*. Pearson.

- 
- Carnevalli, J. A., & Miguel, P. C. (2008). Review, analysis and classification of the literature on QFD—Types of research, difficulties and benefits. *International Journal of Production Economics*, 114(2), 737-754.
- Carter, C. R., & Rogers, D. S. (2008). A framework of sustainable supply chain management: moving toward new theory. *International Journal of Physical Distribution & Logistics management*, 38(5), 360-387.
- Chan, L. K., Kao, H. P., & Wu, M. L. (1999). Rating the importance of customer needs in quality function deployment by fuzzy and entropy methods. *International Journal of Production Research*, 37(11), 2499–2518.
- Chan, L. K., & Wu, M. L. (2002). Quality function deployment: A literature review. *European journal of operational research*, 143(3), 463-497.
- Chen, L. H., & Ko, W. C. (2010). Fuzzy linear programming models for NPD using a four-phase QFD activity process based on the means-end chain concept. *European Journal of Operational Research*, 201(2), 619-632.
- Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. (1991). *Nosso futuro comum*. Rio de Janeiro: FGV.
- Chen, C. T., Lin, C. T., & Huang, S. F. (2006). A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management. *International journal of production economics*, 102(2), 289-301.
- Christopher, M. (2016). *Logistics and supply chain management*. Harlow, United Kingdom: Pearson.
- Dobos, I., & Vörösmarty, G. (2019). Evaluating green suppliers: improving supplier performance with DEA in the presence of incomplete data. *Central European Journal of Operations Research*, 27(2), 483-495.
- Dou, Y., Zhu, Q., & Sarkis, J. (2014). Evaluating green supplier development programs with a grey-analytical network process-based methodology. *European Journal of Operational Research*, 233(2), 420-431.
- Dou, Y., Zhu, Q., & Sarkis, J. (2015). Integrating strategic carbon management into formal evaluation of environmental supplier development programs. *Business Strategy and the Environment*, 24(8), 873-891.
- Ebrahim-Khanjari, N., Hopp, W., & Iravani, S. M. (2012). Trust and information sharing in supply chains. *Production and Operations Management*, 21(3), 444-464. doi: 10.1111/j.1937-5956.2011.01284.x
- Ehrgott, M., Reimann, F., Kaufmann, L., & Carter, C. R. (2013). Environmental development of emerging economy suppliers: antecedents and outcomes. *Journal of Business Logistics*, 34(2), 131-147.

- 
- Elkington, J. (1998). Partnerships from cannibals with forks: The triple bottom line of 21st-century business. *Environmental quality management*, 8(1), 37-51.
- Finger, G. S. W. (2019). Proposição de um modelo hesitant fuzzy-qfd para seleção de programas de desenvolvimento de fornecedores sustentáveis. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná.
- Foerstl, K., Reuter, C., Hartmann, E., & Blome, C. (2010). Managing supplier sustainability risks in a dynamically changing environment—Sustainable supplier management in the chemical industry. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 16(2), 118-130.
- Foroozesh, N., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2018). Assessment of green supplier development programs by a new group decision-making model considering possibilistic statistical uncertainty. *Journal of Quality Engineering and Production Optimization*, 3(2), 1-10.
- Fu, X., Zhu, Q., & Sarkis, J. (2012). Evaluating green supplier development programs at a telecommunications systems provider. *International Journal of Production Economics*, 140(1), 357-367.
- Gattorna, J. (2006). Living supply chains: how to mobilize the enterprise around delivering what your customer want. London: FT Prentice.
- Glavee-Geo, R. (2019). Does supplier development lead to supplier satisfaction and relationship continuation?. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 25(3), 100537.
- Glock, C. H., Grosse, E. H., & Ries, J. M. (2017). Decision support models for supplier development: Systematic literature review and research agenda. *International Journal of Production Economics*, 193, 798-812.
- Ha, S. H., & Krishnan, R. (2008). A hybrid approach to supplier selection for the maintenance of a competitive supply chain. *Expert systems with applications*, 34(2), 1303-1311.
- Ho, W., Xu, X., & Dey, P. K. (2010). Multi-criteria decision-making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review. *European Journal of operational research*, 202(1), 16-24.
- Kaya, S. K., & Erginel, N. (2020). Futuristic airport: A sustainable airport design by integrating hesitant fuzzy SWARA and hesitant fuzzy sustainable quality function deployment. *Journal of Cleaner Production*, 275, 123880.
- Krause, D. R., Handfield, R. B., & Scannell, T. V. (1998). An empirical investigation of supplier development: reactive and strategic processes. *Journal of Operations Management*, 17(1), 39–58.
- Krause, D. R., Scannell, T. V., & Calantone, R. J. (2000). A structural analysis of the effectiveness of buying firms' strategies to improve supplier performance. *Decision sciences*. 31(1), 33-55.
- Kumar, C. S., & Routroy, S. (2017a). Analyzing a manufacturer's returns from supplier development programs. *Materials Today: Proceedings*, 4(2), 2255-2262.

