



**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**

Departamento de Engenharia Mecânica



**Desenvolvimento de sistemas de avaliação de  
fornecedores baseado em *Fuzzy Logic***

**JOÃO PEDRO BRANCO ALVES GOUVEIA**

(Licenciado em Organização e Sistemas de Informação)

Dissertação de natureza científica para obtenção do grau de  
Mestre em Engenharia e Gestão Industrial

Orientadores:

Doutor José Manuel Prista do Valle Cardoso Igreja  
Doutor António João Pina da Costa Feliciano Abreu

Júri:

Presidente: Doutor Vítor Manuel Rodrigues Anes  
Vogal: Doutora Alexandra Maria Baptista Ramos Tenera  
Vogal: Doutor José Manuel Prista do Valle Cardoso Igreja

**Fevereiro de 2022**





**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**  
Departamento de Engenharia Mecânica

**Desenvolvimento de sistemas de avaliação de  
fornecedores baseado em *Fuzzy Logic***

**JOÃO PEDRO BRANCO ALVES GOUVEIA**  
(Licenciado em Organização e Sistemas de Informação)

Dissertação de natureza científica para obtenção do grau de  
Mestre em Engenharia e Gestão Industrial

Orientadores:

Doutor José Manuel Prista do Valle Cardoso Igreja  
Doutor António João Pina da Costa Feliciano Abreu

Júri:

Presidente: Doutor Vítor Manuel Rodrigues Anes  
Vogal: Doutora Alexandra Maria Baptista Ramos Tenera  
Vogal: Doutor José Manuel Prista do Valle Cardoso Igreja

**Fevereiro de 2022**



## **Dedicatória**

À Ana, Tomás e João Maria.

À minha mãe.

*“Perseverance is not a long race; it is many short races one after the other”*

Walter Elliot

## **Agradecimentos**

Voltar a estudar 15 anos depois de terminada a licenciatura não é uma tarefa fácil. Embarcar num mestrado ainda menos. E quando se tem família, com filhos pequenos, o desafio é maior.

Esta dissertação marca o final de um importante ciclo académico. Não podia deixar passar a oportunidade de agradecer a todas as pessoas que, de uma maneira ou de outra, contribuíram para que este objetivo a que me propus fosse atingido.

O meu primeiro agradecimento é dedicado à Ana, minha mulher, que sempre me apoiou, acarinhou e incentivou. Aos meus filhos Tomás e João Maria, que compreenderam e me deram a paz necessária para as inúmeras horas de concentração necessária.

Ao Professor Doutor José Igreja, pelo seu pragmatismo, disponibilidade, acompanhamento e incentivo nesta empreitada. A sua dedicação e paciência na orientação do trabalho foi fundamental.

Ao Professor Doutor António Abreu, pela disponibilidade, profissionalismo, sugestões e orientação na elaboração deste trabalho.

Aos meus colegas de curso que souberam acolher alguém mais velho no grupo, que ajudaram a motivar quando a força faltava, pelas longas horas a realizar trabalhos ou a estudar para os exames... obrigado! Um especial agradecimento à Ana Sofia e à Catarina, pelo constante apoio e motivação extra na reta final do curso.

A todos, obrigado.

## Resumo

A seleção de fornecedores tem um impacto significativo no custo e na qualidade dos produtos e serviços. O processo de *sourcing* passou a ser visto como uma atividade crítica para o desempenho das empresas e organizações. Trata-se de uma atividade com vários critérios, alternativas e cenários e, muitas vezes, com diversos decisores e avaliadores, o que torna o processo muito complexo.

Na literatura acadêmica, a seleção e avaliação de fornecedores são abordadas como problemas de tomada de decisão, no qual um conjunto de fornecedores é avaliado com base em múltiplos critérios de desempenho. As técnicas baseadas na lógica difusa têm vindo a ganhar destaque, pela sua capacidade de modelar as incertezas associadas à interpretação dos critérios pelos avaliadores.

Neste contexto, o principal objetivo desta dissertação foi desenvolver um modelo de auxílio à seleção de fornecedores, com base em sistemas de inferência difusa. A lógica difusa encontra várias pontes de ligação com o domínio da seleção e avaliação de fornecedores, uma vez que é tolerável com informação incerta e imprecisa, característica do raciocínio e decisão humana, logo adequada para lidar com a imprecisão frequentemente associada avaliação de um produto e/ou serviço.

O modelo conceptual foi desenvolvido associado ao processo de seleção de fornecedores e efetuou-se a aplicação prática numa empresa do setor financeiro, com o objetivo de testar o modelo num caso real e aferir os resultados.

Os resultados obtidos satisfazem os objetivos propostos, tornando o modelo de seleção bastante dinâmico, intuitivo e de fácil parametrização, sendo flexível para aplicar a qualquer tipo de processo de seleção de fornecedores. A aplicação do modelo a este caso concreto permitiu reduzir em 55% o tempo consumido com o processo de seleção dos fornecedores.

**Palavras-chave:** Lógica Difusa, Seleção e Avaliação de Fornecedores, *Procurement*, *Sourcing* de Fornecedores na Banca

## **Abstract**

Supplier selection has a significant impact on the cost and quality of products and services. The sourcing process has come to be seen as a critical activity for the performance of companies and organizations. It is an activity with several criteria, alternatives, and scenarios and often with several decision makers and evaluators, which makes the process complex.

In the academic literature, supplier selection and evaluation are addressed as decision-making problems, in which a set of suppliers is evaluated based on multiple performance criteria. Techniques based on fuzzy logic have been gaining prominence, due to their ability to model the uncertainties associated with the interpretation of criteria by evaluators.

In this context, the main objective of this dissertation was to develop a supplier selection aid model, based on fuzzy inference systems. Fuzzy logic finds several bridges with the domain of selection and evaluation of suppliers, since it is tolerable with uncertain and imprecise information, characteristic of human reasoning and decision, thus suitable for dealing with the imprecision often associated with the evaluation of a product and/or service.

The conceptual model was developed in association with the supplier selection process and a practical application was carried out in a financial sector company in order to test the model in a real case and assess the results.

The results obtained satisfy the proposed objectives, making the selection model very dynamic, intuitive, easy to parameterize, being flexible enough to apply to any type of supplier selection process. The application of the model in this specific case allowed for a 55% reduction in the time consumed in the supplier selection process.

**Keywords:** Fuzzy Logic, Selection and Evaluation of Suppliers, Procurement, Sourcing of Suppliers in Banking Industry

## **Acrónimos**

<b>AI</b>	Artificial Intelligence
<b>AHP</b>	Analytic Hierarchy Process
<b>ANP</b>	Analytic Network Process
<b>AVAC</b>	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
<b>COA</b>	Center Of Area
<b>DEA</b>	Data Envelopment Analysis
<b>ECOA</b>	Extended Center of Area
<b>Electre</b>	Élimination et Choix Traduisant la REalité
<b>ESG</b>	Environmental, Social and Corporate Governance
<b>FM</b>	Fuzzy mean
<b>FOM</b>	First Of Maxima
<b>JIT</b>	Just-in-Time
<b>LOM</b>	Last Of Maxima
<b>MCDM</b>	Multiple-Criteria Decision-Making
<b>MOM</b>	Middle Of Maxima
<b>MP</b>	Mathematical Programing
<b>NAPM</b>	National Association of Purchasing Managers
<b>QM</b>	Quality Method

<b>RFx</b>	Termo utilizado para descrever/ sintetizar as diferentes etapas de fornecimento
<b>RFI</b>	Request For Information
<b>RFP</b>	Request For Proposal
<b>RFQ</b>	Request For Quotation
<b>RSC</b>	Responsabilidade Social Corporativa
<b>TOPSIS</b>	Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution

# Índice

<b>Dedicatória</b> .....	<b>I</b>
<b>Agradecimentos</b> .....	<b>II</b>
<b>Resumo</b> .....	<b>III</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>IV</b>
<b>Acrónimos</b> .....	<b>V</b>
<b>Índice de Figuras</b> .....	<b>IX</b>
<b>Índice de Tabelas</b> .....	<b>XI</b>
<b>1. Introdução</b> .....	<b>1</b>
1.1 Enquadramento e Objetivos .....	1
1.2 Metodologia .....	3
1.3 Estrutura da Dissertação .....	4
<b>2. A importância da tomada de decisão em procurement</b> .....	<b>5</b>
2.1 Procurement .....	6
2.2 Seleção de Fornecedores .....	10
2.3 Tomada de Decisão .....	18
2.4 Tomada de decisão aplicada à seleção e avaliação de fornecedores .....	22
<b>3. Lógica difusa</b> .....	<b>29</b>
3.1 Conceito .....	29
3.2 Definição .....	32
3.3 Variáveis linguísticas .....	33
3.4 Sistemas de Inferência Difusa .....	34
3.4.1 Fuzzificação .....	36
3.4.2 Funções de pertença .....	37
3.4.3 Regras de inferência .....	39
3.4.4 Defuzzificação .....	40
3.5 Exemplo de aplicação a um carro com pêndulo invertido .....	42
<b>4. Modelo conceptual da aplicação da lógica difusa ao Procurement</b> .....	<b>47</b>

4.1	Modelo conceptual.....	48
4.1.1	Definição dos critérios a utilizar .....	49
4.1.2	Processo de Inferência Difusa .....	49
4.1.3	Agregação dos resultados por ranking.....	54
4.1.4	Decisão dos fornecedores a selecionar .....	54
4.1.5	Exemplo da aplicação do modelo a um processo com 1 avaliador e 1 critério	55
4.2	Caso de Estudo .....	57
4.2.1	Enquadramento .....	57
4.2.2	Aplicação prática real .....	60
<b>5.</b>	<b>Considerações finais e trabalhos futuros.....</b>	<b>68</b>
	<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>71</b>
	<b>Anexos.....</b>	<b>79</b>
	Anexo I – Sistema de Inferência Difusa do Caso de Estudo.....	79
	Anexo II – Exemplos de formulários Excel utilizados no Banco .....	83

## Índice de Figuras

Figura 1 - Modelo de um processo de compra.....	7
Figura 2 - O processo de <i>sourcing</i> .....	8
Figura 3 - Processo de seleção de fornecedores.....	10
Figura 4 - Modelos de Tomada de Decisão .....	26
Figura 5 - Abordagem clássica vs abordagem difusa.....	31
Figura 6 - Funções de pertinência para a variável “temperatura”.....	33
Figura 7 - Esquema da lógica difusa.....	35
Figura 8 - Função de pertinência triangular $A(x)$ .....	37
Figura 9 - Função de pertinência gaussiana $G(x)$ .....	38
Figura 10 - Função de pertinência sigmoide $S(x)$ .....	38
Figura 11 - Esquema do pêndulo invertido num carro.....	42
Figura 12 - Variável de entrada Erro.....	43
Figura 13 - Variável de entrada Omega .....	43
Figura 14 - Variável de saída Corrente .....	44
Figura 15 - Funções de pertinência ativadas e Grau de pertinência da variável de entrada Erro.....	45
Figura 16 - Funções de pertinência ativadas e Grau de pertinência da variável de entrada Omega.....	46
Figura 17 - Defuzzificação do problema pelo método do centro de massa (COA) .....	46
Figura 18 - Modelo conceptual de inferência difusa aplicado à seleção de fornecedores .....	49
Figura 19 - Funções de pertinência da variável Relevância.....	51
Figura 20 - Funções de pertinência da variável Avaliação.....	51
Figura 21 - Funções de pertinência da variável de saída Score .....	53
Figura 22 - Funções de pertinência ativadas e Grau de pertinência da variável de entrada Relevância.....	55

Figura 23 - Funções de pertinência ativadas e Grau de pertinência da variável de entrada	
Avaliação .....	55
Figura 24 - Score com base nas regras .....	56
Figura 25 - Superfície do sistema de inferência .....	56
Figura 26 - Ciclo de vida do <i>Procurement</i> .....	60
Figura 27 - Exemplo de um ficheiro de suporte à avaliação atual de propostas de fornecedores.....	61
Figura 28 - Sistema de inferência difusa para o fornecedor 1 - Critério 1.....	64

## Índice de Tabelas

Tabela 1 - Critérios de seleção de fornecedores agregados .....	13
Tabela 2 - Ranking dos critérios de seleção de fornecedores .....	14
Tabela 3 - Top 10 dos critérios de seleção de fornecedores .....	15
Tabela 4 - Ranking de critérios de avaliação de fornecedores com base nos estudos de Dickson (1966), Weber (1991) e Zhang (2003) .....	16
Tabela 5 - Critérios de seleção de fornecedores.....	17
Tabela 6 - Vantagens e desvantagens dos métodos de seleção de fornecedores .....	27
Tabela 7 - Tabela de regras do sistema.....	44
Tabela 8 - Regras de inferência fuzzy.....	53
Tabela 9 - Escalas de notação dos critérios a avaliar .....	63
Tabela 10 - Resumo das propostas dos fornecedores a avaliar.....	63
Tabela 11 - Score de saída por critério e por fornecedor .....	65
Tabela 12 - Resumo dos scores finais de cada fornecedor.....	65

# 1. Introdução

O presente documento constitui uma dissertação de natureza acadêmica sobre o trabalho desenvolvido sobre o tema “Desenvolvimento de Sistemas de Avaliação de Fornecedores baseado em Fuzzy Logic”, que consiste na pesquisa, identificação e definição de um modelo de seleção de fornecedores, baseado em modelos de tomada de decisão, através de *Fuzzy Logic* (termo anglo-saxónico, pelo qual é conhecida o método; neste documento utilizamos o termo português lógica difusa). Todos estas terminologias e conceitos serão abordados ao longo do documento.

Este primeiro capítulo da dissertação tem como objetivo apresentar e enquadrar o tema abordado ao longo do documento, dividindo-se em três subcapítulos: um primeiro com o enquadramento, onde estão identificados os objetivos da dissertação; um segundo com a metodologia utilizada; e um final com a estrutura desta dissertação.

## 1.1 Enquadramento e Objetivos

Num mercado cada vez mais globalizado, e para fazer face à competitividade do mercado, as organizações estão a dar cada vez mais importância à área de compras. Até há pouco tempo, as compras eram vistas como uma atividade de suporte. Nem todas as empresas tinham um departamento ou área de compras, uma vez que cada departamento geria as suas compras de forma autónoma, de acordo com as suas necessidades. Deste modo, não existiam visões integradas de planos de compras, gestão de fornecedores, negociação de preço.

O *procurement*<sup>1</sup> sempre foi um pilar estratégico para as empresas, talvez nem sempre devidamente reconhecido. O aumento da competitividade, a globalização e a maior abertura/ aproximação a mercados outrora distantes, trouxe novos desafios para as empresas, nomeadamente nesta área, onde o processo de encontrar bens e serviços com as melhores condições é fundamental.

---

<sup>1</sup> O termo *procurement* pode ser definido como o processo de encontrar e acordar os termos e condições para adquirir bens/ produtos, serviços ou trabalho a uma entidade externa. Este conceito será desenvolvido mais à frente neste documento.

O sucesso da gestão atual é ditado, em grande parte, pelo retorno gerado ao(s) acionista(s), pelo que é essencial as empresas serem mais eficientes, bem como reduzir custos. Devido ao peso da cadeia de distribuição na estrutura de custos de uma empresa, e tendo em conta toda a gestão de fornecedores, a área de compras passou a ser tida como uma das áreas mais importantes de qualquer empresa.

Os autores (Karimi & Rezaeinia, 2014) definiram a seleção de fornecedores como um problema de decisão multicritério. (Sarkis & Talluri, 2002) e (Chai, Liu, & Ngai, 2013) afirmaram que para capacitar a simplificação dos vários critérios de decisão e obter a melhor solução, os métodos multi-decisão (*Multiple-Criteria Decision-Making* - MCDM) são os mais desejáveis para a gestão.

Apesar de a seleção e avaliação de fornecedores estar exaustivamente estudada e publicada, o seu enquadramento específico na área dos serviços, e na Banca em particular, tem enorme potencial de estudo e pesquisa.

Assim, a principal motivação desta dissertação é contribuir para a criação de um modelo simples, intuitivo, que permita simplificar o processo de seleção de fornecedores, suficientemente flexível para ser aplicável transversalmente a todos os setores de atividade.

Para responder às motivações anteriormente descritas, os objetivos da presente dissertação são os seguintes:

- Mostrar o enquadramento da problemática da seleção de fornecedores no âmbito do *procurement*;
- Enquadrar esta problemática na tomada de decisão<sup>2</sup> como área do conhecimento;
- Apresentar os conceitos relacionados com a lógica difusa;
- Desenvolver um modelo de auxílio à avaliação/ seleção de fornecedores no âmbito de um processo de *procurement*, com base num sistema de inferência difusa.

---

<sup>2</sup> Tomada de Decisão pode ser definido como o processo de decidir sobre algo importante, especialmente num grupo de pessoas ou numa organização. Este conceito será desenvolvido neste documento no capítulo 2.

## 1.2 Metodologia

Tendo em conta que os objetivos desta dissertação, nomeadamente o desenvolvimento de um modelo de auxílio à avaliação/ seleção de fornecedores no âmbito de um processo de *procurement*, foi necessário proceder a uma análise detalhada dos conceitos, nomeadamente sobre *procurement*, e em particular sobre a seleção de fornecedores. Depois, foi necessário enquadrar o tema da tomada de decisão em geral e, particularmente, como é realizada a tomada de decisão aplicada à seleção de fornecedores.

Assim, procurou-se investigar o que já foi feito anteriormente nestas áreas, através de um processo de consulta e análise a bibliografia de referência. É preciso conhecer a “floresta” de problemas para saber que formas já existem de os resolver e identificar as “árvores” (problemas) que vamos tratar.

Procedeu-se ao enquadramento do problema e desenvolvimento dos conceitos-chave, tentando apresentá-los de forma sintética, sequencial e de fácil leitura. Utilizou-se um exemplo simples, na área da engenharia, permitindo demonstrar o funcionamento dos sistemas de inferência difusa, num exemplo prático.

Por fim, foi criado um modelo conceptual de seleção de fornecedores, com aplicação à área de *procurement*, colocado em prática em contexto real, numa empresa do setor terciário (de serviços).

A pesquisa foi realizada em diversas bases de dados (*Web of Science, Researchgate, Elsevier/ ScienceDirect, B-On*, entre outras), com especial ênfase em artigos científicos, dissertações de mestrado e doutoramento, livros e palestras/ simpósios de professores e especialistas da área, bem como algumas publicações disponíveis *online* (internet).

A dissertação foi consolidada neste documento, cuja apresentação é relatada de forma sintetizada, estruturada e sequencial, recorrendo igualmente a figuras, tabelas e fluxogramas que permitam uma transmissão visual dos conteúdos.

### 1.3 Estrutura da Dissertação

A presente dissertação está estruturada em cinco capítulos. Neste primeiro capítulo é feita uma introdução, com o objetivo de enquadrar e contextualizar o tema, descrevendo as motivações, objetivos e metodologia utilizada e, por fim, apresentada a sua estrutura.

Tendo por objetivo aprofundar os conhecimentos sobre o tema escolhido, desenvolveu-se uma revisão da literatura sobre *procurement*, seleção de fornecedores, tomada de decisão e, particularmente, tomada de decisão aplicada à seleção de fornecedores. São desenvolvidos os principais conceitos-chave com base na pesquisa bibliográfica, tentando, de uma forma lógica, enquadrar o problema a abordar num contexto mais global. O resultado desse levantamento bibliográfico é apresentado no segundo capítulo, que se subdivide em quatro secções para uma melhor compreensão do tema.

O terceiro capítulo pretende descrever de forma exaustiva, mas bastante intuitiva, a metodologia da lógica difusa, que serve de suporte ao modelo conceptual desenvolvido e explanado no capítulo 4, onde finalmente se demonstra a aplicação num caso real.

No quinto capítulo são efetuadas algumas considerações finais, que refletem as principais conclusões resultantes do trabalho desenvolvido e onde se propõe, como trabalhos futuros, o desenvolvimento do modelo proposto.

Por último, são apresentadas as referências bibliográficas e os anexos de suporte ao presente trabalho.

## **2. A importância da tomada de decisão em procurement**

A cada vez maior globalização dos mercados tem consequência direta no aumento da concorrência entre empresas. A qualidade e o preço dos produtos e serviços obrigam as empresas a reverem a organização de toda a cadeia de suprimentos. A seleção e desempenho dos fornecedores, bem como o relacionamento com os mesmos, passou a ser um fator fundamental, tornando-se as áreas responsáveis pelas mais relevantes e estratégicas dentro das Organizações.

A evolução da função responsável pelas compras nas organizações é descrita num estudo desenvolvido por (McIvor, Humphreys, & McAlleer, 1997). No início da década de 70, a seleção e a interação com os fornecedores tinham como único objetivo conseguir obter o preço mais baixo. A crise do petróleo de 1973-1974 obrigou as empresas a olharem para a função compras como uma função importante a considerar, devido à escassez de matéria-prima a nível mundial.

Na sequência dos ensinamentos da crise do petróleo, nos anos 80 as empresas passaram a privilegiar o relacionamento a longo prazo com os seus fornecedores, baseado na confiança, flexibilidade e capacidade de inovação de cada um deles, ou seja, numa análise de custos totais. A partir dos anos 90, o nível de confiança entre comprador e fornecedor foi-se desenvolvendo, com a criação de parcerias estratégicas na procura de vantagens competitivas para as organizações.

Para (Dewitt, et al., 2001), o aumento da oferta existente no mercado resultante da globalização, veio obrigar as empresas a procurarem soluções mais eficazes para melhorar a coordenação da sua cadeia de abastecimentos, através de maior flexibilidade e de relacionamentos cada vez mais próximos com os seus fornecedores, com o objetivo de competir em termos de tempo e qualidade.

De acordo com (Christopher, 2011), só muito recentemente é que as organizações reconheceram a importância e influência que a gestão logística (e particularmente a função compras) tem no desenvolvimento de vantagens competitivas e na obtenção de

melhores níveis de desempenho organizacional perante os *stakeholders*<sup>3</sup> (Fugate, Mentzer, & Stank, 2010).

No entanto, para alguns autores, a definição ou abrangência do conceito de logística no contexto empresarial não é igual (ou coincidente) na Europa e nos Estados Unidos (Pimor & Fender, 2008). Para (Dornier, Ernst, Fender, & Kouvelis, 1998), a definição americana de logística resume-se às funções de transportes, armazenagem e gestão de stocks, considerando que os aspetos relativos a alternativas de aquisição de materiais, à gestão da cadeia de abastecimento e à integração do marketing com a produção fazem parte do que consideram ser as operações.

