



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

GEISIANE BÁRBARA INACIO DOS SANTOS

**MODELO DE DECISÃO PARA SELEÇÃO DE FORNECEDORES CONSIDERANDO
A OTIMIZAÇÃO DO RETORNO GLOBAL DA CADEIA DE SUPRIMENTO PARA
O ARRANJO PRODUTIVO LOCAL DE LATICÍNIOS DE PERNAMBUCO**

Caruaru

2021

GEISIANE BÁRBARA INACIO DOS SANTOS

**MODELO DE DECISÃO PARA SELEÇÃO DE FORNECEDORES CONSIDERANDO
A OTIMIZAÇÃO DO RETORNO GLOBAL DA CADEIA DE SUPRIMENTO PARA
O ARRANJO PRODUTIVO LOCAL DE LATICÍNIOS DE PERNAMBUCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Otimização e Gestão da Produção.

Orientador: Prof. Dr. Thalles Vitelli Garcez

Caruaru

2021

Catlogação na fonte:
Bibliotecária – Paula Silva - CRB/4 - 1223

S237m Santos, Geisiane Bárbara Inacio dos.
Modelo de decisão para seleção de fornecedores considerando a otimização do retorno global da cadeia de suprimento para o arranjo produtivo local de laticínios de Pernambuco. / Geisiane Bárbara Inacio dos Santos. – 2021.
72 f.; il.: 30 cm.

Orientador: Thalles Vitelli Garcez.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2021.
Inclui Referências.

1. Otimização matemática. 2. Engenharia de produção - Pernambuco. 3. Processo decisório por critério múltiplo. 4. Pesquisa operacional - Pernambuco. 5. Laticínios - Pernambuco. I. Garcez, Thalles Vitelli (Orientador). II. Título.

CDD 658.5 (23. ed.) UFPE (CAA 2021-162)

GEISIANE BÁRBARA INACIO DOS SANTOS

**MODELO DE DECISÃO PARA SELEÇÃO DE FORNECEDORES CONSIDERANDO
A OTIMIZAÇÃO DO RETORNO GLOBAL DA CADEIA DE SUPRIMENTO PARA
O ARRANJO PRODUTIVO LOCAL DE LATICÍNIOS DE PERNAMBUCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Otimização e Gestão da Produção.

Aprovada em: 19/08/2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Thalles Vitelli Garcez (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof.^a Dr.^a Thárcylla Rebecca Negreiros Clemente (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof.^a Dr.^a Luciana Hazin Alencar (Examinadora Externa)
Universidade Federal de Pernambuco

Dedico esse trabalho à minha família e a minha filha (In Memoriam).

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, fonte de amor e fé, por me guiar, sempre estar presente em minha vida e por me dar forças para enfrentar os obstáculos nos momentos mais difíceis. Aos meus pais, por serem meu alicerce, por fazerem até o impossível para me ver concretizando meus objetivos. Ao meu esposo, que não hesitou encarar essa jornada junto comigo, ele é minha força positiva, obrigada por me apoiar sempre. Aos meus irmãos, pela cumplicidade, pelos conselhos, pela torcida almejando sempre o meu melhor, e por toda ajuda.

Ao meu orientador Prof Thalles, pela ajuda e orientação para concretização desse trabalho, pelas conversas e conselhos que me acalmavam, hoje além de professor é um grande amigo. Obrigada por tudo. As minhas “manas” como nos tratamos, Targieli e Camyla, presentes que o mestrado me deu, pela irmandade e todo suporte físico e emocional que recebi de vocês, obrigada por caminharem junto comigo todo esse percurso. Aos meus amigos de longas datas, Elton, Carol e Carla, pessoas muito especiais, obrigada por estarem presentes sempre. A minha avó pelas orações, por sentir-se feliz por cada passo dado por mim. A toda minha família, amigos, madrinhas e primos que sempre torceram por mim.

Aos meus colegas de turma por fazerem parte destes anos, por me ajudarem quando eu precisei, em especial a Bianca, Joyce, Jane e Layza pelos grupos de estudo, momentos e risadas que passamos juntos. Com vocês a caminhada se tornou mais leve. Aos professores do PPGEP-CAA por contribuírem em minha vida acadêmica, em especial a professora Thárcylla por sempre mostrar o lado bom das coisas e a professora Máisa por mostrar o significado de ser forte. Aos ex-alunos do PPGEP-CAA, Helder, Pedro, Jackson, Daniele e Geisiane por todo apoio e ajuda que me deram.