- 
- Kumar, C. S., & Routroy, S. (2017b). Performance analysis of supplier development programs. *Benchmarking: An International Journal*, 24(2), 488-510.
- Lambert, D. M., & Cooper, M. C. (2000). Issues in supply chain management. *Ind. Marketing Manage*, 29(1), 65–83.
- Lee, H. L., So, K. C., & Tang, C. S. (2000). Value of information sharing in a two-level supply chain. *Management Science*, 46(5), 626-643.
- Li, Z., Sato, R., Shirase, K., Ihara, Y., & Milutinovic, D.S. (2019) Sensitivity analysis of relationship between error motions and machined shape errors in five-axis machining center - Peripheral milling using square-end mill as test case. *Precision Engineering*, 60, 28-41.
- Liao, H., Xu, Z., & Zeng, X. J. (2014). Distance and similarity measures for hesitant fuzzy linguistic term sets and their application in multi-criteria decision making. *Information Sciences*, 271, 125-142.
- Lima-Junior, F. R., Osiro, L., & Carpinetti, L. C. R. (2013). Métodos de decisão multicritério para seleção de fornecedores: um panorama do estado da arte. *Gestão & Produção*, 20(4), 781-801.
- Lima-Junior, F. R., Osiro, L., & Carpinetti, L. C. R. (2014). A comparison between Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS methods to supplier selection. *Applied Soft Computing*, 21, 194-209.
- Lima-Junior, F. R., & Carpinetti, L. C. R. (2016). A multicriteria approach based on fuzzy QFD for choosing criteria for supplier selection. *Computers & Industrial Engineering*, 101, 269-285.
- Lima-Junior, F. R., & Carpinetti, L.C.R. (2017). Quantitative models for supply chain performance evaluation: A literature review. *Computers & Industrial Engineering*, 113, 333-346.
- Lippman, S. (2001). Supply chain environmental management. *Environmental Quality Management*, 11(2), 11-14.
- Lu, R. X., Lee, P. K., & Cheng, T. C. E. (2012). Socially responsible supplier development: Construct development and measurement validation. *International Journal of Production Economics*, 140(1), 160-167.
- Narasimhan, R., Mahapatra, S., & Arlbjørn, J. (2008). Impact of relational norms, supplier development and trust on supplier performance. *Operations Management Research*, 1(1), 24–30.
- Nascimento, E. P. (2012). Trajetória da sustentabilidade: do ambiental ao social, do social ao econômico. *Estudos Avançados*, 26(74), 51-64.
- Olsen, R.F., & Ellram, L.M. (1997) A portfolio approach to supplier relationships. *Industrial Marketing Management*, 26(2), 101–113.
- Omurca, S.I. (2013) An inteligente supplier evaluation, selection and development system. *Applied Soft Computing*, 13(1), 690–697.