Já na Europa os autores consideram que o conceito é mais abrangente, incluindo as funções que o conceito de logística americana indica serem operações.

## 2.1 Procurement

O termo *procurement* pode ser definido como o processo de encontrar e acordar os termos e condições para adquirir bens/ produtos, serviços ou trabalho a uma entidade externa, normalmente através de um concurso ou processo competitivo de aquisição/ consulta ao mercado (Laffont & Tirole, 1993).

Sendo um processo organizacional, o *procurement* tem como objetivo assegurar que o comprador recebe bens, serviços ou trabalho ao melhor preço possível quando compara aspetos como a qualidade, quantidade, tempo e localização (Weele, 2010).

A globalização, a intensificação da concorrência nos mercados globais, o abrandamento da criação de valor interno pelas empresas e o aumento da qualidade exigida pelos consumidores, são fatores que têm contribuído para a crescente importância da função compras. Esta tendência dos mercados e da produtividade por parte das empresas conduz igualmente ao reconhecimento de que o *procurement* é importante no processo

---

<sup>3</sup> Conceito criado na década de 1980, pelo filósofo norte-americano Robert Edward Freeman. *Stakeholder* é qualquer indivíduo ou organização que, de alguma forma, é impactado pelas ações de uma determinada empresa. Em português já é utilizado o termo parte interessada.



si. Os processos de aquisição e as tarefas envolvidas estão divididos em três categorias: estratégica, tática e operacional.

As tarefas estratégicas incluem a gestão do relacionamento com os fornecedores, planeamento e desenvolvimento da procura, seleção de fornecedores e a análise do desempenho dos fornecedores.

Os processos táticos referem-se à orçamentação e contratação, sendo colocados no modelo de Weele entre compras estratégicas e operacionais.

As compras operacionais incluem tarefas semelhantes às apresentadas na figura anterior (Figura 1), incluindo as operações do dia-a-dia, tais como encomendas, verificação de faturas, controlo de expedições, entre outros (Weele, 2010).

O processo apresentado na figura 2 representa um processo de *sourcing* básico. (Weele, 2010) descreve o *sourcing* como um processo de procurar, encontrar, selecionar e gerir as principais e mais adequadas fontes de abastecimento, a nível mundial. O *sourcing* começa pela avaliação dos requisitos da compra e pré-qualificação de potenciais fornecedores.

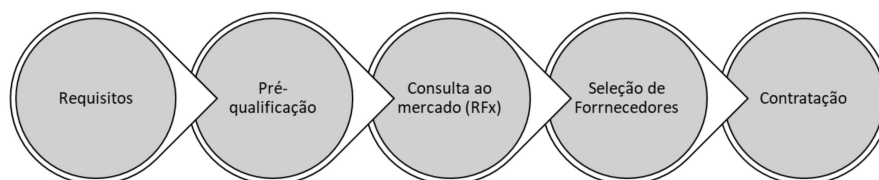


Figura 2 - O processo de *sourcing* (adaptado de (Sollish & Semanik, 2011))

Um processo de consulta ao mercado pode ter diferentes finalidades/ fases. O termo RFx é utilizado para descrever/ sintetizar as diferentes etapas de fornecimento: pedido de informação (*Request For Information* - RFI), pedido de proposta (*Request For Proposal* - RFP) e pedido de cotação (*Request For Quotation* - RFQ).

Por norma, o RFI é considerado uma etapa inicial do processo de *sourcing*, na qual os fornecedores são convidados a apresentar informações gerais que podem apoiar a possibilidade de os fornecedores serem qualificados para uma potencial proposta, bem como a oportunidade dos fornecedores apresentarem a empresa e as vantagens específicas dos seus atributos. Num processo típico de RFI, um grupo de fornecedores é convidado para um evento, onde o departamento de compras recolhe dados gerais sobre cada empresa, sobre os seus produtos e serviços (Weele, 2010).

O RFP é um processo que se inicia após o RFI. O objetivo do pedido de proposta é fazer com que os fornecedores contribuam e proponham soluções para as necessidades identificadas, ajudando a detalhar com maior especificamente as necessidades da organização (Monczka, Handfield, Giunipero, & Patterson, 2009). No entanto, e de acordo com (Weele, 2010), o RFP não é um processo obrigatório, pelo que em muitos casos poder-se-á passar diretamente de RFI para RFQ.

O RFQ é o processo mais completo e é mais detalhado em comparação com o RFP. Aos fornecedores selecionados nas etapas anteriores (RFI e RFP), se existirem, é disponibilizado um documento denominado caderno de encargos, que especifica não só os requisitos do bem/ produto/ serviço em consulta, bem como todas as características e condições de fornecimento. Os fornecedores selecionados apresentam uma proposta que cumpre os requisitos listados. Esta etapa do processo também pode ser chamada pedido de concurso (Weele, 2010). Poder-se-ão realizar várias rondas de negociação, encurtando a lista de fornecedores, colocando-se depois em aprovação de acordo com os critérios da organização.

Face ao aumento da concorrência global, a gestão de fornecedores tem vindo a desempenhar um papel cada vez mais fundamental para o sucesso empresarial. À medida que uma organização se torna mais dependente dos seus fornecedores, as consequências diretas e indiretas de uma má tomada de decisões tornar-se-ão mais críticas (Chan & Kumar, 2007).

No processo de *procurement*, a seleção e avaliação de fornecedores é um momento de tomada de decisão. (Karimi & Rezaeinia, 2014) definiu a seleção de fornecedores como um problema de multicritério de tomada de decisão (MCDM).

## 2.2 Seleção de Fornecedores

A chave para o sucesso da fase de *sourcing* ou *procurement* estratégico encontra-se no processo de seleção de fornecedores, representando uma enorme oportunidade para as empresas reduzirem custos na cadeia de abastecimento (Pal, Gupta, & Garg, 2013).

Também (Nydick & Hill, 1992) consideram a seleção de fornecedores a tarefa mais importante em todo o processo de compras. Para os autores, o melhor fornecedor pode não ser o que apresenta o melhor preço, tecnologia ou melhor prazo de entrega, mas sim uma combinação de fatores, pelo que as organizações deverão considerar múltiplos critérios para escolher os potenciais fornecedores.

Num processo de seleção de fornecedores, (De Boer, Labro, & Morlacchi, 2001) consideram quatro etapas fundamentais a assegurar pelas empresas. Na figura 3 é apresentado um esquema, baseado na especificação de (De Boer, Labro, & Morlacchi, 2001), considerando as 4 fases: Definição do problema, Formulação dos critérios, Qualificação segundo os critérios e Seleção final dos fornecedores.

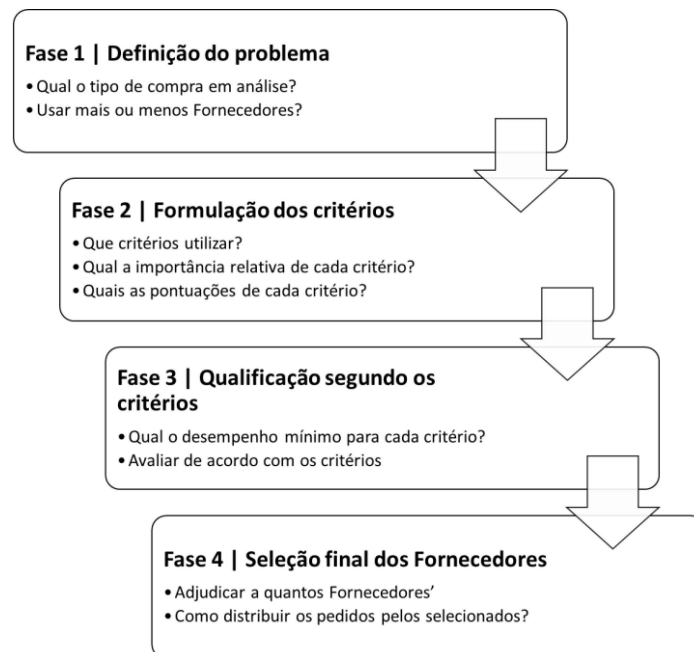


Figura 3 - Processo de seleção de fornecedores (adaptado de (De Boer, Labro, & Morlacchi, 2001)

Antes de iniciar as etapas do processo de seleção de fornecedores, e por forma a formular corretamente o problema, é necessário definir qual é a tipologia de compra em análise: se é uma primeira compra, uma recompra sem alterações (esporádica ou de rotina) ou uma recompra com alterações ou produtos/ serviços estratégicos (De Boer, Labro, & Morlacchi, 2001).

As primeiras compras são consideradas as mais complexas. Uma vez que se trata de um processo novo, não existe conhecimento prévio; existem uma série de informações desconhecidas, o que representa um maior nível de incerteza ao processo. Assim, nestes casos, não existe histórico sobre os fornecedores nem sobre os critérios utilizados anteriormente ou quais os que devem ser considerados. Não há experiência de compra anterior. Normalmente o processo consiste numa análise quantitativa de comparação entre os fornecedores, nomeadamente através do preço, do custo logístico e das datas de entrega (De Boer, Labro, & Morlacchi, 2001).

Para (De Boer, Labro, & Morlacchi, 2001), as recompras com alterações implicam uma maior procura entre os vários fornecedores disponíveis, com o objetivo de se conseguir modificar a compra, de acordo com os requisitos necessários. Nestes casos, os critérios de seleção apenas deverão ser ajustados, caso haja necessidade. Não deverão ser alargados, uma vez que já são conhecidas as necessidades do produto/ serviço a adquirir.

No caso das recompras sem alterações consideradas de rotina, e tendo em conta que normalmente são produtos disponíveis no mercado com várias alternativas, os autores consideram que as empresas compradoras devem fazer um *procurement* mais alargado, com o objetivo de encontrar fornecedores com as melhores propostas, mas com critérios de seleção pouco alargados (De Boer, Labro, & Morlacchi, 2001).

Por último, nas recompras de produtos/ serviços estratégicos, as empresas compradoras devem estabelecer as formas mais adequadas de lidar com os fornecedores, procurando manter com estes uma relação estável (De Boer, Labro, & Morlacchi, 2001).

De acordo com o esquema apresentado na figura 3, a primeira fase do processo de seleção de fornecedores é a definição do problema. Para (De Boer, Labro, & Morlacchi, 2001), tratando-se de uma nova compra, a definição do problema consiste na decisão

de iniciar um processo de seleção de um novo fornecedor ou de consultar os fornecedores habituais.

Já no caso de se tratar de uma compra de rotina, a definição do problema consiste na decisão de substituir ou não o fornecedor habitual. Já para o grupo de compras estratégicas e críticas normalmente existe um número muito reduzido de possíveis fornecedores, dada a especificidade. Nestes casos, e segundo os autores (De Boer, Labro, & Morlacchi, 2001), a decisão a tomar deve centrar-se na melhor forma de lidar com o fornecedor habitual.

A segunda fase, a formulação de critérios, encontra-se bastante estudada e desenvolvida na literatura sobre seleção de fornecedores (Weber, Current, & Benton, 1991). Nesta fase pretende-se identificar o conjunto de critérios a utilizar na seleção de fornecedores para o processo em questão.

Uma vez que qualquer processo de seleção assenta em critérios e que o sucesso da decisão está dependente de uma rigorosa identificação dos mesmos, vários autores centraram o seu estudo na sua definição dos critérios. Ao longo das décadas vários autores têm-se dedicado à definição dos critérios, tentando perceber e demonstrar quais os critérios a utilizar.

Dos vários estudos realizados, destacam-se os estudos de (Dickson, 1996), (Ellram, 1990), (Weber, Current, & Benton, 1991), (Verma & Pullman, 1998), (Humphreys, Y.K., & F, 2003) e (Zhang, Lei, Cao, To, & Ng, 2003).

Um dos primeiros estudos e, provavelmente um dos mais referidos pela literatura, é o de (Dickson, 1996). O estudo, desenvolvido com base num questionário feito a 273 profissionais responsáveis pelas compras (diretores e gestores de compra selecionados de empresas da América do Norte e Canadá, membros da *National Association of Purchasing Managers* (NAPM)), consistia em três partes e contemplava várias abordagens, tendo a terceira parte consistido em quatro casos de estudo com o objetivo de avaliar se o item a comprar tinha influência na alteração dos critérios.

A partir do questionário efetuado, (Dickson, 1996) identifica 23 critérios de seleção de fornecedores para utilizar no estudo, que estão apresentados na tabela 1:

Tabela 1 - Critérios de seleção de fornecedores agregados (Dickson, 1996)

Critérios
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Preço líquido (incluindo descontos e custo do transporte);</li> <li>2. Qualidade do produto (capacidade de o fornecedor cumprir constantemente as especificações do produto);</li> <li>3. Assistência técnica pós-venda;</li> <li>4. Capacidade de entrega (cumprimento do prazo, condições de entrega e transporte);</li> <li>5. Localização e acessibilidades;</li> <li>6. Posição financeira e <i>rating</i> de crédito do fornecedor;</li> <li>7. Instalações e capacidade de produção;</li> <li>8. Histórico do volume de negócio;</li> <li>9. Capacidade técnica (incluindo investigação e desenvolvimento);</li> <li>10. Gestão e organização do fornecedor;</li> <li>11. Acordos recíprocos de compras;</li> <li>12. Sistema de comunicação (incluindo informação de progresso de cada encomenda);</li> <li>13. Controlos operacionais (<i>reporting</i>, controlo de qualidade e de inventário);</li> <li>14. Reputação e posição externa;</li> <li>15. Relações laborais;</li> <li>16. Atitude (cooperação, tempo de resposta a novas solicitações, apresentação de propostas para resolução de problemas);</li> <li>17. Vocação para o negócio;</li> <li>18. Garantias e tratamento de reclamações;</li> <li>19. Embalagem adequada ao produto;</li> <li>20. Impressão;</li> <li>21. Formação;</li> <li>22. Conformidade processual;</li> <li>23. Histórico de entregas (cumprimento de prazos e quantidades).</li> </ol>

Tendo por base os quatro casos de estudo efetuados por (Dickson, 1996), este autor agregou os critérios com base na importância dos critérios para a decisão de seleção de fornecedores, que se apresenta na tabela 2. Os critérios estão agrupados em 4 grupos, de acordo com a importância para a sua avaliação/ utilização, destacando-se o critério Qualidade como sendo de extrema importância.

Tabela 2 - Ranking dos critérios de seleção de fornecedores (Dickson, 1996)

<b>Critério</b>	<b>Rating</b>	<b>Avaliação</b>
Qualidade	3.508	Extrema importância
Capacidade de entrega	3.417	Consideravelmente importante
Histórico de desempenho	2.998	
Garantias e tratamento de reclamações	2.849	
Recursos e capacidade de produção	2.775	
Preço	2.758	
Capacidade técnica	2.545	
Posição financeira	2.514	
Conformidade processual	2.488	Importante
Sistema de comunicação	2.426	
Reputação e posição no mercado	2.412	
Vocação para o negócio	2.256	
Gestão e Organização	2.216	
Controlo Operacional	2.211	
Assistência técnica / reparações	2.187	
Atitude	2.120	
Impressão	2.054	
Qualidade da embalagem	2.009	
Historial de relações laborais	2.003	
Localização e acessibilidades	1.872	
Histórico de volume de negócios	1.597	
Formação	1.537	
Acordos recíprocos	0.610	Algo importante

De acordo com o estudo de (De Boer, Labro, & Morlacchi, 2001), a terceira fase do processo de seleção de fornecedores é a da qualificação segundo os critérios. O objetivo desta fase é perceber qual o desempenho mínimo para cada critério e efetuar a avaliação.

Esta fase inicia-se com a atribuição de pesos aos diferentes critérios selecionados na fase anterior. Para os autores (De Boer, Labro, & Morlacchi, 2001), a ponderação dos critérios e a qualificação das propostas é a fase mais complexa do processo, uma vez que envolver não só inúmeros cálculos como tem associado uma grande subjetividade. Com a definição dos pesos, é possível efetuar-se a comparação das diversas propostas dos fornecedores.

Já (Weber, Current, & Benton, 1991) concluíram que o processo de seleção de fornecedores passou por alterações radicais ao longo dos tempos. Para isso os autores

analisaram, reviram e classificaram 74 estudos (*papers*) escritos entre os anos de 1966 e 1991 no setor de retalho e produção (desde o estudo de Dickson).

Neste estudo, os autores concluem que o critério mais discutido e referido é o custo (ou preço), seguido dos critérios capacidade de entrega e qualidade. Estes critérios também já estavam no topo no estudo de 1966.

Os restantes critérios são tidos como menos importantes e não são tão explorados na literatura, uma vez que parecem ser fortemente dependentes do tipo de compra. Do estudo resulta a seguinte tabela – tabela 3:

Tabela 3 - Top 10 dos critérios de seleção de fornecedores

<b>Critério</b>	<b>Nº de artigos</b>	<b>Percentagem</b>
Preço	61	80
Capacidade de entrega	44	58
Qualidade	40	52
Capacidade de produção	23	30
Localização	16	21
Capacidade Técnica	15	20
Gestão e Organização	10	13
Reputação	8	11
Posição Financeira	7	9
Histórico	7	9

Deste estudo de (Weber, Current, & Benton, 1991) destaca-se ainda que a maioria dos autores recorre a abordagens com modelos lineares. Apesar da importância e complexidade do processo de seleção de fornecedores, poucos autores recorrem a modelos de programação matemática.

Também (Verma & Pullman, 1998) elaboram um estudo para verificarem quais os critérios utilizados na seleção de fornecedores com maior importância para o comprador. Os autores concluíram que, apesar do critério qualidade ser o critério percebido como mais importante para o comprador, na prática algumas decisões de compra são baseadas noutros critérios.

Já (Zhang, Lei, Cao, To, & Ng, 2003) desenvolveram um estudo similar ao de Weber, ao reverem 49 artigos baseados nos 23 critérios de Dickson. Do estudo pode concluir-se que os autores chegaram praticamente aos mesmos resultados/ conclusões de Weber, conforme resumo na tabela 4:

Tabela 4 - Ranking de critérios de avaliação de fornecedores com base nos estudos de Dickson (1966), Weber (1991) e Zhang (2003)

<b>Critérios de seleção de fornecedores</b>	<b>Dickson (1966)</b>	<b>Weber et al. (1991)</b>	<b>Zhang et al. (2003)</b>
Qualidade	1	3	2
Capacidade de entrega	2	2	3
Histórico de desempenho	3	9	7
Garantias e tratamento de reclamações	4	22	13
Recursos e capacidade de produção	5	4	4
Preço	6	1	1
Capacidade técnica	7	6	5
Posição financeira	8	9	6
Conformidade processual	9	15	13
Sistema de comunicação	10	15	7
Reputação e posição no mercado	11	8	12
Vocação para o negócio	12	21	21
Gestão e Organização	13	7	7
Controlo Operacional	14	13	7
Assistência técnica/ reparações	15	9	13
Atitude	16	12	19
Impressão	17	15	21
Qualidade da embalagem	18	13	13
Historial de relações laborais	19	15	13
Localização e acessibilidades	20	5	7
Histórico de volume de negócios	21	21	21
Formação	22	15	13
Acordos recíprocos	23	15	19

De 1991 até hoje foram escritos pelo menos quatro artigos que reviram e compilaram a literatura referente a critérios de seleção de fornecedores - (Weber, Current, & Benton, 1991), (Degraeve, Labro, & Roodhooft, 2000), (De Boer, Labro, & Morlacchi, 2001) e (Cheraghi, Dadashzadeh, & Subramanian, 2001).

Em 2010 os autores (Ho, Xu, & Dey, 2010) publicaram uma extensa revisão de literatura, baseada em 78 artigos científicos sobre critérios de decisão para seleção de fornecedores, tendo obtido o resultado expresso na tabela 5:

Tabela 5 - Critérios de seleção de fornecedores (Ho, Xu, & Dey, 2010)

<b>Critério</b>	<b>Nº de artigos</b>	<b>Porcentagem</b>
Qualidade	68	88
Capacidade de entrega	64	82
Preço/ custo	63	80
Capacidade de produção	39	50
Serviço ao cliente	35	45
Gestão e Organização	25	33
Capacidade Técnica	25	33
Investigação e Desenvolvimento	24	31
Posição Financeira	23	29
Flexibilidade	18	24
Reputação	15	20
Relacionamento entre as partes	3	4
Risco	3	4
Ambiente e Segurança	3	4

Entre as centenas de critérios abordados, a tabela anterior mostra que os critérios como Qualidade, Capacidade de entrega, Preço/ custo e a Capacidade de produção são os critérios mais populares, com citações nos artigos em estudo de 88%, 82%, 80% e 50% respectivamente.

Atualmente as preocupações ambientais e sociais estão cada vez mais presentes na forma de estar e de agir das empresas. A Responsabilidade Social Corporativa (RSC) é uma prioridade para as empresas realmente comprometidas com as comunidades onde estão presentes, tendo-se desenvolvido o conceito ESG<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup> O conceito ESG integra as palavras *Environmental* (Ambiente), *Social* (Social) e *Governance* (Governança Corporativa), agrupando nesses três eixos os fatores não financeiros mais relevantes de uma empresa. Trata-se de uma abordagem estratégica e de análise muito utilizada por analistas e investidores institucionais para avaliar o desempenho em sustentabilidade.

Esta temática estende-se igualmente às cadeias de fornecimentos, pelo que se aguardam novos estudos que demonstrem a subida vertiginosa destes critérios no *ranking* de critérios mais importantes para a seleção de fornecedores.

A última fase do processo de seleção de fornecedores, de acordo com o estudo de (De Boer, Labro, & Morlacchi, 2001), consiste na escolha do fornecedor que apresente a melhor qualificação segundo os critérios anteriormente estabelecidos.

Em jeito de conclusão, (De Boer, Labro, & Morlacchi, 2001) referem que a qualidade da escolha está fortemente dependente da qualidade das fases anteriores.

### **2.3 Tomada de Decisão**

A tomada de decisão pode ser definida como um processo cognitivo que resulta na seleção de uma opção entre várias alternativas. É amplamente utilizada para incluir preferência, inferência, classificação e julgamento, quer consciente ou inconsciente (Smelser & Baltes, 2001).

O processo de tomada de decisão envolve identificar problemas, juntar informação e escolha de um rumo de ação para as alternativas geradas.

Desde a pré-história que existe tomada de decisão – o homem pré-histórico tomava decisões para sobreviver. Todos os dias cada um de nós toma dezenas de decisões – “levanto-me já ou adio o despertador mais 5 minutos?”, “levo a camisa azul ou a branca?”, “vou de carro ou de transportes para o trabalho?”, “almoço filetes panados ou arroz de pato?” – são apenas alguns exemplos.