Aos colegas do laboratório REASON, pelo companheirismo, aprendizado e partilha. A FACEPE pelo apoio financeiro que propiciou o desenvolvimento desta pesquisa. Por fim, meus sinceros agradecimentos a todos que de forma direta ou indireta, contribuíram para realização deste trabalho.

“Tudo tem o seu tempo determinado, e há tempo para todo o propósito debaixo do céu.”
(BÍBLIA, A. T. Eclesiastes, 3:1).

RESUMO

Nos últimos anos o Brasil registrou aumento da produção de leite de acordo com a análise dos indicadores dos dois últimos levantamentos censitários do país. No Estado de Pernambuco, conhecido como bacia leiteira, o Agreste Meridional, onde encontra-se o Arranjo Produtivo Local (APL) de laticínios, tem como base econômica a pecuária leiteira, apresentando uma das principais cadeias produtivas da região com a produção de leite e derivados de forma artesanal e industrial. A maioria das empresas pernambucanas de laticínios se caracterizam por pequenos e médios produtores de leite, muitas dessas são empresas familiares. Dentro da cadeia de suprimentos pode-se destacar a cadeia imediata, formada pelos fornecedores e clientes imediatos, responsável pelo fornecimento de matérias primas para as operações/produções. Na cadeia imediata de suprimentos, existem diversos problemas de decisão, tais como: seleção de fornecedor, alocação de pedidos, atendimento da demanda, etc. O processo de seleção de fornecedores sempre recebera maior atenção, devido a necessidade de comprometimento entre o comprador e o fornecedor. Logo, na literatura são encontrados diversos trabalhos sobre seleção de fornecedores, considerando um comprador e múltiplos fornecedores, como também trabalhos sobre seleção de compradores, sendo assim, a proposta do modelo deste estudo é uma contribuição para a literatura no sentido de trabalhar de forma conjunta, levando em consideração o ponto de vista do comprador e fornecedor simultaneamente, mas especificadamente um *cluster* formado por múltiplos fornecedores e múltiplos compradores. Dessa maneira, este trabalho propõe um modelo colaborativo de otimização global da cadeia imediata de suprimento, na qual existe múltiplos compradores e fornecedores, considerando a abordagem multicritério, para determinar a quantidade de insumo a ser comprada/vendida entre cada comprador e fornecedor (alocação de pedido), de forma a maximizar as funções valor multiatributo consideradas individualmente por cada ator do processo de decisão. Para maximizar todas as funções valor multiatributo tanto dos compradores como dos fornecedores, construiu-se uma função multiobjetivo de critério global usando o método de aglutinação através do *Compromise Programming* (CP). Posteriormente, foi realizado um estudo de caso em um *cluster* composto por 4 compradores e 5 fornecedores, no APL de laticínios do estado de Pernambuco para demonstrar a aplicabilidade do modelo proposto. Como resultados foram encontrados: a necessidade de um bom relacionamento entre os membros da cadeia imediata de suprimento, e observado que a venda para compradores externos foi apenas do excesso de capacidade de produção de leite, permitindo visualizar novas oportunidades para o aumento da demanda dos compradores. Além disso, fez-se uma análise de sensibilidade através da variação da porcentagem de equidade entre o desempenho dos participantes mostrando a sua importância. Para finalizar uma análise gerencial foi realizada com o intuito de investigar as possíveis melhorias que poderiam ser feitas por parte dos membros da cadeia imediata, visando o ganho mútuo entre os membros aperfeiçoando o relacionamento cooperativo bem como, o crescimento no mercado.

Palavras-chave: Otimização multiobjetivo. Cadeia imediata de suprimento. Apoio à decisão multicritério. Análise gerencial.