- 
- Osiro, L., Lima-Junior, F. R., & Carpinetti, L. C. R. (2018). A group decision model based on quality function deployment and hesitant fuzzy for selecting supply chain sustainability metrics. *Journal of Cleaner Production*, 183, 964-978.
- Pradhan, S. K., & Routroy, S. (2018). Improving supply chain performance by Supplier Development program through enhanced visibility. *Materials Today: Proceedings*, 5(2), 3629-3638.
- Paryani, K., Masoudi, A., & Cudney, E. A. (2010). QFD application in the hospitality industry: A hotel case study. *Quality Management Journal*, 17(1), 7-28.
- Pedroso, C.B. (2019). Supplier Development for TBL outcomes: a survey on Brazilian based organizations. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Pourjavad, E., & Shahin, A. (2020). Green supplier development programmes selection: a hybrid fuzzy multi-criteria decision-making approach. *International Journal of Sustainable Engineering*, 1-10.
- Rashidi, K., Noorizadeh, A., Kannan, D., & Cullinane, K. (2020). Applying the triple bottom line in sustainable supplier selection: A meta-review of the state-of-the-art. *Journal of Cleaner Production*, 269, 122001.
- Resende, C.H.L.; Lima-Junior, F.R. (2019, novembro). Modelos de decisão para formulação e avaliação de programas de desenvolvimento de fornecedores: uma revisão sistemática da literatura. Comunicação apresentada no XXII Seminários em Administração, São Paulo.
- Rezaei, J., & Ortt, R. (2013) Supplier segmentation using fuzzy logic. *Industrial Marketing Management*, 42(4), 507–517.
- Rocha, A.C., Gomes, C.M., Kneipp J.M., & Camargo, C.R. (2015). Gestão sustentável da cadeia de suprimentos e desempenho inovador: um estudo multicaso no setor mineral brasileiro. *Revista de Administração e Inovação*, 12(2), 293-316.
- Rodriguez, R. M., Martinez, L., & Herrera, F. (2012). Hesitant fuzzy linguistic term sets for decision making. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 20,1,109–119.
- Rodriguez, R. M., Martinez, L., & Herrera, F. (2013). A group decision making model dealing with comparative linguistic expressions based on hesitant fuzzy linguistic term sets. *Information Sciences*, 241, 28-42.
- Routroy, S., & Pradhan, S. K. (2013). Evaluating the critical success factors of supplier development: a case study. *Benchmarking: An International Journal*, 220(3), 322-341.
- Routroy, S., & Pradhan, S. K. (2014). Analyzing the performance of supplier development: a case study. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 63(2), 209-233.
- Routroy, S., Pradhan, S. K., & Kumar, C. S. (2016). Evaluating the implementation performance of a supplier development program. *Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics*, 28(4), 663-682.

- 
- Sancha, C., Longoni, A., & Giménez, C. (2015). Sustainable supplier development practices: Drivers and enablers in a global context. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 21(2), 95-102.
- Sánchez-Rodríguez, C., Hemsworth, D., & Martínez-Lorente, Á. R. (2005). The effect of supplier development initiatives on purchasing performance: a structural model. *Supply chain management: an international journal*, 10(4), 289-301.
- Sangaiah, A. K., Samuel, O. W., Li, X., Abdel-Basset, M., & Wang, H. (2018). Towards an efficient risk assessment in software projects—Fuzzy reinforcement paradigm. *Computers & Electrical Engineering*, 71, 833-846.
- Sarkar, A., & Mohapatra, P.K.J. (2006) Evaluation of supplier capability and performance: a method for supply base reduction. *Journal Purchasing and Supply Management*, 12(3), 148–163.
- Schmidt, C. G., Foerstl, K., & Schaltenbrand, B. (2017). The supply chain position paradox: green practices and firm performance. *Journal of Supply Chain Management*, 53(1), 3-25.
- Shaik, M., & Abdul-Kader, W. (2011). Green supplier selection generic framework: a multi-attribute utility theory approach. *International Journal of Sustainable Engineering*, 4(01), 37-56.
- Shokri, A., Nabhani, F., & Hodgson, S. (2010). Supplier development practice: Arising the problems of upstream delivery for a food distribution SME in the UK. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 26(6), 639-646.
- Simić, D., Kovačević, I., Svirčević, V., & Simić, S. (2017). 50 years of fuzzy set theory and models for supplier assessment and selection: A literature review. *Journal of Applied Logic*, 24, 85-96.
- Siqueira-Junior, J. A. (2018). *Proposição de um Modelo Hesitant Fuzzy QFD para Seleção de Fornecedores em Projetos*. (Dissertação Mestrado, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba).
- Sitorus, F., & Brito-Parada, P. R. (2020). Equipment selection in mineral processing-A sensitivity analysis approach for a fuzzy multiple criteria decision making model. *Minerals Engineering*, 150, 106261.
- Souza, I. (2020, junho 15). O que é Supply Chain? [Web log post]. Obtido de: <https://rockcontent.com/br/blog/o-que-e-supply-chain>
- Srivastava, S. (2007). Green supply-chain management: a state-of-the-art literature review. *International Journal of Management Reviews*, 9(1), 53-80.
- Taschner, A., & Charifzadeh, M. (2020). *Management Accounting in Supply Chains* [PDF]. Springer Books. doi:10.1007/978-3-658-28597-5
- Torra, V. (2010). Hesitant fuzzy sets. *International Journal of Intelligent Systems*, 25(6), 529-539.
- Trent, R. J., & Monczka, R. M. (1999). Achieving world-class supplier quality. *Total Quality Management*, 10(6), 927-938.