No contexto empresarial, a expressão “tomada de decisão” foi introduzida por Chester Barnard<sup>6</sup> (Barnard, 1966), que pretendia substituir expressões mais limitadas como “alocação de recursos” ou “definição de políticas” por algo mais abrangente, que desse a noção de que decisão implica ação.

---

<sup>6</sup> Chester Irving Barnard (1886–1961) foi um executivo americano, autor pioneiro nos conceitos de gestão (management) e estudos organizacionais.

O estudo sobre tomada de decisão no contexto organizacional tem sido objeto de investigação desde meados do século passado. A importância do estudo desta temática é fundamental para a sociedade contemporânea, uma vez que as organizações necessitam, cada vez mais, de decisões fundamentadas, estudadas e analisadas no mais curto espaço de tempo.

Uma decisão implica (ou deve implicar) a participação das várias estruturas de uma organização, pelo que pode ser entendido como “uma escolha entre alternativas, obedecendo a critérios previamente estabelecidos. Estas alternativas poderão ser os objetivos, os programas ou as políticas numa atividade organizacional.” (Cassarro, 1995).

Muitos autores definem o processo de decisão como o caminho necessário para a tomada de decisão. Para (Mintzberg, 2010), o processo resume-se a uma sequência de passos que conduzem à decisão. Já para (Chiavenato, Administração nos Novos Tempos, 2ª edição, 2005), o processo é um caminho que o indivíduo utiliza para chegar à decisão. Segundo (Dearlove, 2000) e (Luthans, 1998), a tomada de decisão pode ser explicada como a escolha entre as possíveis alternativas analisadas.

Para (Rudio, 1986), a participação das estruturas das organizações nos processos de decisão pode ser entendida como um processo de recolha de informação por parte do decisor. Esta recolha de informações tem como objetivo reduzir o risco do conjunto de atividades orientadas para a busca de um determinado.

A construção de sistemas e ferramentas de apoio à decisão é uma tarefa difícil, uma vez que muita informação é obtida com base em conceitos subjetivos, abstratos e imprecisos provenientes de especialistas (Goldschmidt, 2010).

Assim, e de acordo com (Bazerman, 2004), a tomada de uma decisão deve ser guiada por uma lógica racional cujo modelo é baseado num conjunto de premissas que determinam como uma decisão deve ser tomada e não como a decisão é tomada.

A maior parte das decisões são tomadas com base na lógica. (Mortari, 2017) define lógica como a ciência que estuda os princípios e métodos de inferências e suas consequências - a ciência do raciocínio.

Para (Chiavenato, Teoria Geral da Administração, 2ª edição, 1979), um processo de tomada de decisão contempla seis elementos:

- Tomador da decisão: indivíduo ou grupo de indivíduos que faz(em) uma escolha das estratégias disponíveis;
- Objetivos ou fins a serem servidos: são objetivos que o tomador da decisão procura obter com a ação tomada de decisão;
- Sistema de preferências/ valores: critérios que o tomador da decisão usa para fazer a escolha;
- Estratégias do tomador de decisão: os diferentes cursos de alternativas de ações que o tomador da decisão pode escolher. As estratégias são baseadas nos recursos que o tomador da decisão consegue controlar;
- Estados de natureza: fatores que não estão sob controle do tomador da decisão. São aspetos do ambiente envolvente ao tomador da decisão, que afetam a sua escolha de estratégias;
- A consequência: o resultado de uma dada estratégia e de um dado estado da natureza.

Segundo (Dessler, 2001), e de acordo com muitos gestores, existem dois tipos de decisão: decisões programadas e decisões não programadas. (Chiavenato, Administração nos Novos Tempos, 2ª edição, 2005), entre outros autores, detalha estas divisões:

- Decisões Programadas: as que servem para resolver problemas correntes do dia-a-dia, repetitiva, tendo como resposta decisões padronizadas. Estas decisões são baseadas em dados adequados e repetitivos. As decisões tomam-se em condições estáticas e constantes sob condições de previsibilidade. Estas decisões podem ser tomadas através de sistemas computacionais;
- Decisões não programadas – aquelas que decorrem de situações novas e excepcionais e que envolvem circunstâncias de risco e incerteza. Os dados para

a tomada de decisão são únicos, novos, muitas vezes inadequados e as decisões são tomadas em condições dinâmicas e de imprevisibilidade. Para o autor, a tomada de decisão deverá ser tomada sob o julgamento pessoal.

Já (Mintzberg, 2010), para além de se referir às decisões programadas e não programadas, refere que os processos de decisão podem ser categorizados dentro da organização em três tipos: decisões operacionais, administrativas e estratégicas:

- Decisões operacionais são tomadas de modo rotineiro, de forma rápida e quase automática nos processos de decisão que são usualmente utilizadas. Estão normalmente associadas a operacionais, que tomam as decisões mediante um processo pré-definido, circunscrita a soluções já pré-determinadas como por exemplo:
  - i. **if** Processo de crédito aprovado **then** Enviar carta de aprovação ao cliente;
  - ii. **if** Revisão do carro concluída **then** Notificar o cliente;
- Decisões administrativas são aquelas que podem ser classificadas como decisões de coordenação e/ ou de exceção. As decisões de coordenação orientam e coordenam as decisões operacionais, de planeamento, de planificação da produção e decisões de orçamentação. Também nesta categoria de decisões os processos de decisão são geralmente de rotina, programados, mas não tanto como as decisões operacionais. Estes processos são elaborados pelos gestores de hierárquica superior e/ ou pelos analistas funcionais, podendo estes trabalhar em conjunto nalgumas situações;
- Decisões estratégicas são, como o nome indica, decisões que têm grande impacto na organização, afetando a estratégia da mesma. Não são rotineiras, pelo que obrigam a fases de diagnóstico, pesquisa e seleção muito mais elaboradas.

## 2.4 Tomada de decisão aplicada à seleção e avaliação de fornecedores

Existem diferentes modelos de tomada de decisão. (Chai, Liu, & Ngai, 2013) consideram três categorias: modelos multicritério de tomada de decisão (MCDM), modelos de programação matemática (MP) e modelos de inteligência artificial (AI).

A seleção de fornecedores é um dos problemas de análise de decisão multicritério mais estudado, onde os autores (Ho, Xu, & Dey, 2010) mostram como entre 2000 e 2008 existiram mais de 70 artigos científicos publicados em reputados meios internacionais. A maior parte dos modelos revistos pelos autores é baseada em métodos clássicos das áreas de Pesquisa Operacional e Análise de Decisão, como por exemplo, os métodos:

- *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)* um método que se baseia no conceito de que a alternativa escolhida deve ter a distância geométrica mais curta da solução ideal positiva e a distância geométrica mais longa da solução ideal negativa (Hwang & Yoon, 1981);
- *Analytic Hierarchy Process (AHP)* é um método de organização e análise de decisões complexas, utilizando a matemática e a psicologia, que fornece um quadro racional para uma decisão, quantificando os seus critérios e opções alternativas, e relacionando elementos com o objetivo global (Saaty, Multicriteria decision making: the analytic hierarquical process. Planning, priority setting, resource allocation, 1990);
- *Data Envelopment Analysis (DEA)* uma metodologia de análise de eficiência que compara uma eficiência revelada (tida como eficiência otimizada) com a eficiência das unidades analisadas estabelecendo um indicador de avaliação da eficiência da relação insumos<sup>7</sup>/ produtos dessas unidades (Thanassoulis, 1995);
- *Analytic Network Process (ANP)* é uma forma mais generalizada do método AHP. Enquanto o AHP estrutura um problema de decisão numa hierarquia com um objetivo, critérios de decisão e alternativas, o ANP estrutura o problema como uma rede. Ambos utilizam então um sistema de comparações em pares para

---

<sup>7</sup> Insumo designa um bem ou serviço utilizado na produção de um outro bem ou serviço. Inclui cada um dos elementos (matérias-primas, bens intermediários, uso de equipamentos, capital, horas de trabalho etc.) necessários para produzir mercadorias ou serviços.

medir os pesos dos componentes da estrutura, e finalmente para classificar as alternativas na decisão (Saaty, *Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process*, 1996);

- *Élimination et Choix Traduisant la REalité* (Electre), um modelo/ técnica de suporte à decisão que consiste na análise das relações de dominância das variáveis, com o objetivo de reduzir o conjunto de alternativas (Roy, 1968).

Há também a destacar uma grande variedade de modelos híbridos, ou seja, a combinação de métodos.

Os autores (De Boer, Labro, & Morlacchi, 2001) fizeram realizaram um estudo sobre os diversos métodos para selecionar os fornecedores, baseados em artigos em revistas científicas especializadas, livros, teses de doutoramento, procedimentos de conferências, tendo descartando publicações de profissionais não qualificados. O estudo divide as abordagens em dois tipos: abordagem qualitativa e abordagem quantitativa.

A abordagem qualitativa inclui ferramentas para visualizar e analisar a perceção de quem toma a decisão sobre determinado problema ou situação, bem como ferramentas para descobrir as diferentes soluções alternativas.

Já a abordagem quantitativa utiliza a recolha de dados com intuito de criar padrões gerais com regras de decisão que podem ser utilizadas para melhorar a eficiência e a eficácia de futuras decisões.

Para (De Boer, Labro, & Morlacchi, 2001), as técnicas de otimização, como a programação linear, permitem tomar decisões mais informadas, melhores, minimizando os custos. Para os autores, a utilização de métodos de decisão multicritério permite apoiar quem toma a decisão, através da avaliação de várias alternativas associadas a fatores de diferente natureza.

Os métodos de decisão suportam o decisor na escolha de uma das alternativas disponíveis (De Boer, Labro, & Morlacchi, 2001). Os autores agrupam os vários modelos de decisão em dois tipos: métodos de decisão para a pré-qualificação de fornecedores adequados e modelos de decisão para a fase de escolha final.

A pré-qualificação permite reduzir a lista de fornecedores através da definição e determinação de todos os fornecedores possíveis, seguida de uma seleção dos considerados mais adequados. Os autores (De Boer, Labro, & Morlacchi, 2001) consideram os seguintes métodos:

- Métodos de categorização: métodos de natureza qualitativa que têm por base os dados históricos da empresa e a experiência dos compradores e fornecedores para se efetuar a avaliação, através de determinados critérios. As avaliações permitem distinguir o fornecedor de acordo com o seu desempenho. Cada fornecedor é classificado numa de três categorias: positivo, neutro ou negativo, de acordo com a classificação obtida através da avaliação dos critérios;
- Método de análise conjunta de dados: as decisões tomadas são avaliadas de acordo com a sua eficiência e eficácia. As alternativas são avaliadas quanto ao benefício e quanto ao seu custo. Uma alternativa é considerada eficiente quando a soma de *outputs* (desempenho do fornecedor) equivale à soma de *inputs* (custos de utilização do fornecedor). Assim, para cada fornecedor, esta análise encontra o conjunto mais favorável de ponderadores que leva à maximização da classificação de eficiência do fornecedor. Por sua vez, ajuda o comprador a classificar os fornecedores em relação ao valor económico ou ao contributo ineficiente para a empresa;
- Análise de *cluster*: método utilizado em estatística, através de um algoritmo de classificação com o objetivo de agregar itens cuja diferença de pontuação é mínima ou mesmo nula. Esta análise, quando aplicada no processo de seleção de fornecedores, permite agregar (ou agrupar) os fornecedores em clusters (ou nichos);
- Sistemas baseados no raciocínio: sistemas categorizados como uma abordagem AI. Resumidamente, trata-se de um banco de dados associado a um software de exploração de dados, que disponibiliza informações passadas semelhantes a quem toma a decisão.

No que diz respeito a métodos e/ou modelos de decisão de escolha final, os autores (De Boer, Labro, & Morlacchi, 2001) consideram que existem cinco modelos, que se descrevem em seguida:

- Modelos de ponderação linear: este modelo consiste na atribuição de pesos (ou ponderadores) aos critérios, numa escala em que o maior peso é o mais importante. A classificação nos critérios obtém-se através da multiplicação, originando um resultado final para cada fornecedor. Nestes modelos, uma classificação alta num critério pode compensar uma classificação baixa num outro critério, o que possibilita ao comprador determinar antecipadamente os limites para a compensação das pontuações nos vários critérios. Nesta abordagem utiliza-se a metodologia AHP para lidar com a imprecisão na escolha do fornecedor;
- Modelo de custo total de propriedade: neste modelo são contabilizados todos os custos na escolha do fornecedor ao longo do ciclo de vida do bem/serviço adquirido. Todos os custos associados à escolha são quantificados, seguindo-se um ajustamento ou penalização do preço unitário cotado pelo respetivo fornecedor;
- Modelos de programação matemática: modelos que permitem ao responsável pela tomada de decisão formular o problema através de uma função matemática objetiva, através da otimização do custo: maximização ou minimização da função, com a variação de valores nas variáveis da função objetivo (ex: quantidade pedida, ...);
- Modelos estatísticos: como o nome indica, modelos que utilizam dados históricos para auxílio na escolha do fornecedor;
- Modelos baseados na Inteligência Artificial: modelos computacionais, suportados em redes neuronais, que utilizam dados históricos, projeções, informações de especialistas e/ou problemas semelhantes, para auxiliar a tomada de decisão.

Os autores (Zimmer, Fröhling, & Schultmann, 2016) efetuaram um estudo onde reviram vários modelos de suporte à seleção de fornecedores. Na figura 4 está representado

um resumo do estudo, que começa por dividir os modelos em singulares (utilização isolada) e modelos combinados. Dentro dos modelos singulares, os autores agruparam os modelos em quatro tipos: qualitativos, programação matemática, análise matemática e inteligência artificial:

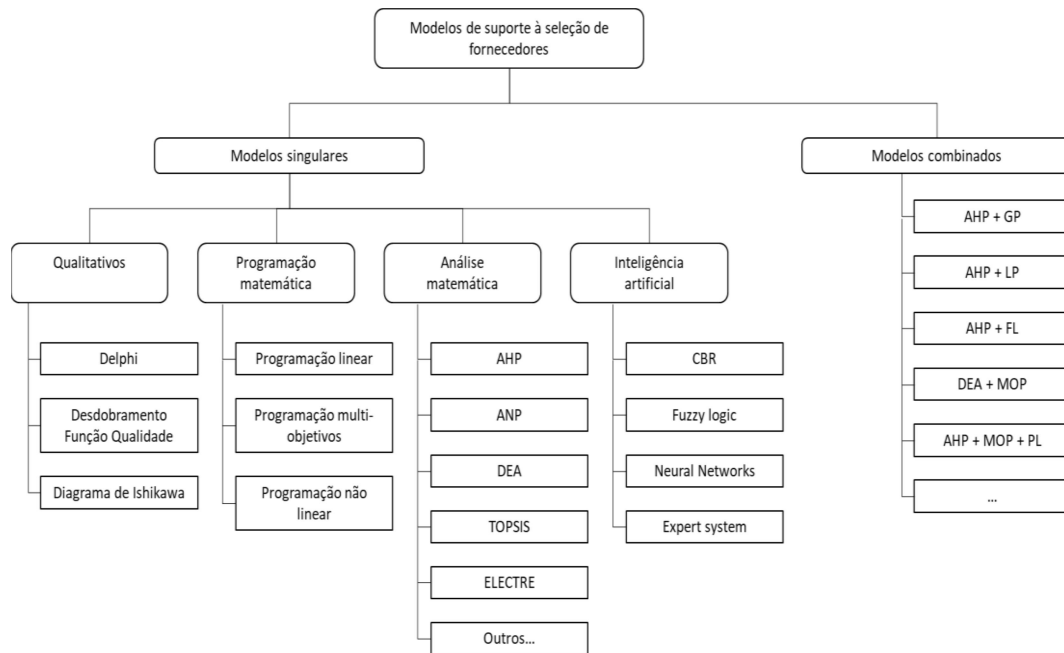


Figura 4 - Modelos de Tomada de Decisão (adaptado de (Zimmer, Fröhling, & Schultmann, 2016)

Na literatura e nos vários estudos desenvolvidos ao longo das últimas décadas são referidos inúmeros métodos para selecionar e avaliar fornecedores. Para (Araújo, Alencar, & Mota, 2017) não é possível concluir que existe um método que seja melhor, mais completo ou mais eficaz que outro, pelo que a escolha do método a utilizar deverá ser tomada tendo em conta a situação em análise.

Já (Bello, 2003), no estudo que efetuou, comparou parâmetros, vantagens e desvantagens de vários métodos para seleção e avaliação de fornecedores, cujo resultado resumido está apresentado na tabela 6:

Tabela 6 - Vantagens e desvantagens dos métodos de seleção de fornecedores, adaptado de (Bello, 2003)

Método	Parâmetros Quantitativos/Qualitativos	Vantagens	Desvantagens
Categoria	Qualidade Entrega Serviço Preço	Processo de avaliação claro e organizado  Barato  Requer um mínimo de desempenho de dados	Atribuição de peso igual nos critérios  Subjetivo  Impreciso
Ponderação de critérios	Qualidade Entrega Serviço Preço	Atribuição de ponderação consoante a importância	Subjetivo  Dificuldade em considerar os critérios qualitativos
Relação de Custo	Qualidade Entrega Serviço Preço	Subjetividade é reduzida  Flexibilidade	Complexidade e requisito para desenvolver um sistema de contabilização de custos  Medidas de desempenho são artificialmente expressas nas mesmas unidades
Custo total de propriedade	Preço Custos de Qualidade Insegurança dos custos na entrega do serviço Custos de transporte Custos de encomenda Custos de recepção Custos de inspeção	Substancial poupança de custos  Permite que várias políticas de compras sejam comparadas com outra	Complexo  Requer um número muito elevado de avaliações  Elevado tempo de processo
Análise do Componente principal	Preço Fiabilidade na entrega Qualidade	Considera simultaneamente múltiplos inputs e outputs sem atribuição dos pesos	Necessita de um conhecimento em métodos de estatística avançados
AHP	Qualidade Preço Entrega Serviço	Simples de implementar  Captura tanto os critérios quantitativos como os qualitativos	Requer um número muito elevado de avaliações  Elevado tempo de processo  Inconsistência sobre o método
Rede Neural	Desempenho Qualidade Geografia Preço	Providencia boas soluções para problemas complexos	Gasta muito tempo e dinheiro para desenvolver o sistema  Falta de especialização  Requer um software muito especializado

A metodologia escolhida para a seleção e/ou avaliação de fornecedores deve ser flexível para lidar com a dinâmica do processo, suportando a inclusão/ exclusão de fornecedores e/ou critérios sem gerar incongruências/ incoerências nos resultados.

Segundo estudos efetuados, as técnicas AHP (Park, Shin, & Chang, 2010), ANP (Hsu, Kuo, & Chiou, 2014) e Fuzzy AHP (Zeydan, Çolpan, & Çolbanoglu, 2011) (Rezaei & Ortt,

2013) podem inverter os resultados obtidos sempre que se incluam/ excluam critérios. Também as abordagens baseadas nas técnicas referidas também limitam a quantidade de fornecedores que podem ser avaliados simultaneamente, uma vez que requerem a comparação par a par entre as alternativas avaliadas. Por outro lado, as abordagens baseadas em redes neuronais artificiais (Aksoy & Öztürk, 2011) dificultam a avaliação de fornecedores, ao requererem inúmeros dados históricos de desempenho para os ajustes de parâmetros dos modelos computacionais.

Assim, verifica-se que muitos dos modelos atualmente existentes para apoiar a avaliação/ seleção de fornecedores não são adequados aos requisitos do domínio deste problema.

Inúmeros estudo e autores já utilizaram diversas metodologias para abordar processos de tomada de decisão, incluindo a seleção e avaliação de fornecedores. (Bellman & Zadeh, 1970) começaram por explorar a utilização da lógica difusa em processos de tomada de decisão.

Mas como se processa a lógica difusa em ferramentas de tomada de decisão? De acordo com (Chanamool & Naenna, 2016), a contribuição da lógica difusa nas metodologias de tomada de decisão engloba os seguintes aspetos:

- Apresenta flexibilidade na atribuição de classificações, sem que com isso influencie fortemente a decisão final;
- Apresenta uma grande tolerância a dados imprecisos e pouco mensuráveis;
- Baseia-se na linguagem natural, nomeadamente na linguagem comunicativa humana. É construída sobre estruturas qualitativas de linguagem humana, sendo por isso de fácil utilização;
- Permite quantificar matematicamente a incerteza humana na avaliação dos factos.

Com base nestas premissas decidiu-se utilizar esta metodologia para desenvolver o modelo.

### 3. Lógica difusa

Com o presente capítulo pretende-se efetuar enquadramento teórico sobre a lógica difusa. Inicialmente é introduzido o conceito, que pretende demonstrar as vantagens da lógica difusa face à lógica clássica.

Posteriormente é trabalhada a definição da lógica difusa, as variáveis linguísticas e a explicação dos sistemas de inferência difusa. O enquadramento termina com um exemplo prático, simples, que permita a qualquer pessoa perceber o funcionamento e a aplicabilidade prática da lógica difusa e dos sistemas de inferência difusa.

Este capítulo é um capítulo introdutório à lógica difusa proposta e utilizada no desenvolvimento do modelo no capítulo seguinte proposto e no seguinte testado e discutido em estudo de caso.

#### 3.1 Conceito

A lógica clássica apenas permite proposições tendo os valores de verdadeiro ou falso. A teoria clássica de conjuntos permite o tratamento de classes de objetos e das suas inter-relações num determinado universo definido. Nesta teoria, a pertença de um dado elemento em relação a um conjunto refere-se ao facto desse elemento pertencer ou não a esse conjunto.

Por exemplo, na lógica clássica, ou booleana, existe branco e preto. No entanto, para a ciência, o preto e o branco puros serão os extremos de um espectro monocromático de infinitos tons de cinzento, pelo que se poderá falar de uma graduação de cinzento.

O conceito de lógica difusa foi introduzido com o objetivo de encontrar soluções para problemas reais que podem ser considerados incertos ou vagos. Termos como “alto”, “baixo” ou “magro” são termos incertos. Ao carácter de incerteza apresentado por acontecimentos, cuja dificuldade de classificação seja uma realidade, dá-se o nome de carácter *fuzzy* (ou carácter difuso).

Em 1930 o filósofo e lógico Jan Łukasiewicz<sup>8</sup>, através do estudo de termos do tipo “alto”, “velho” e “quente”, propôs a utilização de um intervalo de valores  $[0,1]$  que indicaria a possibilidade de uma declaração ser verdadeira ou falsa (Simons, 2015).

Em 1937, o filósofo Max Black propôs a ideia de que continuidade podia ser descrita em graus. Definiu, desta forma, o primeiro conjunto difuso e descreveu algumas ideias básicas de operações com conjuntos difusos (Black, 1937).

Em 1965, Lofti Zadeh publicou o artigo “Fuzzy Sets”, que ficou conhecido como a origem da *lógica fuzzy* ou lógica difusa. Na realidade, Zadeh redescobriu a ideia de fuzzificação, identificando, explorando e divulgando o conceito. Ficou, desta forma, conhecido como o “mestre” ou “pai” da lógica difusa (Botelho, 2017).

A lógica difusa foi criada com objetivo de construir uma linguagem matemática que considerasse a imprecisão, subjetividade e incerteza humana durante o processo de tomada de decisão (Roghanian & Mojibian, 2015). A solução apresentada por Zadeh foi construir uma lógica que utilizasse um conceito da quantificação de um elemento face ao universo global no qual é inserido. Desta forma, criou uma linguagem matemática flexível, capaz de caracterizar e inferir relações imprecisas, como acontece na linguagem/ comunicação humana (Gallab, Bouloiz, Alaoui, & Tkiouat, 2019).

Na matemática, este aspeto da realidade humana encontra paralelismo na lógica difusa. Em complemento à lógica booleana, que é caracterizada por as suas variáveis apenas poderem adotar dois valores 0 e 1, interpretadas como Verdadeiro (1) e Falso (0), a lógica difusa trouxe a plurivalência entre 0 e 1, pois permite que as suas variáveis sejam qualquer valor real entre 0 e 1. Assim para qualquer  $x \in \mathbb{R}$ :

Lógica Booleana

$$x \in \{0,1\}$$

Lógica Difusa

$$x \in [0,1]$$

---

<sup>8</sup> Jan Łukasiewicz foi um lógico polaco. Reconhecido pelo seu desenvolvimento da lógica multivalente e seus estudos sobre a história da lógica, particularmente sua interpretação da lógica aristotélica.

A lógica booleana é binária, ou seja, indica se uma determinada proposição ou é verdadeira ou é falsa, enquanto que a lógica difusa capta o seu grau de verdade. De acordo (Ahlawat, Gautam, & Sharma, 2014), a lógica difusa foi desenvolvida para tratar o conceito de verdade parcial, compreendendo valores que vão do completamente verdadeiro ao completamente falso.

Na figura 5 podemos observar, a título demonstrativo, as comparações de altura entre duas pessoas, segundo a abordagem clássica e a abordagem difusa.

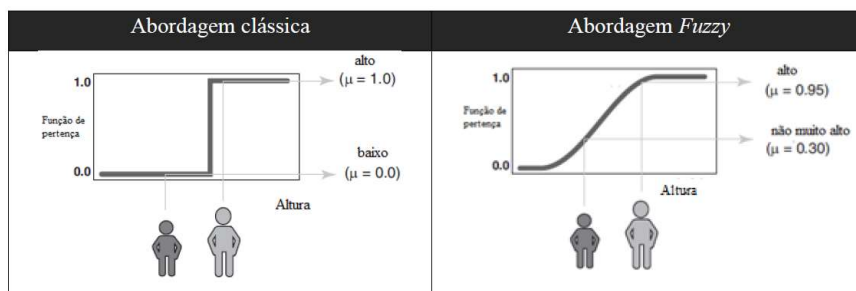


Figura 5 - Abordagem clássica vs abordagem difusa (adaptado de (Mathworks, 2018))

Na abordagem clássica podemos observar um estado binário na decisão da altura de uma pessoa, ou seja, “a pessoa é baixa ou a pessoa é alta”. Já na abordagem difusa é possível quantificar a incerteza da altura da pessoa baseada no universo de pessoas que a rodeia.

Assim a lógica difusa pode ser integrada em inúmeros contextos, como os seguintes exemplos (Mathworks, 2018):

- Qualidade de um serviço baseado em multicritérios de satisfação. Caso uma pessoa consuma uma refeição num restaurante, existem inúmeros critérios que definem a qualidade da mesma, desde o atendimento ao público, a qualidade da refeição ou até mesmo o tempo de espera, entre outros aspetos quantitativos e qualitativos que podem ser avaliados;
- Ajuste da temperatura de conforto num dado sistema de ar condicionado de uma sala de aula.

Ao contrário da lógica convencional, a lógica difusa utiliza a ideia de que todas as coisas (temperatura, altura, velocidade, etc.) admitem graus de pertinência. Com base neste conceito, a lógica difusa tenta modelar o senso de palavras, tomada de decisão ou senso comum do ser humano, e não limitar a escolha apenas a um estado binário, verdadeiro ou falso.

A lógica difusa pode então ser considerada como um conjunto de princípios matemáticos para representar o conhecimento baseado no grau de pertinência dos termos (denominados graus de verdade). O intervalo de pertinência está entre os valores  $[0,1]$ , onde 0 significa que um elemento não pertence a um determinado conjunto, 1 significa que o elemento pertence completamente ao conjunto, e os valores entre 0 e 1 representam graus parciais de pertinência.

Assim, na lógica difusa, um elemento pertence a um conjunto com um certo grau de pertinência, fazendo com que uma determinada afirmação possa ser parcialmente verdadeira e parcialmente falsa. Um mesmo elemento pode ter graus de pertinência diferentes de 0 para mais de um conjunto difuso.

### 3.2 Definição

De acordo com o estudo “Fuzzy Sets”, (Zadeh, 1965) definiu um conjunto difuso como uma classe de objetos com graus de pertinência contínuos, caracterizado por uma função de pertinência que associa a cada objeto um grau de pertinência. Sendo  $U$  um conjunto de pontos não vazio em que  $x$  é um elemento genérico de  $U$ .

Os sistemas difusos podem ser caracterizados por sistemas que apresentam regras baseadas no conhecimento natural, de domínio público ou utilizando-se de conhecimento adquiridos de especialistas. Desta forma os conjuntos difusos são definidos como conjuntos de base  $U$  e caracterizados por uma função de pertinência, representada por  $m: U \rightarrow [0,1]$ .

O conjunto de valores difusos  $A$  em  $X$  é definido matematicamente como o par ordenado:  $A = \{x, m(x)\}$ ,  $x \in U$ , em que  $U$  é o universo de atributos,  $m(x)$  é conhecido como o

grau de pertença de  $x$  em  $U$ . O valor  $m(x)$  é um número que pertence ao intervalo  $[0, 1]$ , onde 1 representa a associação total do conjunto, e 0 a não-associação (Zadeh, 1965).

### 3.3 Variáveis linguísticas

A lógica difusa procura que os números difusos representem conceitos linguísticos como “alto”, “médio”, “baixo”, ao contrário da matemática, em que as variáveis são representadas por valores numéricos. Para (Klir & Yuan, Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, and Fuzzy Systems: Selected Papers by Lotfi A. Zadeh, 1996), a lógica difusa utiliza termos não-numéricos para definir dados, regras e fatos, sendo por isso designadas por variáveis linguísticas.

Os conjuntos difusos constituem assim uma base a manipulação de conceitos vagos e imprecisos, podendo-se utilizar conjuntos difusos para representar variáveis linguísticas (Fuller, 1995).

Uma variável linguística é uma variável cujos valores são nomes de conjuntos difusos. Por exemplo, a temperatura de um determinado processo pode ser uma variável linguística assumindo como valores “baixa”, “média” e “alta”. Estes valores são descritos por intermédio de conjuntos difusos, representados por funções de pertença, conforme mostrado na figura 6:

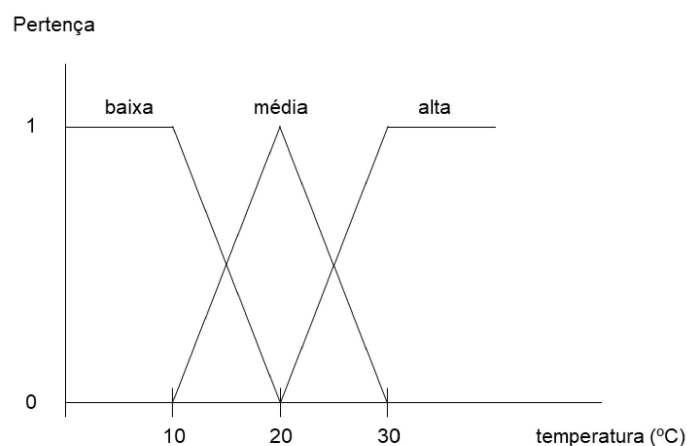


Figura 6 - Funções de pertença para a variável “temperatura”

O objetivo das variáveis linguísticas é caracterizar as expressões, regras e factos da linguagem humana, que dificilmente são tratados pela matemática “convencional”. De acordo com (Lee, 1990), uma variável linguística é caracterizada por:

- $x$ : nome da variável;
- $T(x)$ : conjunto de termos de  $Z$ , ou seja, o conjunto de nomes dos valores linguísticos de  $Z$ ;
- $U$ : universo de discurso;
- $G$ : regra sintática para gerar os valores de  $x$  como uma composição de termos de  $T(x)$ ;
- $M$ : regra semântica, para associar a cada valor gerado por  $G$  um conjunto difuso em  $U$ .

Para o exemplo dado com a variável temperatura, obtém-se:

- $x$ : temperatura;
- $T(x)$ : {baixa, média, alta};
- $U$ : 0°C a 100°C (como exemplo);
- $G$ : temperatura não baixa e não muito alta, por exemplo;
- $M$ : associa o valor acima a um conjunto difuso cuja função de pertença exprime o seu significado.

### 3.4 Sistemas de Inferência Difusa

A inferência difusa deve ser abordada como um processo, onde as entradas são avaliadas através de regras previamente definidas, por forma a obterem-se conclusões (saídas). Este processo é realizado através de modelos de inferência.

Existem vários tipos de modelos de inferência difusa, sendo os mais conhecidos e utilizados o modelo Mamdani e o modelo Sugeno. Ambos os modelos podem ser implementados recorrendo a aplicações computacionais, nomeadamente através da *toolbox* do software Matlab (Mathworks, 2018).

O modelo Mamdani foi proposto pelo professor Ebrahim Mamdani, baseado na teoria proposta por Zadeh, ao identificar e reunir um conjunto de regras e ações utilizadas por operadores humanos no controlo de uma máquina a vapor. O modelo baseia-se numa

estrutura simples de operações min-max, com regras de inferência do tipo “*if* x é A e y é B *then* z é C, com A, B e C sendo conjuntos difusos.

Este modelo pressupõe a transformação das variáveis de entrada em conjuntos difusos equivalentes – fuzzificação<sup>9</sup>, através de um conjunto de regras e conhecimento, transformando as variáveis difusas geradas em variáveis numéricas proporcionais - defuzzificação, necessárias para os sistemas de controlo automáticos e inteligentes (Mamdani E. H., 1974).

O modelo Sugeno pode ser usado para modelar qualquer sistema de inferência em que as funções de saída são constantes e/ou uma combinação linear das funções de pertenças (Sugeno, 1985).

De acordo com o modelo Mamdani, um controlador difuso é composto por quatro elementos fundamentais: um módulo de fuzzificação, uma base de conhecimento, um motor de inferência e um módulo de defuzzificação, podendo ser apresentado de acordo com o esquema da figura 7:

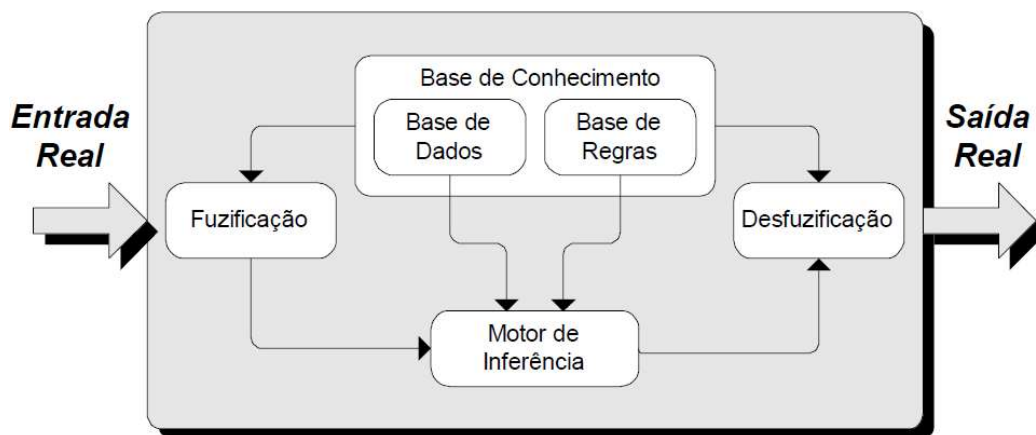


Figura 7 - Esquema da lógica difusa (Mamdani & Assilian, 1975)

<sup>9</sup> Fuzzificação é o termo português para o termo original anglo-saxónico *fuzzification*, assim como defuzzificação é o termo português correspondente a *defuzzification*.

### 3.4.1 Fuzzificação

A fuzzificação pode ser definida como o processo de conversão de entradas numéricas em conjuntos difusos, definidos num dado universo de discurso. Esta operação é fundamental, uma vez que na generalidade das aplicações da lógica difusa os dados observados são numéricos.

Como tal, dado que a manipulação de valores num sistema difuso é baseada na teoria dos conjuntos difusos, é necessário em primeiro lugar, fuzzificar todos os dados numéricos.

(Zadeh, 1965) define um conjunto como uma coleção de elementos que possuem uma determinada característica em comum. Na lógica booleana um elemento ou pertence ao conjunto não pertence a este conjunto. No caso da lógica difusa um elemento pode pertencer a mais de um conjunto, de acordo com o grau de pertença.

Como já se referiu, um conjunto difuso é um par  $(U, m)$  onde  $U$  é um conjunto e  $m: U \rightarrow [0,1]$ . Assim  $\forall x \in U$ , o valor de  $m(x)$  é chamado de grau de pertença de  $x$  em  $(U, m)$ . Para um conjunto finito  $U = \{x_1, \dots, x_n\}$ , o conjunto difuso  $(U, m)$  é denotado por  $\{m(x_1)/x_1, \dots, m(x_n)/x_n\}$ .

Seja  $x \in U$ , então,  $x$ , é:

- não incluído no conjunto difuso  $(U, m)$  se  $m(x) = 0$ ;
- totalmente incluído se  $m(x) = 1$ ;
- membro difuso se  $0 < m(x) < 1$ .

O conjunto  $\{x \in U \mid m(x) > 0\}$  é chamado conjunto de suporte de  $(U, m)$  e o conjunto  $\{x \in U \mid m(x) = 1\}$  é denominado conjunto agregado (*cluster*). A função  $m$  é chamada de função de pertença de um conjunto difuso  $(U, m)$  (Goguen, 1967).

### 3.4.2 Funções de pertinência

Uma função de pertinência é uma função numérica que atribui valores de pertinência difusa para valores discretos de uma variável no universo de discurso (Pal & Peters, 2010). Os conjuntos difusos são caracterizados por uma função de pertinência que associa a cada objeto um grau de pertinência, entre 0 e 1.

A única condição que uma função de pertinência deve realmente satisfazer é que deve variar entre 0 e 1. A função em si pode ser uma curva arbitrária, cuja forma podemos definir como uma função que nos convém do ponto de vista da simplicidade, conveniência, rapidez e eficiência. As funções de pertinência mais utilizadas ou aplicadas a sistemas difusos classificam-se em três tipos (Mathworks, 2018):

**Funções de pertinência lineares:** são as funções mais simples, compostas por linhas retas. Podem ser funções triangulares ou trapezoidais. A função triangular é a mais simples, composta por um conjunto de três pontos, conforme ilustrado na figura 8 e dada pela equação abaixo:

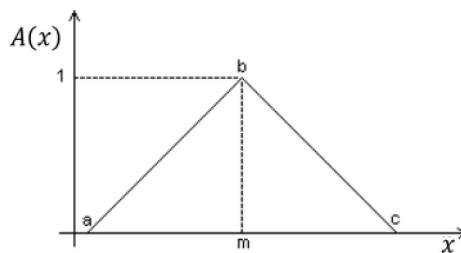


Figura 8 - Função de pertinência triangular  $A(x)$

$$A(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a \\ (x - a)/(m - a) & a < x \leq m \\ (b - x)/(b - m) & m < x \leq b \\ 0 & x > b \end{cases}$$

**Funções de pertinência gaussianas:** Devido à sua suavidade e notação concisa, as funções de pertinência gaussianas são populares para a especificação de conjuntos difusos. Neste caso, as funções curvas têm a vantagem de representar uma progressão

mais suave e não ser nulas em todos os pontos. Na figura 9 apresenta-se um exemplo de função gaussiana, dada pela equação abaixo:

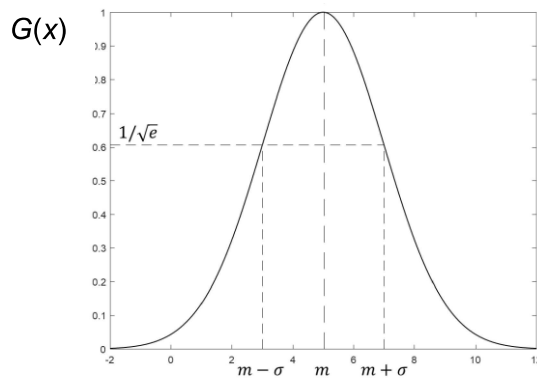


Figura 9 - Função de pertinência gaussiana  $G(x)$

$$G(x) = \exp \left[ \frac{-(x - m)^2}{2\sigma^2} \right]$$

**Funções de pertinência sigmóides:** utilização de curvas sigmóide como funções de pertinência tem a vantagem de estas poderem ser assimétricas, quando apresentam a forma simples de sigmóide, como exemplificado na figura 10, dada pela equação abaixo:

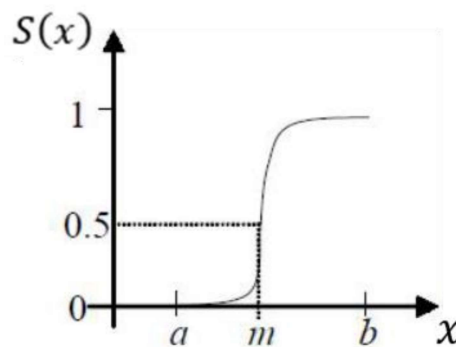


Figura 10 - Função de pertinência sigmóide  $S(x)$

$$S(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a \\ 2\{(x - a)/(b - a)\}^2 & a < x < m \\ 1 - 2\{(x - b)/(b - a)\}^2 & m < x < b \\ 1 & x \geq b \end{cases}$$

### 3.4.3 Regras de inferência

A modelação difusa de um sistema requer a sua representação com base num conjunto de regras suscetíveis de o descreverem. A esta coleção de regras dá-se o nome de base de regras.

As regras difusas são regras normais utilizadas para operar, de maneira correta, conjuntos difusos, com o objetivo de obter resultados consequentes. Para criar estas regras é necessário um raciocínio coerente com o que se deseja processar e o resultado a obter. Para isso, este raciocínio deve ser dividido em duas etapas:

1. avaliar o antecedente da regra (a premissa);
2. aplicar o resultado (consequente).

Estas regras são definidas da seguinte forma:

$$\textit{if} \underbrace{\textit{estado do sistema}}_{\textit{antecedente}} \textit{ then } \underbrace{\textit{saída do sistema}}_{\textit{consequente}}$$

A primeira parte da regra, a premissa, é habitualmente designada por antecedente e descreve o estado do sistema em termos da composição de proposições difusas, através de regras de conjunção ou disjunção.

A segunda parte, a conclusão, designa-se por consequente, e representa as saídas do sistema em resultado das condições da premissa.

A construção de uma base de regras para um modelo envolve, essencialmente:

- a escolha das variáveis linguísticas de entrada e saída do modelo;
- a seleção do formato das regras condicionais;
- a seleção dos termos associados a cada uma das variáveis linguísticas;
- e a síntese do conjunto de regras.

Conforme já referido anteriormente, a lógica difusa serve para encontrar soluções para problemas reais que podem ser considerados incertos, vagos, difíceis de expressar de uma forma precisa.

Para (McNeill & Thro, 1994), as regras de inferência são criadas com conhecimento empírico humano, conhecimento que é considerado fundamental para expressar a incerteza, a ambiguidade (Klir & Yuan, Fuzzy sets and fuzzy logic: theory and applications, 1995).

#### **3.4.4 Defuzzificação**

A fase de defuzzificação tem o objetivo de transformar um conjunto difuso num valor numérico – a resposta ou saída do sistema, ou seja, ocorre a transformação do estado da variável de saída difusa para um valor numérico.

De acordo com (Driankov, Hellendoorn, & Reinfrank, 1993) e (Harris, Moore, & Brown, 1993) existem diversos métodos de defuzzificação, de acordo com o objetivo a atingir.

Para (Leekwijck & Kerre, 1999), existem métodos gerais/ generalistas (um único *output* de saída) e métodos específicos (combinam diferentes etapas para obter um esquema mais eficiente para sistemas de controlo computacional) e métodos básicos ou estendidos (de acordo com o número de parâmetros utilizados no processo de defuzzificação).

Os autores (Leekwijck & Kerre, 1999) consideram que os métodos de defuzzificação podem ser classificados em três grupos: métodos de máxima e derivados, métodos de distribuição e derivados e métodos de área.

Os métodos máxima e derivados têm a propriedade comum de selecionar um elemento do agregado - *cluster* (conjunto de elementos com o maior grau de pertença, de um determinado conjunto difuso) como valor de defuzzificação. São métodos mais adequados a sistemas de raciocínio difuso (Fuller, 1995):

- *First of Maxima* (FOM): determina o menor valor do domínio com o maior grau de pertença;
- *Last of Maxima* (LOM): determina o maior valor do domínio com o maior grau de pertença;

- *Middle of Maxima* (MOM): determina a média dos valores do domínio com o maior grau de pertinência.

Já os métodos de distribuição e derivados são mais adequados a sistemas de controlo difuso, uma vez que exibem a propriedade de continuidade:

- *Fuzzy Mean* (FM): método básico de defuzzificação que pode ser visto como uma otimização do método COA, em que também calcula uma média ponderada, com a diferença que utiliza valores numéricos pré-calculados para cada um dos conjuntos difusos do universo de saída;
- *Quality Method* (QM): método cujo objetivo é aumentar a importância dos conjuntos fuzzy com maior peso.