- 
- Trianni, A., Cagno, E., Bertolotti, M., Thollander, P., & Andersson, E. (2019). Energy management: A practice-based assessment model. *Applied Energy*, 235, 1614-1636.
- Tsanos, C. S., & Zografos, K. G. (2016). The effects of behavioural supply chain relationship antecedents on integration and performance. *Supply Chain Management*, 21(6), 678-693. doi: 10.1108/scm-06-2016-0211
- Wagner, S. M. (2006). Supplier development practices: an exploratory study. *European journal of marketing*, 40(5), 554-571.
- Wagner, S. M. (2011). Supplier development and the relationship life cycle. *International Journal of Production Economics*, 129(2), 277-283.
- Walker, H., Sisto, L., & Mcbain, D. (2008). Drivers and barriers to environmental supply chain management practices: lessons from the public and private sectors. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 14(1), 69-85.
- Wang, W. P. (2010). A fuzzy linguistic computing approach to supplier evaluation. *Applied Mathematical Modelling*, 34(10), 3130-3141.
- Wang, S. Y. (2010). Constructing the complete linguistic-based and gap-oriented quality function deployment. *Expert Systems with Applications*, 37(2), 908-912.
- Wang, X. T., & Xiong, W. (2011). An integrated linguistic-based group decision-making approach for quality function deployment. *Expert Systems with Applications*, 38(12), 14428-14438.
- Wu, G. C. (2017). Effects of socially responsible supplier development and sustainability-oriented innovation on sustainable development: Empirical evidence from SMEs. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 24(6), 661-675.
- Xu, Z. (2014). *Hesitant fuzzy sets theory* (Vol. 314). Cham: Springer International Publishing.
- Xu, Z., & Zhang, S. (2019). An overview on the applications of the hesitant fuzzy sets in group decision-making: Theory, support and methods. *Frontiers of Engineering Management*, 1-20.
- Yang Q, Yang S, Qian Y, & Kraslawski A. (2015). Application of house of quality in evaluation of low rank coal pyrolysis polygeneration technologies. *Energy Convers Manag*, 99, 231-41.
- Yawar, S. A., & Seuring, S. (2018). The role of supplier development in managing social and societal issues in supply chains. *Journal of cleaner production*, 182, 227-237.
- Zimmer, K., Fröhling, M., & Schultmann, F. (2016). Sustainable supplier management—a review of models supporting sustainable supplier selection, monitoring and development. *International Journal of Production Research*, 54(5), 1412-1442.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8, 338-353.
- Zadeh, L. A. (1973). Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. *IEEE Transactions on systems, Man, and Cybernetics*, (1), 28-44.

- 
- Zhong, R. Y., Newman, S. T., Huang, G. Q., & Lan, S. (2016). Big Data for supply chain management in the service and manufacturing sectors: Challenges, opportunities, and future perspectives. *Computers & Industrial Engineering*, 101, 572-591. doi: 10.1016/j.cie.2016.07.013
- Zyoud, S. H., & Fuchs-Hanusch, D. (2017). A bibliometric-based survey on AHP and TOPSIS techniques. *Expert systems with applications*, 78, 158-181.