Por fim, os métodos de área são métodos que utilizam a área sob a função de pertinência para determinar o valor defuzzificação. Tal como para os métodos de distribuição, este grupo é aplicável principalmente para sistemas de controlo difuso. Exemplos:

- *Center of Area* (COA): método que considera a saída do modelo calculando o centro de gravidade (ou centroide). Pode ser visto como uma média ponderada, onde  $m(x)$  atua como peso do valor  $x$ ;
- *Extended Center of Area* (ECOA): uma extensão do método COA que atribui maior importância a graus de pertinência mais elevados.

As referências bibliográficas fazem referência a outros métodos, incluídos e não incluídos nas categorias referidas anteriormente. No entanto, no presente documento, não serão referidos por se considerar que não representam relevância no âmbito da dissertação.

O método COA é um dos métodos mais utilizados na defuzzificação, uma vez que considera regiões difusas com valores de pertinência baixos durante o cálculo do valor de saída.

### 3.5 Exemplo de aplicação a um carro com pêndulo invertido

Consideremos um primeiro exemplo ilustrativo, bastante estudado na utilização da lógica difusa: o controlo de um carro onde está instalado um pêndulo invertido. O objetivo é manter o pêndulo estabilizado, podendo para isso mexer na posição do carro.

Para efeitos de simplificação pretende-se obter como *output* a corrente para movimentar o carro para a esquerda ou para a direita, considerando apenas 2 variáveis (*inputs*): o erro (diferença) face à posição “ideal”, em graus, e a velocidade angular, ómega, em graus/ segundo (adaptado de (Tizhoosh, 2019)).

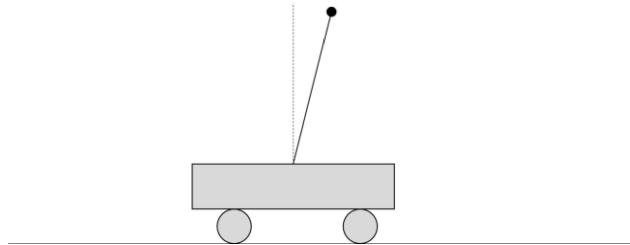


Figura 11 - Esquema do pêndulo invertido num carro (adaptado de (Tizhoosh, 2019))

Tendo em conta o sistema de inferência difusa de Mamdani, que vamos utilizar neste exemplo, começamos por fuzzificar o problema, definindo os conjuntos difusos das variáveis de entrada e de saída, bem como as respetivas funções de pertinência.

Neste exemplo foram definidas 5 funções de pertinência dentro do universo considerado. Para a variável de entrada Erro, o universo a considerar é um intervalo contínuo de  $-30^\circ$  a  $+30^\circ$ , dividido pelas funções de pertinência que (Tizhoosh, 2019) utilizou: *Negative Medium* (NM), *Negative Small* (NS), *Zero* (Z), *Positive Small* (PS) e *Positive Medium* (PS).

Para a variável Velocidade Angular, o universo é um intervalo contínuo entre  $-10^\circ/s$  e  $+10^\circ/s$ , dividido pelas mesmas funções de pertinência utilizadas para a variável de entrada anterior.

As figuras 12 e 13 mostram respetivamente as funções de pertinência das variáveis de entrada:

- erro (diferença) face à posição vertical (em graus);
- velocidade angular, ómega (em graus/ segundo).

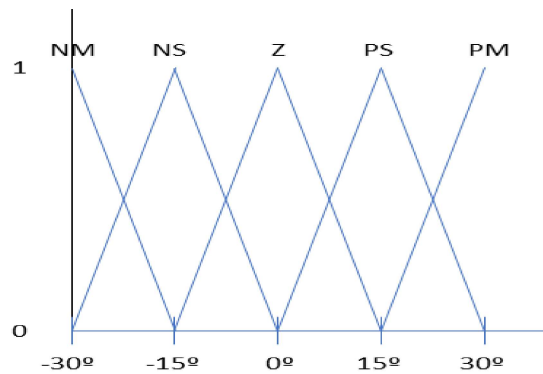


Figura 12 - Variável de entrada Erro (adaptado de (Tizhoosh, 2019))

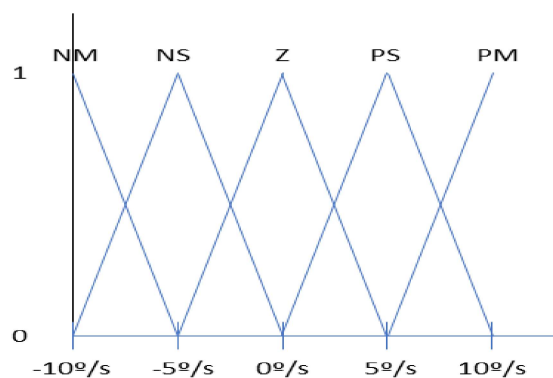


Figura 13 - Variável de entrada Omega (adaptado de (Tizhoosh, 2019))

Para a variável de saída (*output*), e para facilidade de exemplificação, (Tizhoosh, 2019) utilizou as mesmas 5 funções de pertinência das variáveis de entrada: *Negative Medium* (NM), *Negative Small* (NS), *Zero* (Z), *Positive Small* (PS) e *Positive Medium* (PS).

Neste caso, o universo é um intervalo contínuo entre -10 mA e + 10 mA, conforme esquematizado na figura 14:

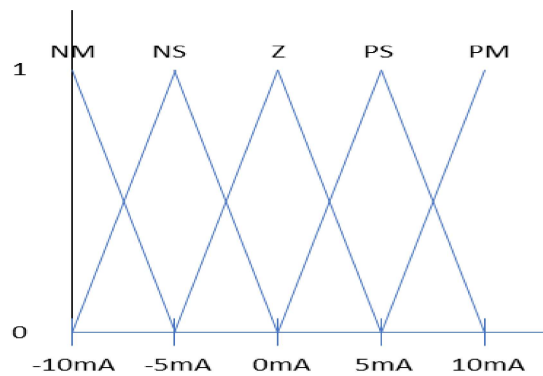


Figura 14 - Variável de saída Corrente (adaptado de (Tizhoosh, 2019))

O passo seguinte preconizado pelos sistemas de inferência difusos é conceber a base de regras. As regras difusas são regras utilizadas para operar, de maneira correta, conjuntos difusos, com o objetivo de obter resultados consequentes.

A tabela 7 mostra a base de regras para o exemplo utilizado, denominada por tabela de regras. Por uma questão de simplificação, neste exemplo simples, (Tizhoosh, 2019) optou por demonstrar as regras mais básicas. No entanto, a tabela está incompleta e para a implementação correta do sistema seria necessário definir a totalidade das regras a implementar.

Tabela 7 - Tabela de regras do sistema. Adaptado de (Tizhoosh, 2019)

Erro (°)	Omega (°/s)	Corrente (mA)
Z	Z	Z
Z	NM	PM
Z	PS	NS
PM	Z	NM
...	...	...

Conforme visto anteriormente, a tabela de regras é lida da seguinte forma:

**If** Erro = PM e Omega = Z, **then** Corrente = NM

Para mostrar o processo de defuzzificação, e tendo por base o exemplo dado, (Tizhoosh, 2019) recorreu a um problema simples com dados concretos.

Assim, dado um erro de posição do pêndulo de 27° positivos (diferença face à posição “base” do pêndulo) e uma velocidade angular do carro de 1.5°/s negativos, qual a corrente a aplicar para o pêndulo ficar equilibrado?

Neste caso concreto, as variáveis de entrada são Erro = 27° e Omega = -1.5°/s. As figuras 15 e 16 mostram as funções de pertinência ativadas pelas variáveis de entrada.

No caso da variável Erro, é possível ver na figura 15 que são ativadas duas funções de pertinência. Para a utilização dos sistemas de inferência difusa considera-se apenas uma. Neste exemplo, foi considerada a função de pertinência PM, pelo que o grau de pertinência do Erro = 27° é de 0.8.

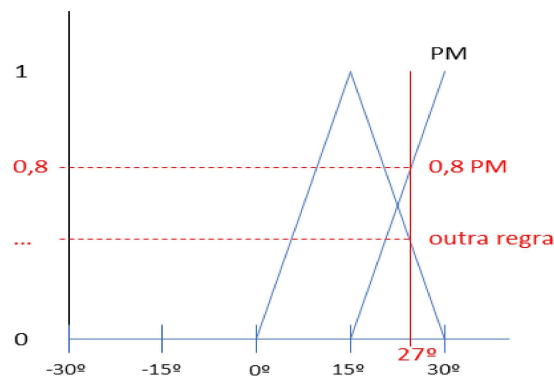


Figura 15 - Funções de pertinência ativadas e Grau de pertinência da variável de entrada Erro

No caso da variável Velocidade Angular, também são ativadas duas funções de pertinência. Seguindo a mesma lógica, considera-se apenas uma e, neste exemplo, foi considerada a função de pertinência Z, pelo que o grau de pertinência de Omega = -1.5°/s é de 0.7, conforme figura 16.

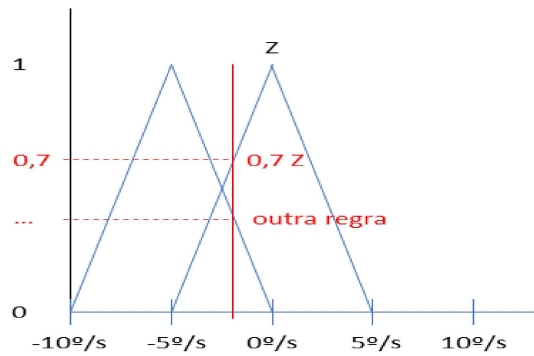


Figura 16 - Funções de pertinência ativadas e Grau de pertinência da variável de entrada Omega

O passo seguinte consiste em identificar a regra aplicável às variáveis de entrada. Neste caso, e de acordo com as regras:

**If** Erro = PM **and** Omega = Z, **then** Corrente = NM

Como a regra de operação é *and*, aplica-se o mínimo entre os valores obtidos:

$$\text{AND} = [\min (0.8;0.7) = 0.7]$$

Utilizando as funções de pertinência da variável corrente, e uma vez que de acordo com a regra a corrente é NM, vamos à função de pertinência NM da corrente e aplicamos o valor obtido anteriormente de 0.7.

Para defuzzificar, (Tizhoosh, 2019) utilizou a regra do centro de área, obtendo-se o valor para a corrente de 6.3 mA positivos, conforme indicado na figura 17:

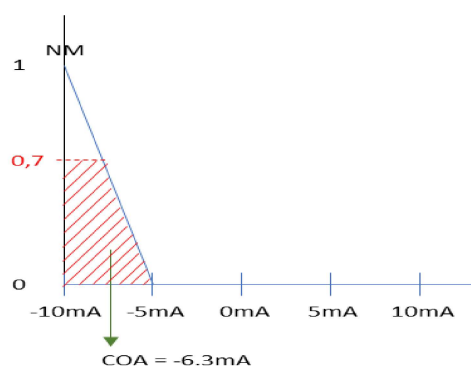


Figura 17 - Defuzzificação do problema pelo método do centro de massa (COA)

## 4. Modelo conceptual da aplicação da lógica difusa ao Procurement

Para responder à principal motivação deste trabalho, cujo objetivo é criar um modelo simples, intuitivo, que permita simplificar o processo de seleção de fornecedores, e que seja suficientemente flexível para ser aplicável transversalmente a todos os setores de atividade, neste capítulo desenvolve-se a proposta de modelo conceptual numa lógica de aplicação ao *procurement*, especialmente na área de serviços.

Como já vimos anteriormente, e apesar de a seleção e avaliação de fornecedores estar exaustivamente estudada e publicada, o seu enquadramento específico na área dos serviços (e na Banca em particular) não está particularmente estudada nem parece estar estandardizada.

A metodologia escolhida para a seleção e/ou avaliação de fornecedores deve ser flexível para lidar com a dinâmica do processo, suportando a inclusão/ exclusão de fornecedores e/ou critérios sem gerar incongruências/ incoerências nos resultados.

Inúmeros estudo e autores já utilizaram diversas metodologias para abordar processos de tomada de decisão, incluindo a seleção e avaliação de fornecedores. (Bellman & Zadeh, 1970) começaram por explorar a utilização da lógica difusa em processos de tomada de decisão.

Mas como se processa a lógica difusa em ferramentas de tomada de decisão? De acordo com (Chanamool & Naenna, 2016), a contribuição da lógica difusa nas metodologias de tomada de decisão engloba os seguintes aspetos:

- Apresenta flexibilidade na atribuição de classificações, sem que com isso influencie fortemente a decisão final;
- Apresenta uma grande tolerância a dados imprecisos e pouco mensuráveis;
- Baseia-se na linguagem natural, nomeadamente na linguagem comunicativa humana. É construída sobre estruturas qualitativas de linguagem humana, sendo por isso de fácil utilização;
- Permite quantificar matematicamente a incerteza humana na avaliação dos factos.

No entanto, em todos os modelos estudados e pesquisas efetuadas, os autores utilizam critérios fixos, previamente definidos, que depois serão utilizados genericamente em todos os processos.

O objetivo deste trabalho é tentar criar a base, um modelo conceptual, que seja flexível o suficiente para lidar:

- Com a ambiguidade da linguagem;
- Com a necessidade de avaliar 2, 4, 10 ou 50 critérios, sem tem que “refazer” o modelo sempre que queremos adaptar o número de critérios a avaliar.

#### **4.1 Modelo conceptual**

Com base nas premissas anteriores, e tendo em conta o objetivo proposto, conceptualmente, o modelo conceptual pressupõe quatro etapas, cuja representação gráfica pode ser observada na figura 18:

- **Definição dos critérios a utilizar:** tendo em conta o processo de compra/ consulta a realizar, o grupo de especialistas define quais os critérios a utilizar, bem como as escalas de avaliação e o peso de cada critério;
- **Processo de inferência difusa:** consiste na aplicação do modelo Mandami, com a fuzzificação, a inferência difusa e a respetiva defuzzificação dos resultados;
- **Agregação dos resultados por *ranking*:** obtenção do resultado final, de acordo com os rankings dos critérios definidos;
- **Decisão dos fornecedores a selecionar:** uma decisão da equipa de compras, com base nos resultados apurados.

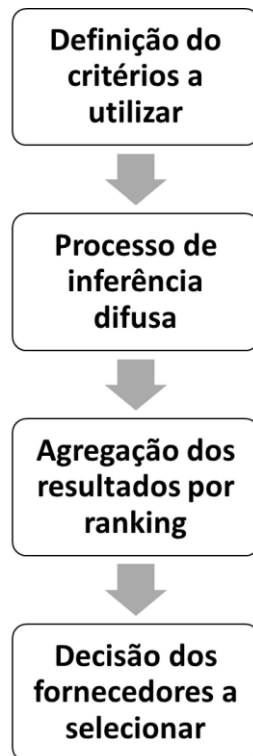


Figura 18 - Modelo conceitual de inferência difusa aplicado à seleção de fornecedores

#### **4.1.1 Definição dos critérios a utilizar**

Vimos anteriormente, no capítulo sobre a revisão da literatura, que os estudos de vários autores referem a existência de inúmeros fatores distintos como critérios para a decisão de seleção/ avaliação de fornecedores.

Os critérios, como por exemplo a Experiência, Qualidade, Assistência, entre outros, serão considerados os itens a avaliar neste modelo conceitual. Esta definição permite que a escolha/ seleção dos critérios possa ser flexível e adequada ao tipo de compra/ consulta ao mercado a realizar, não sendo por isso uma base fixa de critérios.

#### **4.1.2 Processo de Inferência Difusa**

Para avaliar cada item, e tendo em conta a lógica difusa, consideramos duas vertentes que serão as variáveis de entrada (*inputs*) a considerar – Relevância (ponderador/ peso)

e Avaliação, que se traduzirão numa variável de saída (*output*), a que chamamos *Score*<sup>10</sup>.

Para todas as variáveis, e tendo em conta o processo de fuzzificação, consideremos funções triangulares, uma vez que as funções de pertença triangulares apresentam uma grande simplicidade e proporcionam bons resultados (Kahraman, Tolga, & Ulukan, 1995), (Oliveira & Belchior, 2003), (Chang, Yao, & Ouyang, 2004).

Para o problema em questão definiram-se três funções de pertença. Para a variável Relevância, as funções são:

- NR: Não Relevante
- R: Relevante
- MR: Muito Relevante

Para a variável de entrada Avaliação as funções de pertença são:

- NS: Não Satisfaz
- S: Satisfaz
- SB: Satisfaz Bastante

Nas figuras 19 e 20 estão representadas as funções de pertença das variáveis de entrada Relevância (peso/ ponderador) e Avaliação, cujo universo de ambas é um intervalo contínuo entre 1 e 5.

---

<sup>10</sup> *Score*, palavra anglo-saxónica para definir um resultado numérico obtido.

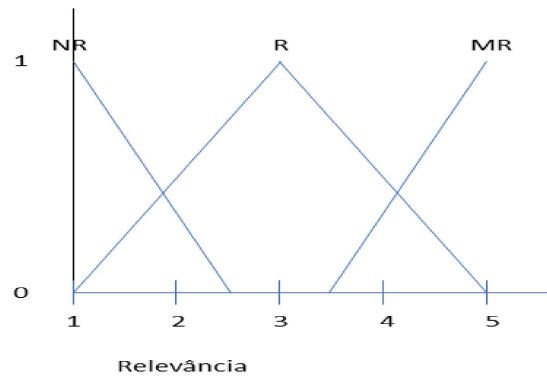


Figura 19 - Funções de pertinência da variável Relevância

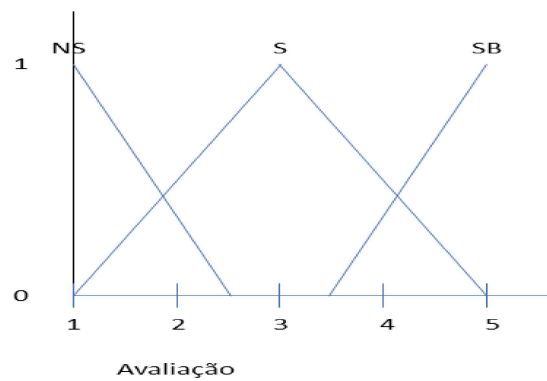


Figura 20 - Funções de pertinência da variável Avaliação

A avaliação de fornecedores ou de propostas de fornecedores contempla alguma subjetividade e informação qualitativa. Likert<sup>11</sup> propôs uma escala ordinal de cinco pontos – com um ponto médio para registo da manifestação de situação intermediária, de indiferença ou de nulidade – do tipo “excelente”, “bom”, “regular”, “mau” e “péssimo”. Este tipo de escala tem sido amplamente utilizado em questionários e pesquisas de opinião (também associadas a escalas que vão do discordo totalmente ao concordo totalmente).

As escalas Likert são populares por serem uma das formas mais fiáveis de medir opiniões, percepções e comportamentos. Comparadas às perguntas binárias, que têm

<sup>11</sup> Rensis Likert foi um professor de sociologia e psicologia e diretor do Instituto de Pesquisas Sociais de Michigan, que desenvolveu esta escala e publicou um estudo sobre a mesma.

apenas duas opções de resposta, as perguntas da escala de Likert oferecem um feedback mais detalhado sobre a avaliação, desde um simples "cumpre" até ao esperado "excelente".

É fácil para um avaliador avaliar em linguagem natural, atribuindo uma notação, contínua, entre 1 e 5. Permite igualmente escalar para vários avaliadores, utilizando-se a media das avaliações para obtenção do valor médio dos avaliadores.

Neste caso, e dos vários métodos para agregar as avaliações individuais definidos por (Buckley, 1984), neste trabalho utilizar-se-á a média de cada avaliador, dada pela equação:

$$\sum_{i=1}^n c_i / n,$$

em que  $i$  é o avaliador,  $n$  representa o total avaliadores e  $c$  o critério em avaliação.

O avaliador poderá utilizar uma escala de Likert, de 1 a 5 para classificar cada um dos atributos, contínua:

- **Relevância:** 1 (Não Relevante) a 5 (Muito Relevante)
- **Avaliação:** 1 (Não Satisfaz) a 5 (Satisfaz Bastante)

O *output* é o resultado de um processo de inferência difusa, que neste caso chamamos de Score, um número contínuo entre 1 e 5, fuzzificado através de 3 funções triangulares. A figura 21 mostra as funções de pertença para a variável de saída Score, que são:

- NC: Não cumpre
- C: Cumpre
- CT: Cumpre totalmente

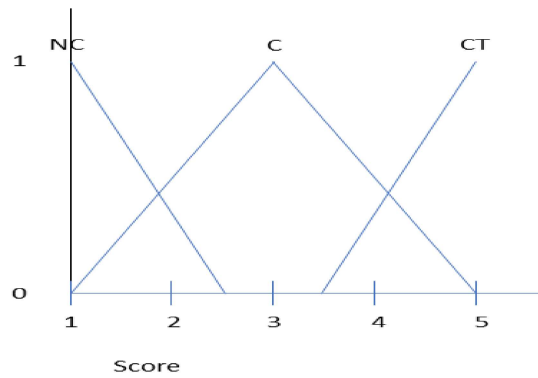


Figura 21 - Funções de pertinência da variável de saída Score

Nesta fase é necessário definir a Base de Regras. Para criar estas regras é necessário um raciocínio coerente com o que se deseja processar e o resultado a obter. As regras são normalmente definidas por especialistas e decorrem da experiência acumulada. Na tabela 8 são definidas todas as regras necessárias para este sistema de inferência difusa:

Tabela 8 - Regras de inferência fuzzy

	NR	R	MR
NS	NC	NC	C
S	C	C	C
SB	C	CT	CT

A tabela de regras é lida, a título de exemplo:

**“If Relevância = R and Avaliação = SB, then Score = CT”.**

### **4.1.3 Agregação dos resultados por ranking**

O processo de defuzzificação resulta num score por critério e por fornecedor. Para tornar o modelo flexível e fácil de aplicar aos diferentes processos de consulta, e tendo em conta que cada critério já se encontra ponderado pela relevância (ou peso do mesmo), opta-se por criar um ranking final com base no score final de cada critério, dada pela equação:

$$\sum_{i=1}^n S_i / n,$$

em que  $i$  é critério,  $n$  o total de critérios e  $S_i$  o Score em avaliação.

Para além de um ranking geral é possível os especialistas (grupo de avaliadores técnicos) definirem rankings por tipo de critério, podendo ter vários rankings de apoio à tomada de decisão.

### **4.1.4 Decisão dos fornecedores a seleccionar**

Por fim, a decisão final dos fornecedores a seleccionar cabe à equipa de compras, com base nos resultados apurados.

#### 4.1.5 Exemplo da aplicação do modelo a um processo com 1 avaliador e 1 critério

Para mais facilmente se perceber o modelo desenvolvido, analisemos um exemplo simples. Consideremos um processo de avaliação, com 1 avaliador e 1 critério de avaliação – por exemplo a experiência do fornecedor.

O avaliador classifica a experiência do fornecedor com 4 na escala de 1 a 5 (em que 1 é Não Relevante e 5 é Muito Relevante) e considera que a experiência que o fornecedor demonstra é satisfaz, com um 4 na escala de 1 a 5 (em que 1 é Não Satisfaz e 5 Satisfaz Bastante).

Procedendo-se à fuzzificação, verifica-se que a avaliação dos inputs corresponde a um grau de pertença de 0.4 nas funções de pertença Muito Relevante e Satisfaz Bastante nos inputs. As figuras 22 e 23 demonstram graficamente o processo:

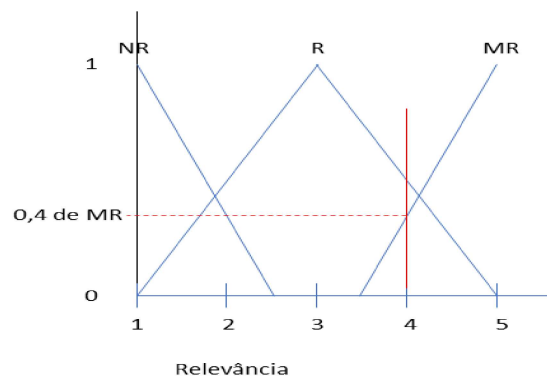


Figura 22 - Funções de pertinência ativadas e Grau de pertinência da variável de entrada Relevância

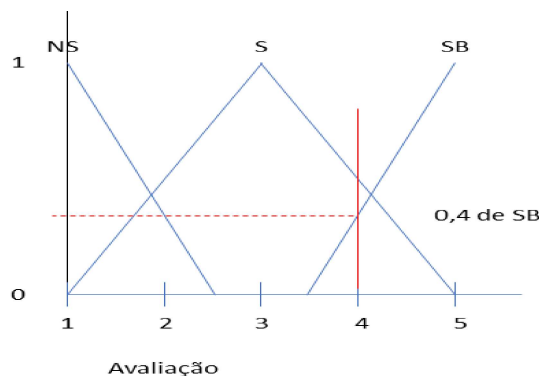


Figura 23 - Funções de pertinência ativadas e Grau de pertinência da variável de entrada Avaliação

Verificando a Tabela de Regras, é possível apurar que as funções Muito Relevante e Satisfaz Bastante correspondem à função Cumpre Totalmente no *output*. Então, aplica-se o princípio AND, pelo que o  $\text{Min}(0.4;0.4) = 0.4$  no *output*. Aplicando o grau de pertinência de 0.4 à função Cumpre Totalmente no Score obtém-se a seguinte área (figura 24):

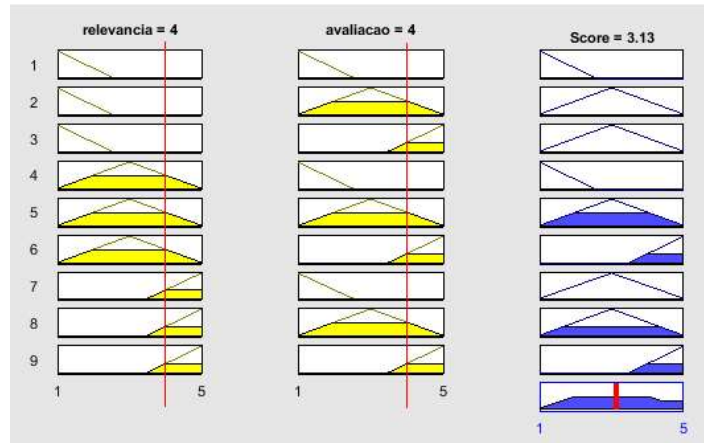


Figura 24 - Score com base nas regras

Utilizando o método Centro de Área para proceder à defuzzificação, obtém-se que o Score final deste fornecedor é de 3.13.

A ferramenta *toolbox do fuzzy logic* do programa Matlab permite ainda analisar/ mapear graficamente os resultados através de superfície (figura 25).

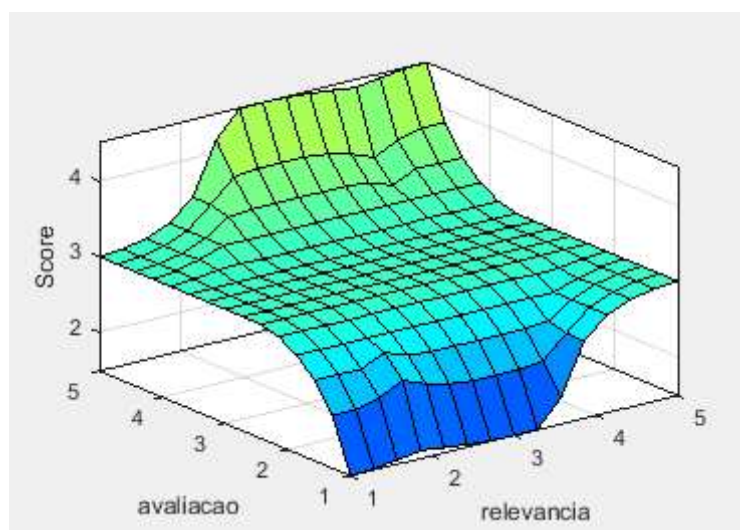


Figura 25 - Superfície do sistema de inferência

## 4.2 Caso de Estudo

### 4.2.1 Enquadramento

O *procurement*, e conseqüentemente a seleção de fornecedores, está pouco estudado na área dos serviços. O autor trabalha numa instituição bancária em Portugal, tendo nos últimos anos desenvolvido projetos no departamento que tem a área de *procurement* desta entidade.

Pretende-se então aplicar o modelo conceptual desenvolvido anteriormente e testar a sua viabilidade na área de compras de uma instituição bancária nacional. De modo a manter a privacidade do processo, dos intervenientes e de minimizar a divulgação de alguns aspetos organizacionais sensíveis, optou-se por não relevar o nome da entidade.

Começamos por caracterizar a empresa. A Entidade Bancária em questão tem uma forte presença no mercado nacional, com cerca de 1.4 milhões de clientes, aproximadamente 350 balcões, 20 centros de empresa e 4 500 colaboradores.

A Entidade está inteiramente dedicada à sociedade e comunidade portuguesa, ao partilhar conhecimento e provocando a reflexão em diversos "Summits" e "Roadshows" Regionais. Possuidora de uma extensa coleção de arte, realizou inúmeras parcerias onde expõe em permanência várias peças de arte em vários museus nacionais. O Banco apoia a sociedade com vários programas de mecenato social. Ainda ao nível da responsabilidade social, 88% das compras de produtos/serviços são realizadas a fornecedores nacionais.

O Banco define-se como orgulhosamente português, focado nas prioridades da economia nacional, apoiando famílias e empresas a alcançarem o sucesso; profissional, com uma longa experiência e comprometido com produtos, serviços e respostas que possam servir os negócios, as empresas, os seus profissionais e as suas famílias; próximo, assumindo a aposta num modelo omnicanal como pilar da relação com os clientes, para lhes proporcionar uma experiência de Banca conveniente, simples e sempre presente; e parceiro, promovendo um ecossistema de parcerias compatíveis com as necessidades de todos, assegurando a conveniência na satisfação das necessidades financeiras dos clientes.

Para isso, os valores desta entidade bancária são a colaboração, dinamismo, diversidade, transparência e empatia. Desenvolveu o compromisso de devolver à sociedade, através de um modelo de dividendo social assente em 4 eixos de atuação, dos quais se destacam os eixos:

- *Environment*: minimizar os impactos ambientais decorrentes da atividade; reduzir a pegada de CO<sub>2</sub>; aumentar a comunicação digital; aumentar a oferta de produtos/serviços sustentáveis;
- *Social responsibility*: apoiar a comunidade; apoiar o Mecenato Cultural; educar para a inclusão financeira.

Destacamos neste trabalho estes dois eixos, uma vez que o contributo e envolvimento dos fornecedores e partes relacionadas é fundamental para os atingir/ alcançar.

Na área dos serviços, nomeadamente na Banca, a área de *procurement*, não sendo uma área core do negócio, é uma área importante de suporte à atividade, contribuindo de forma muito particular na redução dos custos operativos (tendo em conta que os FST representam normalmente uma das maiores “fatias” dos custos operativos). A aquisição de bens e serviços tem um impacto significativo na Conta de Exploração das empresas, o que explica o crescente enfoque nas funções de *procurement* e a adoção das melhores práticas em termos de negociação por forma a maximizar-se a obtenção de ganhos que contribuem decisivamente para a boa performance das empresas.

Neste contexto foi criada uma Unidade Especializada de Negociação de Compras, que tem por missão, em perfeita articulação com os Gestores Técnicos/Entidades do Grupo, centralizar os processos de consulta e negociação das compras dessas mesmas entidades sempre que de tal estratégia resultem ganhos de eficiência inequívocos.

A Área de *Procurement* da entidade financeira em causa é responsável por todo o processo de *sourcing* do grupo empresarial, procurando a cada momento os melhores fornecedores e soluções que satisfaçam as necessidades da organização.

Num ambiente de mudança constante à escala do mercado nacional e global, é necessário as empresas estarem aptas a identificar, de forma rápida e eficaz, as melhores fontes de fornecimento e os melhores produtos/ serviços disponíveis no mercado para responder às necessidades específicas da atividade.

Assim, a entidade bancária criou o Portal de Fornecedores que permite, por iniciativa dos fornecedores e através do seu registo e certificação, a obtenção de informação relevante para o processo de consulta e posterior negociação.

Como suporte aos processos desenvolveram um portal de fornecedores, onde fornecedores e potenciais fornecedores se pré-qualificam, respondendo a um questionário e disponibilizando informação financeira, fiscal e comercial.

Esta equipa foi premiada em 2019, na 10ª edição dos EIPM Peter Kraljic Awards nas categorias de "Value Creation", "Transformation", "Talent Management", "Process Excellence", "Sustainability", além do reconhecimento do desempenho geral de "The Organisation of the Year".

O processo de *sourcing* compreende a identificação da necessidade e a elaboração de requisitos (pelo requisitante), a identificação e seleção de fornecedores, o processo de consulta ao mercado, a avaliação técnica de propostas, a negociação das mesmas e a aprovação/ adjudicação da proposta ao fornecedor selecionado.

Após uma análise cuidada da área de *procurement* do Banco, verificou-se a necessidade de dotar a área de ferramentas de apoio à atividade, substituindo o software utilizado, revendo processos e implementando projetos de reengenharia de processos.

Ao nível do software, os processos de *procurement* do Banco estavam maioritariamente suportados em ferramentas de produtividade Microsoft Office, nomeadamente Excel e Access para fichas de avaliação e bases de dados, Word e Powerpoint para cadernos de requisitos/ especificações e caderno de encargos/ apresentações e Outlook para troca de informação/ respostas/ esclarecimentos entre os clientes internos e os fornecedores.

O Banco apostou assim em novas e inovadoras ferramentas de suporte ao processo de *procurement*. A implementação de tecnologia que permite ajudar os negociadores a gerir os processos de *procurement*, desde a identificação de necessidades pelos sponsors/ órgãos gestores, passando pelo processo de pesquisa e qualificação de fornecedores, consulta ao mercado (*Request For Information* - RFI/ *Request For Proposal* - RFP/ *Request For Quotation* - RFQ), receção de propostas/ análise e

avaliação de propostas, negociação das mesmas e culminando na contratação (com a passagem para ferramentas de gestão do ciclo de vida dos contratos, conforme ilustrado na figura 26).

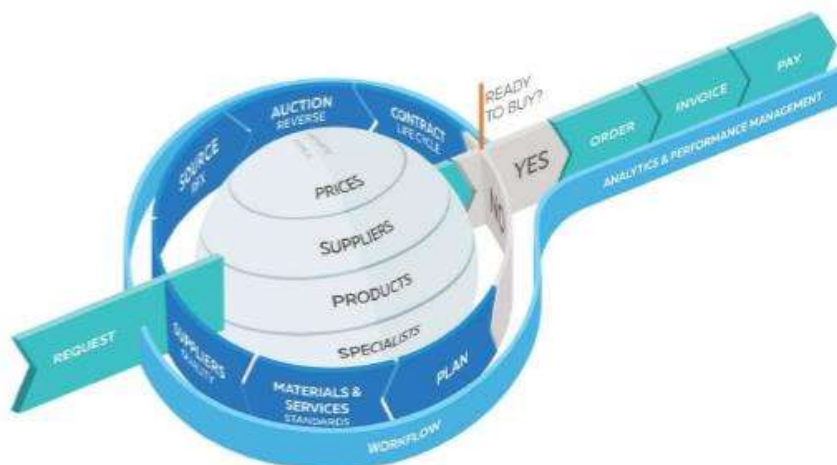


Figura 26 - Ciclo de vida do *Procurement* (adaptado de Mercado Eletrônico)

#### 4.2.2 Aplicação prática real

Para efeitos de aplicação a um caso prático real, no presente caso de estudo será abordado o processo de seleção de fornecedores num determinado processo de consulta que o Banco efetuou.

Como forma de avaliar as vantagens e desvantagens do modelo, e para se poder comparar o processo anterior com o proposto, a equipa de *procurement* do Banco, em conjunto com os avaliadores, realizou o processo pelas duas metodologias: a que é normalmente utilizada no Banco e a proposta nesta dissertação.

Como suporte ao processo de avaliação técnica de propostas e seleção de fornecedores para *shortlist*<sup>12</sup>, atualmente o Banco utiliza um formulário desenvolvido em Excel, em conjunto com os especialistas técnicos, para avaliar as propostas técnicas e comerciais submetidas pelos fornecedores.

A construção deste documento não é um processo fácil. Inicia-se pela definição das grandes categorias a avaliar e pela atribuição de percentagens a cada uma das categorias. De seguida a equipa define os itens a avaliar, bem como quais as percentagens de ponderação a atribuir a cada. É um processo difícil, com a discussão sobre se um item deve ser ponderado a 10% e outro a 12% muito subjetiva. O processo/avaliação torna-se subjetiva e difícil de avaliar.

Na figura 27 exemplifica-se um *template* de Excel, que serve de base a um processo de avaliação de propostas de fornecedores.

Decisão para Consulta ao Mercado: Equipamentos AVAC

Versão: 1

Data: 12/09/2021

Informação Geral								
Projeto:			Preparado por:					
Equipa:			Responsável da Decisão:					
Documentos:			Tipo da Decisão:		Selecionar que comprar			
Alternativa	Descrição e Pontos Fortes	Pontos Fracos					Riscos	
Emp. A								
Emp. B								
Emp. C								
Emp. D								
Emp. E								
Categoria	Critério	Peso	Emp. A	Emp. B	Emp. C	Emp. D	Emp. E	Comentários
Equipamento	Qualidade do equipamento	20%						
	Prazo de Entrega	20%						
Fornecedor	Assistência Técnica	20%						
Proposta	Preço	40%						
Avaliação: <span style="display: inline-block; width: 100px; height: 15px; background-color: #92d050; border: 1px solid black;"></span>								
Alternativa seleccionada:								
Motivo da decisão:								
Aprovado por:								
Data:								

\*\* Critérios de Avaliação: 1 - Fraco / Baixa /Sem informação a 5 - Excelente / Alto \*\*

Figura 27 - Exemplo de um ficheiro de suporte à avaliação atual de propostas de fornecedores

<sup>12</sup> O termo anglo-saxónico *shortlist* é amplamente utilizado em Portugal, e pode ser traduzido como lista restrita ou selecionada para determinado processo, de um conjunto mais alargado de opções.

Propôs-se então à entidade bancária efetuar a aplicação prática do modelo conceptual desenvolvido para responder a um processo real de consulta ao mercado.

No âmbito da renovação dos equipamentos de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC) de alguns balcões da entidade bancária, a área de *procurement* pretende seleccionar um conjunto de fornecedores a considerar para uma *shortlist*, após a consulta inicial ao mercado.

A função elementar de um sistema AVAC é criar conforto. Os equipamentos e/ ou sistemas AVAC permitem controlar a temperatura, a humidade, a ventilação e a qualidade do ar no interior dos edifícios.

Este controlo é fundamental nos edifícios, tanto residenciais como de serviços, dado que cada vez é maior a permanência das pessoas no interior dos edifícios. Estes sistemas são fundamentais para o bem-estar dos colaboradores e clientes, promovendo o conforto, com relação direta com a produtividade dos colaboradores, na qualidade do ar interior, bem como nos custos associados ao seu funcionamento (energia, manutenção, entre outros).

Os fornecedores apresentaram as suas propostas comerciais e técnicas, com a descrição dos equipamentos e serviços propostos.

De acordo com os estudos e tendo já a equipa de especialistas técnicos reunido, foram definidos os seguintes critérios para avaliação das propostas:

- Qualidade do Equipamento;
- Preço;
- Prazo de Entrega;
- Assistência Técnica.

Com base na experiência de elementos da área de compras e da equipa de engenheiros responsável pela gestão dos edifícios e património, foram definidas as seguintes escalas/ notações (tabela 9):

Tabela 9 - Escalas de notação dos critérios a avaliar

<b>Critério</b>	<b>Relevância</b>	<b>Avaliação</b>
Qualidade do Equipamento	Relevante (4.5)	COP 3.60 (5) a 2.40 (1)
Preço	Muito Relevante (5)	€10 000 (5) a €50 000 (1)
Prazo de Entrega	Revelante (4)	15 (5) a 60 (1) dias
Assistência Técnica	Relevante (3.5)	4h (5) a 12h (1)

Da realização deste trabalho inicial com o grupo de especialistas resultou um feedback muito positivo. Este grupo considerou que foi bastante mais fácil definir os intervalos de avaliação da forma preconizada pelo modelo, em vez de discutirem percentagens de critérios de avaliação.

Salientaram igualmente a flexibilidade do modelo, com a definição de relevância item a item, processo a processo, bem como as escalas de avaliação. Os cálculos também se tornam mais simples por não terem que ser desenvolvidas formulas específicas em Excel para cada processo específico.

As propostas dos fornecedores foram resumidas na tabela 10:

Tabela 10 - Resumo das propostas dos fornecedores a avaliar

<b>Critério</b>	<b>Fornec. 1</b>	<b>Fornec. 2</b>	<b>Fornec. 3</b>	<b>Fornec. 4</b>	<b>Fornec. 5</b>
C1 - Qualidade	3.55	3.48	3.30	3.50	3.35
C2 - Preço	€37 575	€29 000	€23 500	€30 000	26 250
C3 - Prazo	30 dias	45 dias	35 dias	30 dias	40 dias
C4 - Assistência	10h	8h	5h	6h	11h

Os valores resumidos na tabela anterior foram introduzidos no sistema de inferência desenvolvido, tendo sido obtidas as pontuações finais para cada critério por fornecedor.

A figura 28 mostra a representação do processo de inferência difusa para o fornecedor 1 e critério C1 - Qualidade. Nessa figura, cada linha representa uma regra de decisão deste sistema.

As duas primeiras colunas à esquerda mostram as variáveis de entrada e respectivos termos linguísticos, enquanto a terceira coluna mostra a variável de saída. Nas imagens, o amarelo representa os conjuntos difusos “ativados” pelas avaliações/ atributos atribuídos ao critério 1. A azul, na última coluna, estão representados os conjuntos difusos gerados por cada regra ativada.

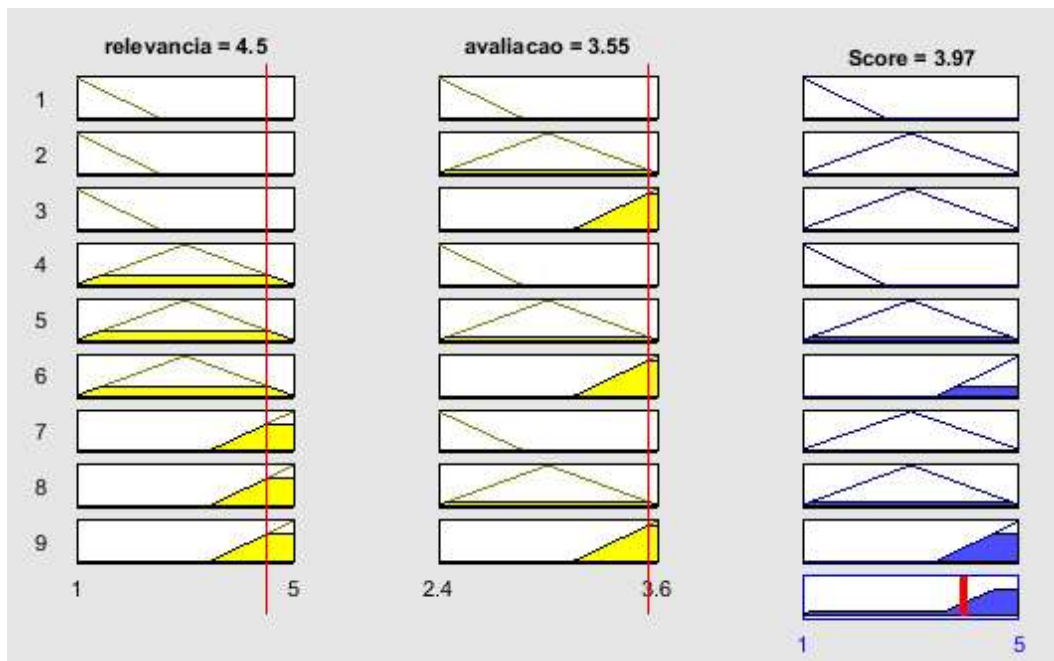


Figura 28 - Sistema de inferência difusa para o fornecedor 1 - Critério 1

Após o processo de inferência difusa, é obtido um score por fornecedor e por critério, cujos resultados estão vertidos na tabela 11:

Tabela 11 - Score de saída por critério e por fornecedor

<b>Critério</b>	<b>Fornec. 1</b>	<b>Fornec. 2</b>	<b>Fornec. 3</b>	<b>Fornec. 4</b>	<b>Fornec. 5</b>
C1 - Qualidade	3.97	3.61	3.13	3.69	3.23
C2 - Preço	2.96	3.00	3.01	3.00	3.00
C3 - Prazo	3.02	2.98	3.00	3.02	3.00
C4 - Assistência	2.87	3.00	3.52	3.13	2.48

Na posse dos resultados de cada critério, e tendo em conta que o objetivo é ter um ranking ordenado de fornecedores, é necessário fazer a agregação dos resultados. Assim, o score final agregado ( $S_F$ ) é obtido pela aplicação da equação seguinte:

$$S_F = \sum_{i=1}^n \frac{c_i}{n}$$

em que  $c_i$  é o valor obtido na defuzzificação de cada critério e  $n$  o número de critérios.

A tabela 12 resume os scores finais de cada fornecedor.

Tabela 12 - Resumo dos scores finais de cada fornecedor

<b>Score</b>	<b>Fornec. 1</b>	<b>Fornec. 2</b>	<b>Fornec. 3</b>	<b>Fornec. 4</b>	<b>Fornec. 5</b>
<b>Score Final</b>	3.205	2.993	3.165	3.210	2.928

No anexo 1 são apresentados alguns resultados das variáveis (difusas e numéricas) envolvidas para todos os critérios e fornecedores.

O ranking final, baseado na agregação dos quatro critérios em análise, permitiu identificar o fornecedor 4 como o melhor fornecedor do conjunto. No entanto, uma vez que o modelo permite ter os valores por fornecedor e por critério, é possível aos

decisores/ especialistas avaliar individualmente cada critério, bem como fazer agregações diferentes, se a situação em análise o exigir.

Para avaliar a implementação do novo processo é necessário perceber o impacto do mesmo na forma de trabalhar da área de procurement do Banco, efetuando uma análise de resultados.

Este caso de estudo permitiu avaliar cinco fornecedores com base em quatro critérios previamente definidos por um painel de especialistas. A flexibilidade do modelo permite avaliar n fornecedores com base em m critérios, tornando o modelo bastante dinâmico, intuitivo e fácil de parametrizar, sendo flexível para aplicar a qualquer tipo de processo de seleção de fornecedores.

A utilização de escalas definidas com base em características reais dos equipamentos, contínuas, permitem tornar a avaliação quantitativa mais eficaz, menos propensa à opinião do avaliador, tornando o processo mais rigoroso.

Para a aplicação do modelo em contexto real, o Banco efetuou primeiramente o processo como está definido. O grupo de especialistas, constituídos por elementos da área de compras e da equipa de engenheiros responsável pela gestão dos edifícios e património, começou por elaborar o ficheiro, em Excel, de suporte à decisão.

Como sempre fizeram, utilizaram uma escala de avaliação de 1 a 5, do estilo Likert, em que 1 representa “Fraco / Baixa / Sem informação” até 5, que representa “Excelente / Alto”. A atribuição de percentagens a cada um dos critérios gerou alguma discussão. Após cerca de 1h30 de discussão, o grupo decidiu que o critério preço era muito relevante e que os restantes critérios eram relevantes, tendo aplicado as percentagens que podem ser vistas na Figura 27, na página 61.

Com a receção das propostas pelos fornecedores, e depois de resumida a informação prestada por cada um dos 5 concorrentes, o grupo voltou a reunir-se para efetuar avaliação de cada um dos itens, de acordo com a escala que criaram. Nesta sessão de trabalho, que durou cerca de 2h, o grupo teve alguma dificuldade em atribuir notações, uma vez que não existe uma escala de correspondência direta entre a escala de Likert definida e as respostas de cada fornecedor. A atribuição de classificação foi então efetuada com base na análise comparativa de propostas, em que a melhor característica

das propostas dos vários fornecedores recebia nota máxima e as restantes eram ponderadas com esta.

Esta estratégia motivou bastantes discussões e diferentes pontos de vista, consumindo tempo de vários colaboradores do Banco.

Posteriormente, o mesmo grupo foi desafiado a efetuar esta mesma avaliação, aplicando o modelo desenvolvido. Foi notória a maior facilidade em definir os intervalos de avaliação da forma preconizada pelo modelo, em vez de discutirem percentagens de critérios de avaliação.

As escalas de avaliação permitiram avaliar, com rigor, os critérios propostos, com base numa escala estudada, fixa, ao invés de avaliar através do melhor critério.

O tempo consumido com cada metodologia também foi importante na avaliação do modelo. No processo atual a equipa demorou aproximadamente 3h30 com o processo (1h30 na discussão de atribuição de percentagens e 2h na atribuição de notações), enquanto que pelo modelo proposto o processo consumiu 40 min do início ao fim.

No fim, e comparados os tempos dedicados pelas equipas nas duas formas de avaliação e seleção de fornecedores, a aplicação do modelo neste caso concreto permitiu reduzir em 55% o tempo consumido com o processo de seleção dos fornecedores.

## 5. Considerações finais e trabalhos futuros

A gestão de fornecedores é uma atividade crítica que tem um forte impacto sobre a sustentabilidade das organizações. Dentro da gestão de fornecedores, o processo de seleção e avaliação de fornecedores é ainda um processo maioritariamente efetuado com esforço humano, extremamente manual, em que as decisões estão dependentes da decisão humana, num contexto caracterizado por incerteza e ambiguidade. A lógica difusa, nomeadamente a introdução/ aplicação de sistemas de inferência difusa, podem mudar o paradigma do problema.

A introdução de ferramentas computacionais no processo de seleção e avaliação de fornecedores pode contribuir, de forma decisiva, para melhorar o processo de tomada de decisão e contribuir para a melhoria da gestão e do desenvolvimento de fornecedores.

No âmbito desta dissertação, foram estudados em profundidade os conceitos relacionados com *procurement*, uma das componentes da gestão logística, e mais especificamente sobre *sourcing*, com incidência na seleção e avaliação de fornecedores, com o objetivo de enquadrar o tema no documento.

Posteriormente, o trabalho focou-se, de uma forma mais genérica no processo de tomada de decisão, com a abordagem de vários modelos, e especificamente na tomada de decisão aplicada à seleção e avaliação de fornecedores, com o objetivo de identificar e selecionar o modelo a utilizar para aplicação prática.

Com base nas premissas sobre as várias metodologias de suporte à tomada de decisão, e tendo em conta as vantagens e desvantagens dos métodos utilizados para a seleção e avaliação de fornecedores, optou-se por uma abordagem em lógica difusa.

Foram então descritos em detalhe o conceito e definição da teoria da lógica difusa, explicado o funcionamento dos sistemas de inferência difusa, terminando com a sua aplicação prática.

Apesar de a originalidade de um problema não ser um requisito numa dissertação de mestrado, tendo em conta que a avaliação de fornecedores estar exaustivamente

estudada e publicada, o enquadramento específico na área dos serviços (e na Banca em particular) não está devidamente estudado nem estandardizado.

Assim tentou-se criar um modelo conceptual que permite, através da sua aplicação, tornar o processo de seleção de fornecedores mais flexível, dinâmico, fácil de utilizar por empresas do setor dos serviços, sem necessidade de programação ou criação de regras específicas em cada consulta que se quer lançar no mercado.

A principal vantagem de se utilizar lógica difusa deve-se à sua capacidade de lidar com incertezas, a raciocínios aproximados, conceitos vagos e ambíguos, o que não é possível com as lógicas clássicas.

Quando comparada com outros estudos da literatura, a abordagem proposta apresenta vantagens como a capacidade de avaliação simultânea de um número ilimitado de fornecedores; a possibilidade de modelar todos os cenários de decisão possíveis através das regras de decisão; a quantificação da incerteza das informações por meio da representação e do processamento de valores em formato linguístico.

A implementação do modelo proposto, com a flexibilidade que introduz, permite avaliar  $n$  fornecedores com base em  $m$  critérios, o que torna o modelo bastante dinâmico, intuitivo e fácil de parametrizar, sendo flexível para aplicar a qualquer tipo de processo de seleção de fornecedores.

Também a utilização de escalas definidas com base em características reais dos equipamentos ou dos serviços a contratar, permitem tornar a avaliação quantitativa mais eficaz, menos propensa à opinião do avaliador, o que torna o processo mais rigoroso.

A aplicação do modelo num caso concreto num Banco nacional permitiu reduzir em 55% o tempo consumido com o processo de seleção dos fornecedores.

Como proposta de trabalhos futuros, seria interessante perceber como integrar o modelo desenvolvido com ferramentas de *data mining*, utilizando cada vez mais dados para refinar o modelo e comparar os diferentes critérios.

A utilização de sistemas de inteligência artificial permitirá às organizações explorar os dados, permitindo aos peritos definir/ refinar os critérios, deixando as máquinas processar os dados, sem intervenção humana.

A integração dos dados permitirá posteriormente desenvolver um sistema de avaliação de fornecedores, também baseado em lógica difusa, igualmente uma proposta de trabalho futuro.

## Referências Bibliográficas

- Ahlawat, N., Gautam, A., & Sharma, N. (2014). Use of logic gates to make edge avoider robot. *International Journal of Information & Computation Technology*, 4 (6), 629-632.
- Aksoy, A., & Öztürk, N. (2011). Supplier selection and performance evaluation in just-in-time production environments. *Expert Systems with Applications*, 38 (5), 6351-6359.
- Araújo, M. C., Alencar, L. H., & Mota, C. (2017). Project procurement management: A structured literature review. *International Journal of Project Management*, 35 (3), 353-377.
- Barnard, C. I. (1966). *The Functions of the Executive*. Cambridge: Harvard University Press.
- Bazerman, M. H. (2004). *Processo Decisório: para cursos de Administração, Economia e MBAs*. Rio de Janeiro: Elsevier.
- Bellman, R. E., & Zadeh, L. A. (1970). Decision-making in a fuzzy environment management. *Management Science*, 17 (4), 141-164.
- Bello, M. (2003). A case study approach to the supplier selection process. University of Puerto Rico.
- Black, M. (1937). Vagueness. An Exercise in Logical Analysis, 4 (4). *Philosophy of Science*, 427-455.
- Botelho, L. M. (Abril de 2017). Tecnologia para Sistemas Inteligentes - Apontamentos para as aulas sobre Representação e Raciocínio com Conceitos Imprecisos: Sistemas de Regras Baseadas na Lógica Vaga. Lisboa: Departamento de Ciências e Tecnologias da Informação do ISCTE-IUL.
- Buckley, J. J. (1984). The multiple judge, multiple criteria ranking problem: A fuzzy set approach. *Fuzzy Sets and Systems*, 13 (1), 25-37.

- Cassarro, A. (1995). *Sistema de informações para tomada de decisões*. São Paulo: Pioneira.
- Chai, J., Liu, J. N., & Ngai, E. W. (2013). Application of decision-making techniques in supplier selection: A systematic review of literature. *Expert Systems with Applications*, 40 (10), 3872-3885.
- Chan, F., & Kumar, N. (2007). Global supplier development considering risk factors using fuzzy extended AHP-based approach. *Omega*, 35 (4), 417-431.
- Chanamool, N., & Naenna, T. (2016). Fuzzy FMEA Application to Improve Decision-Making Process in an Emergency Department. *Applied Soft Computing Journal*, 43, 441-453.
- Chang, H.-C., Yao, J.-S., & Ouyang, L.-Y. (2004). Fuzzy Mixture Inventory Model with Variable Lead-Time Based on Probabilistic Fuzzy Set and Triangular Fuzzy Number. *Mathematical and Computer Modelling*, 39 (2-3), 287-304.
- Cheraghi, S., Dadashzadeh, M., & Subramanian, M. (2001). Critical Success factors For Supplier Selection: An Update. *Journal of Applied Business Research*, 20 (2), 91-108.
- Chiavenato, I. (1979). *Teoria Geral da Administração, 2ª edição*. São Paulo: McGraw-Hill.
- Chiavenato, I. (2005). *Administração nos Novos Tempos, 2ª edição*. Rio de Janeiro: Campus.
- Christopher, M. (2011). *Logistics and Supply Chain Management, fourth edition*. London: Prentice Hall.
- De Boer, L., Labro, E., & Morlacchi, P. (2001). A review of methods supporting supplier selection. *European Journal of Purchasing and Supply Management*, 7 (2), 75-89.
- Dearlove, D. (2000). *Decisões – Chave de Gestão*. Lisboa: Publicações Dom Quixote.

- Degraeve, Z., Labro, E., & Roodhooft, F. (2000). An evaluation of supplier selection methods from a total cost of ownership perspective. *European Journal of Operational Research*, 125 (1), 34-58.
- Desseler, G. (2001). *Manangement: Leading People and Organization in the 21st Centry, 2nd Edition*. New Jersey: Prentice –Hall.
- Dewitt, W., Keebler, J., Mentzer, J., Min, S., Nix, N., Smith, C., & Zacharia, Z. (2001). Defining Supply Chain Management. *Journal of Business Logistics*, 22 (2), 1-25.
- Dickson, G. W. (1996). An Analysis Of Vendor Selection Systems And Decisions. *Journal of Purchasing*, 2 (1), 5-20.
- Dingle, N. (2011). *Artificial intelligence: fuzzy logic explained*. Obtido em 21 de jun de 2021, de Control Engineer: <http://www.https://www.controleng.com/articles/artificial-intelligence-fuzzy-logic-explained>
- Dornier, P., Ernst, R., Fender, M., & Kouvelis, P. (1998). *Global Operations and Logistics: Text and Cases*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Driankov, D., Hellendoorn, H., & Reinfrank, M. (1993). *An Introduction to Fuzzy Control*. Berlin: Springer-Verlag.
- Ellram, L. M. (1990). The supplier selection decision in strategic partnerships. *Journal of Purchasing and Materials Management*, 26 (4), 8-14.
- Fugate, B. S., Mentzer, J. T., & Stank, T. P. (2010). Logistics Performance: Efficiency, Effectiveness, and Differentiation. *Journal of Business Logistics*, 31 (1), 43-61.
- Fuller, R. (1995). *Neural fuzzy systems. Abo: Abo Akademi University, ESF Series, 1995*. Turku: Abo Akademi University.
- Gallab, M., Bouloiz, H., Alaoui, Y. L., & Tkiouat, M. (2019). Risk Assessment of Maintenance activities using Fuzzy Logic. *Procedia Computer Science*, 148, 226-235.

- Goguen, J. (1967). L-fuzzy sets. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 18 (1), 145–174.
- Goldschmidt, R. R. (2010). *Uma Introdução à Inteligência Computacional: fundamentos, ferramentas e aplicações*. Rio de Janeiro: IST-Rio.
- Harris, C. J., Moore, C. G., & Brown, M. (1993). *Intelligent Control - Aspects of Fuzzy Logic and Neural Nets*. Singapura: World Scientific Publishing.
- Hartmann, E., Ritter, T., & Gemuenden, H. G. (2001). Determining the Purchase Situation: Cornerstone of Supplier Relationship Management. *Paper presented at 17th Annual IMP Conference at the Norwegian School of Management BI*. Oslo.
- 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*, v. 202, 16-24.
- Hsu, C. W., Kuo, R. J., & Chiou, C. Y. (2014). A multi-criteria decision-making approach for evaluating carbon performance of suppliers in the electronics industry. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 11 (3), 775-784.
- Humphreys, P., Y.K., W., & F, C. (2003). Integrating environmental criteria into the supplier selection process. *Journal of Materials Processing Technology*, 138 (1-3), 349-356.
- Hwang, C.-L., & Yoon, K. (1981). *Multiple Attribute Decision Making – Methods and Applications. A State-of-the-Art Survey*. Berlin – Heidelberg – New York: Springer.
- Kahraman, C., Tolga, E., & Ulukan, Z. (1995). Using triangular fuzzy numbers in the tests of control charts for unnatural patterns. *Proceedings 1995 INRIA/IEEE Symposium on Emerging Technologies and Factory Automation. ETFA'95* (pp. 291-298). Paris: IEEE.

- Karimi, H., & Rezaeinia, A. (2014). Supplier selection using revised multi-segment goal programming model. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 70 (5), 1227-1234.
- Klir, G. J., & Yuan, B. (1995). *Fuzzy sets and fuzzy logic: theory and applications*. New Jersey: Prentice Hall, Inc.
- Klir, G. J., & Yuan, B. (1996). *Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, and Fuzzy Systems: Selected Papers by Lotfi A. Zadeh*. World Scientific Publishing.
- Laffont, J. J., & Tirole, J. (1993). *A Theory of Incentives in Procurement and Regulation*. MIT Press.
- Lee, C. C. (1990). Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller - Part I. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 20 (2), 404-418.
- Leekwijck, W. V., & Kerre, E. E. (1999). Defuzzification: criteria and classification. *Fuzzy Sets and Systems*, 108 (2), 159-178.
- Luthans, F. (1998). *Organizational Behavior, 8th edition*. Singapore: McGraw-Hill.
- Mamdani, E. H. (1974). Application of Fuzzy Algorithms for Control of Simple Dynamic Plant. *Proceedings of the Institution of Electrical Engineers*, 121 (12), 1585-1588.
- Mamdani, E., & Assilian, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International Journal of Man-Machine Studies*, 7 (1), 1-13.
- Mathworks. (2018). *Fuzzy Logic Toolbox™ User's Guide*. Natick, MA: MathWorks, Inc.
- McIvor, R., Humphreys, P., & McAlleer, E. (1997). The evolution of the purchasing function. *Strategic Change*, 6(3), 165-179.
- McNeill, F. M., & Thro, E. (1994). *Fuzzy logic a practical approach*. Boston: AP Professional.

- Mintzberg, H. (2010). *Estrutura e Dinâmica das Organizações, 4ª edição*. Lisboa: Publicações Dom Quixote.
- Monczka, R. M., Handfield, R. B., Giunipero, L. C., & Patterson, J. L. (2009). *Purchasing and supply chain management, 4th edition*. Mason, Ohio: South-Western.
- Mortari, C. A. (2017). *Introdução à lógica, 2ª edição*. São Paulo: Editora Unesp.
- Nydick, R., & Hill, R. (1992). Using the analytic hierarchy process to structure the supplier selection procedure. *International Journal of Purchasing and Materials Management*, 28 (2), 31-36.
- Oliveira, K. R., & Belchior, A. D. (2003). Adequas: ferramenta fuzzy para avaliação da qualidade de software. *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DE SOFTWARE (SBQS)* (pp. 257-269). Fortaleza: Sociedade Brasileira de Computação.
- Pal, O., Gupta, A., & Garg, R. (2013). Supplier selection criteria and methods in supply chains: A review. *International Journal of Social, Management, Economics and Business Engineering*, 7 (10), 1403-1409.
- Pal, S. K., & Peters, J. F. (2010). *Rough Fuzzy Image Analysis: Foundations*. Boca Raton, Florida: CRC Press, Inc.
- Park, J., Shin, D., & Chang, T. W. (2010). An integrative framework for supplier relationship management. *Industrial Management & Data System*, 110 (4), 495-515.
- Pimor, Y., & Fender, M. (2008). *Logistique: Production, Distribution et Soutien*. Paris: Dunod.
- Rezaei, J., & Ortt, R. (2013). Multi-criteria supplier segmentation using a fuzzy preference relations based AHP. *European Journal of Operational Research*, 225 (1), 75-84.

- Roghanian, E., & Mojjibian, F. (2015). Using fuzzy FMEA and fuzzy logic in project risk management. *Iranian Journal of Management Studies (IJMS)*, 8 (3), 373-395.
- Roy, B. (1968). Classement et choix en présence de points de vue multiples (la méthode ELECTRE). *La Revue d'Informatique et de Recherche Opérationnelle (RIRO)*, v. 8, 57–75.
- Rudio, F. (1986). *Introdução ao projeto de pesquisa científica*. Petrópolis: Vozes.
- Saaty, T. L. (1990). *Multicriteria decision making: the analytic hierarquical process. Planning, priority setting, resource allocation*. Pittsburgh: RWS Publishing.
- Saaty, T. L. (1996). *Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process*. Pittsburgh, Pennsylvania: RWS Publications.
- Sarkis, J., & Talluri, S. (2002). A model for strategic supplier selection. *Journal of Supply Chain Management*, 38 (1), 18-28.
- Shapiro, A. F., & Koissi, M. (2015). *Risk assessment applications of fuzzy logic*. Illinois: Society of Actuaries, Joint Risk Management Section.
- Silva, V. (2013). Abordagem de Decisão em Grupo Baseada em Avaliações Linguísticas com uma Aplicação em Orçamento Participativo. *Tese de Doutorado*. Recife, Brasil: Universidade Federal de Pernambuco.
- Simons, P. (2015). Łukasiewicz and the Several Senses of Possibility. *European Review*, 23 (1), 114-124.
- Smelser, N. J., & Baltes, P. B. (2001). *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*. Elsevier Science & Technology.
- Sollish, F., & Semanik, J. (2011). *Strategic global sourcing best practices*. Hoboken, New Jersey: Wiley and Sons, Inc.
- Sugeno, M. (1985). An introductory survey of fuzzy control. *Information Sciences*, 36 (1-2), 59-83.

- Thanassoulis, E. (1995). Assessing police forces in England and Wales using data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 87 (3), 641-657.
- Tizhoosh, H. (2019). Machine Intelligence - Lecture 17 (Fuzzy Logic, Fuzzy Inference). Waterloo, Canadá: University of Waterloo.
- Verma, R., & Pullman, M. (1998). An Analysis of the Supplier Selection Process. *Omega*, 26 (6), 739-750.
- Weber, C. A., Current, J. R., & Benton, W. (1991). Vendor selection criteria and methods. *European Journal of Operational Research*, 2-18.
- Weele, A. J. (2010). *Purchasing and Supply Chain Management: Analysis, Strategy, Planning and Practice (5th ed.)*. Andover: Cengage Learning.
- Wikipedia. (21 de jun de 2021). *Fuzzy logic*. Obtido de Wikipédia, a enciclopédia livre: [https://en.wikipedia.org/wiki/Fuzzy\\_logic](https://en.wikipedia.org/wiki/Fuzzy_logic)
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, vol. 8, no. 3, 338–353.
- Zeydan, M., Çolpan, C., & Çolbanoglu, C. (2011). A combined methodology for supplier selection and performance evaluation. *Expert Systems with Applications*, 38 (3), 2741-2751.
- Zhang, Z., Lei, J., Cao, N., To, K., & Ng, K. (2003). Evolution of Supplier Selection Criteria and Methods. *European Journal of Operational Research*, 4(1), 335-342.
- 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.

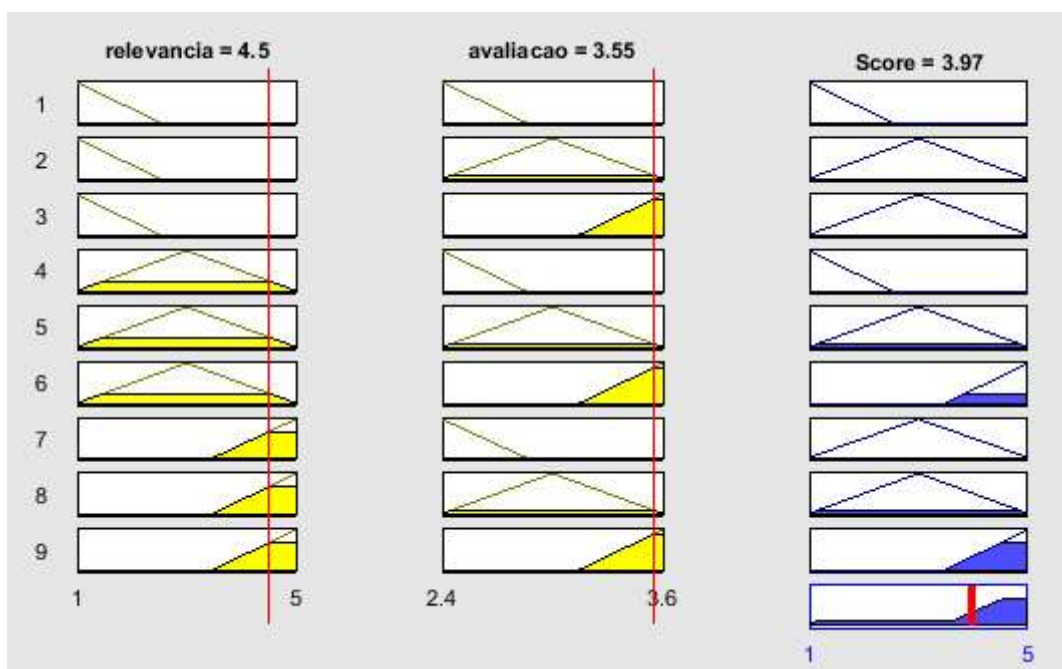
## Anexos

### Anexo I – Sistema de Inferência Difusa do Caso de Estudo

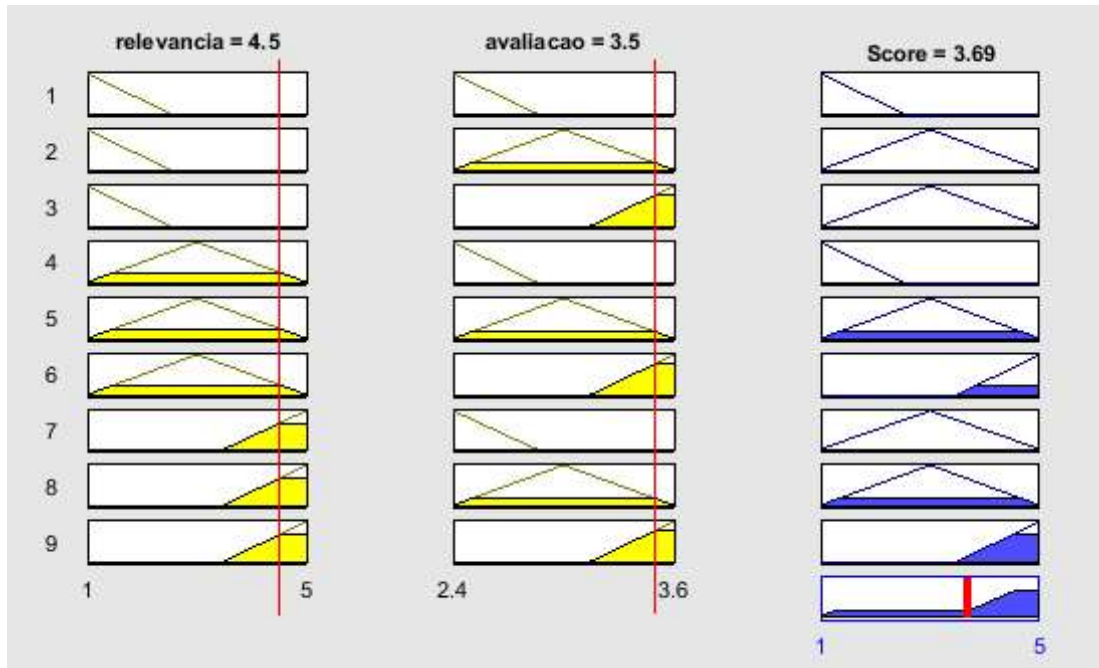
No presente anexo pretende mostrar a representação do processo de inferência difusa para alguns critérios e fornecedores. Nas figuras cada linha representa uma regra de decisão deste sistema.

As duas primeiras colunas à esquerda mostram as variáveis de entrada e respetivos termos linguísticos, enquanto a terceira coluna mostra a variável de saída. Nas imagens, o amarelo representa os conjuntos difusos “ativados” pelas avaliações/ atributos atribuídos ao critério. A azul, na última coluna, estão representados os conjuntos difusos gerados por cada regra ativada.

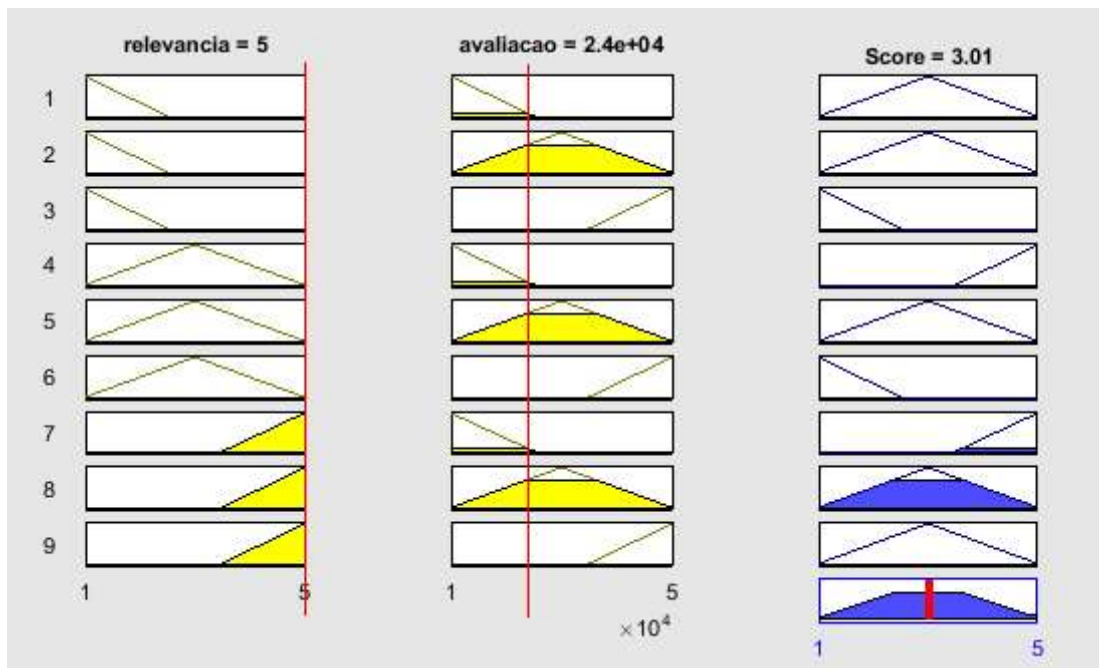
Sistema de inferência difusa para o Critério 1 – Fornecedor 1



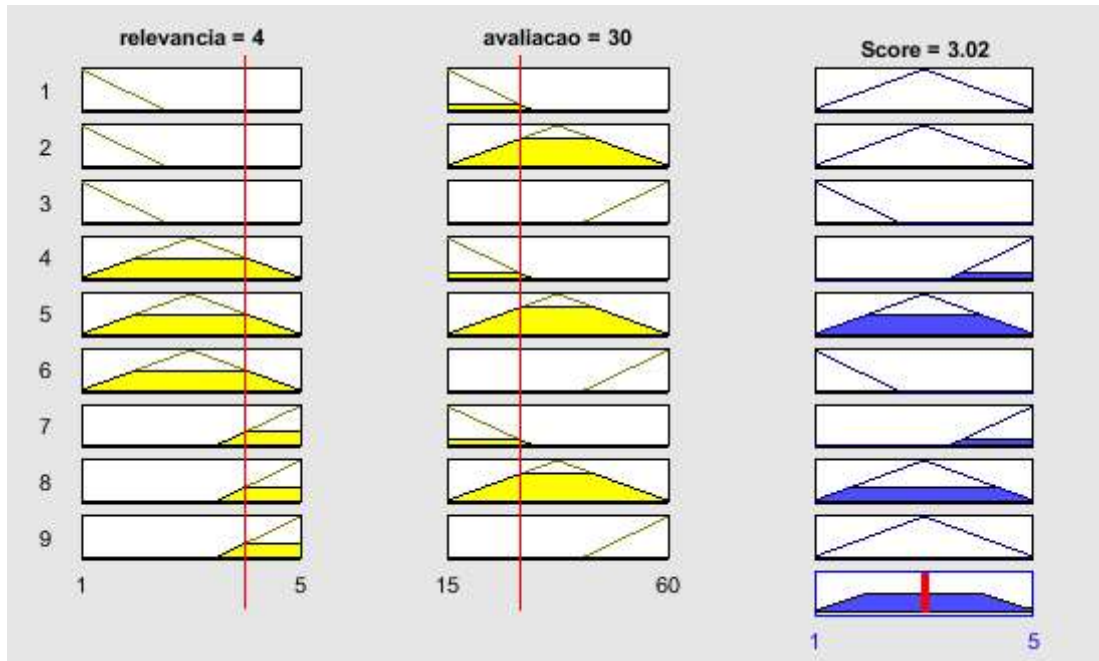
Sistema de inferência difusa para o Critério 1 – Fornecedor 4



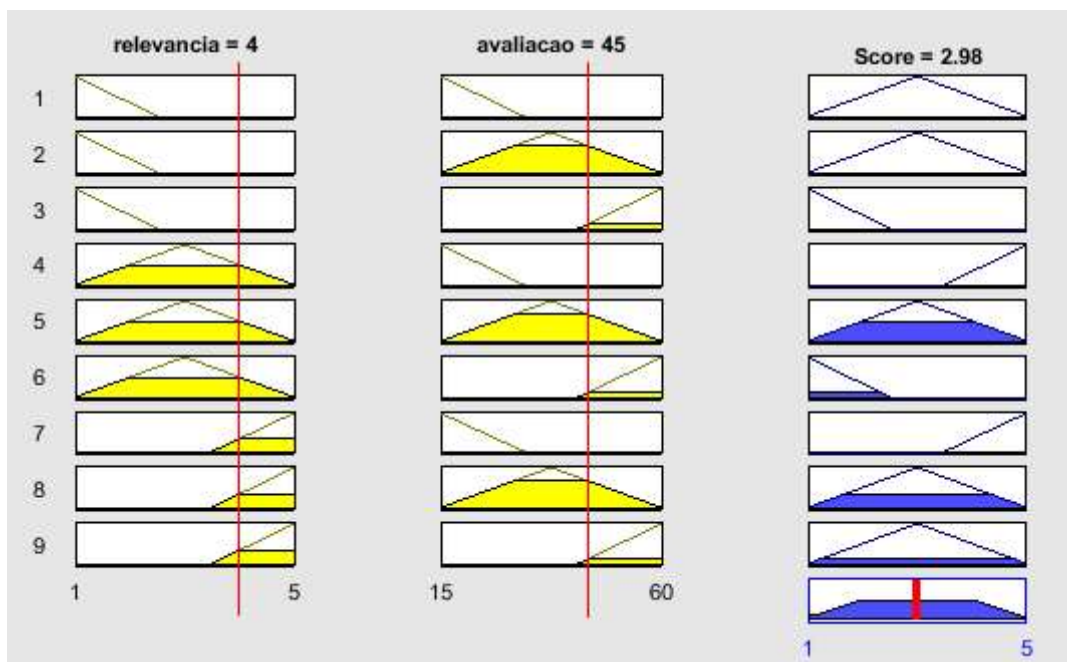
Sistema de inferência difusa para o Critério 2 – Fornecedor 3



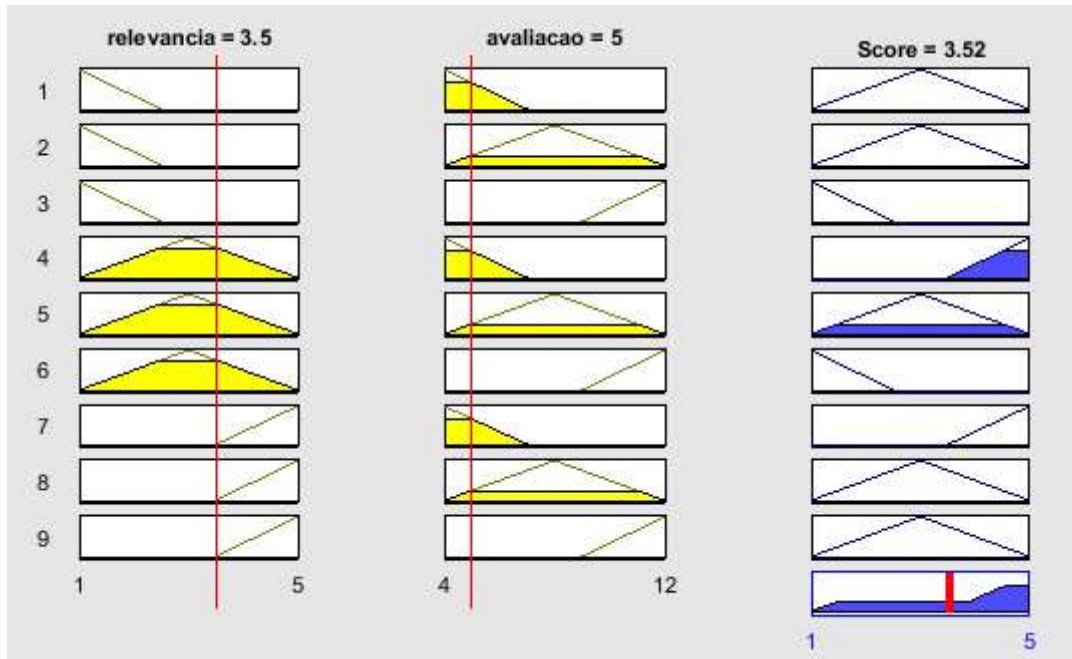
Sistema de inferência difusa para o Critério 3 – Fornecedor 1



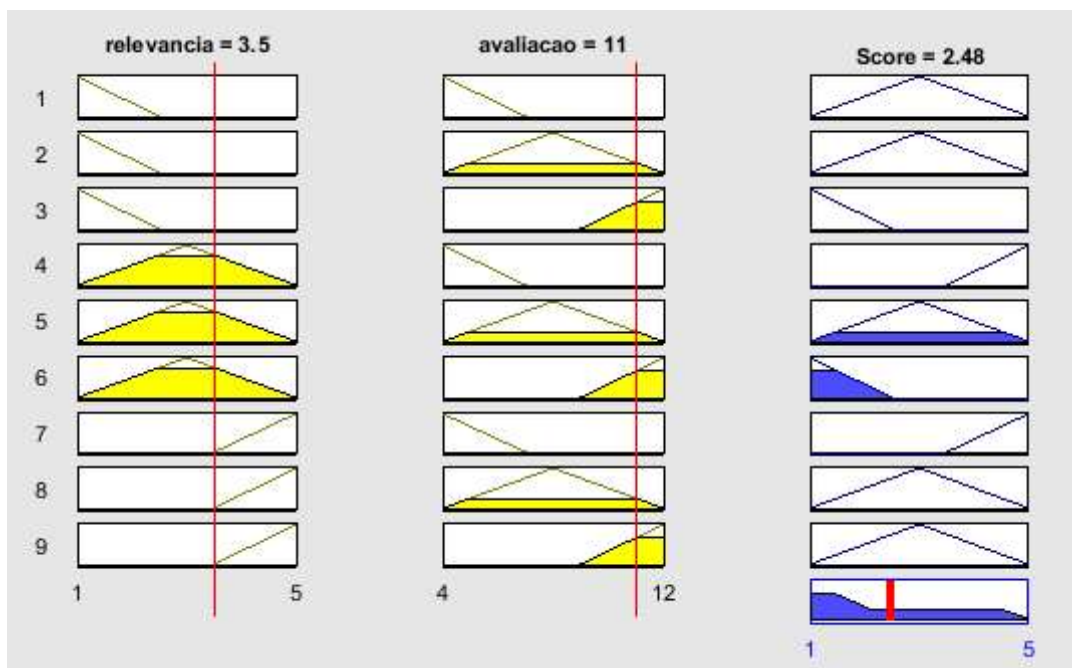
Sistema de inferência difusa para o Critério 3 – Fornecedor 2



Sistema de inferência difusa para o Critério 4 – Fornecedor 3



Sistema de inferência difusa para o Critério 4 – Fornecedor 5



## Anexo II – Exemplos de formulários Excel utilizados no Banco

#	CrITÉrios de AvaliaÇão - 2020	Peso	Emp. A	Emp. B	Emp. C
<b>Documento 1: InformaçÓes Gerais da Empresa, elementos para a avaliaÇão da estrutura, organizaÇão, parceiros estratÉgicos, etc.</b>					
1	InformaçÓes Gerais da Empresa, elementos para a avaliaÇão da estrutura, organizaÇão, parceiros estratÉgicos, situaÇão financeira e auditorias e certificaÇÓes que comprovem a sua qualidade.	3,50%			
<b>Documento 2: Experiência como prestador de serviÇos e recursos, na Área em consulta</b>					
2	Estrutura empresarial que garanta o sucesso do trabalho em curso (ex. disponibilidade de recursos de apoio e informaÇão)	3,50%			
<b>Documento 3: Estrutura da proposta tÉcnica</b>					
<b>A. Informação Genérica</b>					
3	Sumário executivo e outra informaÇão relevante, de acordo com serviÇo solicitado	1,50%			
4	Pressupostos condicionadores do trabalho e pagamento	1,50%			
<b>B. Recursos Humanos a utilizar</b>					
5	IdentificaÇão dos recursos humanos a utilizar	5,00%			
6	Perfil de qualificaÇão: Experiência e conhecimentos adquiridos em análises desta natureza	12,00%			
7	QualificaÇÓes Académicas e formaÇão orientada ao serviÇo solicitado	7,50%			
8	Possuidor de CertificaÇÓes ISACA ou similares; Associado a uma organizaÇão profissional e adesão ao seu código de ética (p.e.ISACA)	4,00%			
9	ConduÇão da actividade de acordo com as Práticas Profissionais de Auditoria	3,50%			
10	Nível de entregáveis pelo serviÇo prestado	1,00%			
11	AvaliaÇão da adequabilidade da alocaÇão de tempo para a execuÇão do trabalho proposto.	10,00%			
12	Experiência de realizaÇão de auditorias informáticas	10,00%			
13	Conhecimentos específicos na avaliaÇão de riscos IT, avaliaÇão e implementação de controlos	6,00%			
14	Conhecimento funcional dos modelos de governação e de segurança de uma empresa de sistemas de informaÇão e as ligaÇÓes estratÉgicas com as Áreas de negÓcio	2,50%			
15	Conflito de Interesses e Independência dos Auditores Verificar se os auditores efectuaram alguma implementação nas entidades e Áreas alvo.	5,00%			
<b>C. Metodologia na realizaÇão do projecto</b>					
16	DescriÇão da metodologia a aplicar na realizaÇão do projecto	7,50%			
17	Disponibilidade para trabalhar em conjunto com a equipa do DAI	1,00%			
<b>D. Ferramentas e técnicas</b>					
18	Técnicas de teste e ferramentas usadas	7,50%			
<b>E. Referências</b>					
19	Empresas onde realizaram trabalhos semelhantes (ver caderno de encargos)	2,50%			
<b>Outros fatores</b>					
20	Fator de sustentabilidade	5,00%			
<b>Total da AvaliaÇão Técnica e PosiÇão relativa</b>		<b>100,00%</b>			
<b>Shortlist</b>					

Informação Geral							
Projeto:			Preparado por:				
Equipa:			Responsável da Decisão:				
Documentos:			Tipo da Decisão:				
Alternativa	Descrição e Pontos Fortes	Pontos Fracos					Riscos
Emp. A							
Emp. B							
Emp. C							
Emp. D							
Categoria	Critério	Peso	Emp. A	Emp. B	Emp. C	Emp. D	Comentários
Fornecedor e Equipa	Avaliar a informação do fornecedor e da equipa (experiência, reputação, etc.)	45%	2,1	1,7	1,8	1,6	
	Experiência de trabalhos/projetos anteriores	13%	4	5	4	4	Todos têm experiência no serviço, a Emp A tem atualmente clientes na área financeira.
	Conhecimento da realidade do Grupo	9%	5	3	4	3	Verspiereen distingue-se da Emp A e Emp B, pois é corretora de algumas apólices
	Equipa dedicada e com especialistas	10%	5	4	4	3	Todos têm equipa com especialistas; o que as difere é o nº de horas/nº de recursos afeto a este serviço; A Emp B, tem discrepâncias entre o nº de FTE's afetos descritos na proposta e o valor global que apresenta o que leva a crer que o nº de horas global (nºhoras FTE) previsto para a execução do serviço é inferior às restantes.
	Briefing presencial e alinhamento com necessidades pretendidas	13%	5	3	4	4	A Emp A teve postura de empresa com muito maior dimensão, ficando a perceção de tentativa de venda de portfolio de serviços.
Proposta	Avaliar proposta	55%	1,7	1,5	1,7	1,7	
	Qualidade da abordagem e metodologia proposta	35%	3	2	3	3	A Emp A denota empresa com grande dimensão e com apresentação de variedade de portfolio de serviços vasto, saindo um pouco fora do pretendido, ou seja, relação com empresa de menor dimensão e com relação personalizada.
	Qualidade da plataforma informação gestão	20%	3	4	3	3	Todas têm a qualidade desejada, tendo a plataforma da Emp A maior destaque dada o seu nível de sofisticação.

Avaliação: 3,77 3,21 3,45 3,26

Alternativa seleccionada:	
Motivo da decisão:	
Aprovado por:	
Data:	

\*\* Critérios de Avaliação: 1 - Fraco / Baixa / Sem informação a 5 - Excelente / Alto \*\*