ABSTRACT

In recent years, according to indicators from the last two census surveys in the country, Brazil has registered an increase in milk production. In Pernambuco State, known as the dairy basin, the Meridional Agreste Region where the Local Productive Arrangement (LPA) of dairy products is located is economically based on dairy farming, which presents one of the leading production chains in the region with the production of milk as well as craft and industrial dairy. Most dairy companies in Pernambuco are small and medium-sized milk producers, many of which are family businesses. Within the supply chain, the immediate chain can be highlighted, formed by suppliers and immediate customers, responsible for supplying raw materials for operations/productions. There are several decision problems in the immediate supply chain, such as supplier selection, order allocation, demand fulfillment, etc. The supplier selection process will always receive more attention due to the need for compromise between the buyer and the supplier. Therefore, in the literature, there are several works on supplier selection, considering an only buyer and multiple suppliers, well as works on buyer selection, so the proposed model of this study is a contribution to the literature in the sense of working it together, taking into account the point of view of both the buyer and supplier simultaneously, but specifically a cluster formed by multiple suppliers and multiple buyers. Thus, this work proposes a collaborative model of global optimization of the immediate supply chain, in which there are multiple buyers and suppliers considering the multi-criteria approach to determine the amount of input to be bought/sold between each buyer and supplier (order allocation), in order to maximize the multi-attribute value functions considered individually by each actor in the decision process. In order to maximize all the multi-attribute value functions of both buyers and suppliers, a global criterion multi-objective function was built using the agglutination method through Compromise Programming (CP). Subsequently, a case study was carried out in a cluster composed of four buyers and five suppliers in the LPA of dairy products in Pernambuco State to demonstrate the applicability of the proposed model. As a result, we found out: the need for a good relationship between members of the immediate supply chain, and it was also observed that the sale to external buyers was only the excess of milk production capacity allowing seeing new opportunities for increasing demand from buyers. In addition, a sensitivity analysis was performed by varying the percentage of equity between the performance of the participants, showing its importance. Finally, a management analysis was carried out to investigate the possible improvements that could be made by the members of the immediate chain, aiming at mutual gain among members improving the cooperative relationship and market growth.

Keywords: Multiobjective optimization. Immediate supply chain. Multi-criteria decision aid. Management analysis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | | |
|----------------|---|----|
| Figura 1 – | Estrutura da metodologia utilizada neste trabalho..... | 20 |
| Figura 2 – | Cadeias de suprimentos interna, imediata e total..... | 30 |
| Figura 3 – | Exemplo de uma rede hierárquica da cadeia de suprimentos (em destaque a cadeia imediata de suprimento)..... | 37 |
| Gráfico 1 – | Produção de leite..... | 37 |
| Fluxograma 1 – | Modelo para seleção de fornecedor e comprador e alocação de pedido..... | 41 |
| Gráfico 2 – | Valores de CP de acordo com a variação da restrição de equidade (δ_s e δ_b)..... | 58 |
| Figura 4 – | Principais fornecedores e compradores..... | 59 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Produção e vendas dos produtos e/ou serviços industriais, segundo as classes de atividades e os produtos..... | 35 |
| Tabela 2 – Dados quantitativos da Pesquisa da Pecuária Municipal do IBGE..... | 38 |
| Tabela 3 – Descrição dos índices e parâmetros utilizados no modelo matemático..... | 43 |
| Tabela 4 – Escala verbal de <i>Likert</i> utilizada para avaliação do critério qualidade..... | 51 |
| Tabela 5 – Matriz de desempenho para os compradores (b)..... | 53 |
| Tabela 6 – Matriz de desempenho para os fornecedores (s)..... | 53 |
| Tabela 7 – Valores metas e respectivos x_{sb} | 54 |
| Tabela 8 – Resultados da função objetivo SEM/COM processo de otimização multiobjetivo..... | 54 |
| Tabela 9 – Valores otimizados x_{sb} vendidos/comprados referente as funções multiobjetivo $\max[Z_{s_1}, \dots, Z_{s_S}, Z_{b_1}, \dots, Z_{b_B}]$ | 55 |
| Tabela 10 – Quantidade de produto x_{sb} vendidos/comprados sem o modelo de otimização..... | 56 |
| Tabela 11 – Menor valor de CP sem restrição de equidade..... | 56 |
| Tabela 12 – Valor de CP com a restrição de equidade $\leq 25\%$ | 57 |
| Tabela 13 – Valor de CP com a restrição de equidade $\leq 5\%$ | 57 |
| Tabela 14 – Valor de CP com a restrição de equidade $\leq 1\%$ | 58 |
| Tabela 15 – Valores otimizados x_{sb} vendidos referente as funções multiobjetivo $\max[Z_{s_1}, \dots, Z_{s_S}]$ | 61 |
| Tabela 16 – Matriz de desempenho para os compradores (b)..... | 61 |

LISTA DE SIGLAS

| | |
|---------------|---|
| AHP | Analytic Hierarchy Process |
| AMD | Apoio Multicritério à Decisão |
| ANP | Analytic Network Process |
| APL | Arranjo Produtivo Local |
| AUGMECON | Augmented E-Constraint Method |
| BNDS | Banco Nacional do Desenvolvimento |
| CONDEPE/FIDEM | Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco |
| CP | Compromise Programming |
| DA | Desvio Absoluto |
| DM | Decision Maker |
| ELECTRE | Elimination Et Choix Traduisant la Réalité |
| GCS | Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos |
| GP | Goal Programming |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| IVIULSs | Interval-Valued Intuitionistic Uncertain Linguistic Sets |
| MADM | Multiple Attribute Decision Making |
| MAUT | Multi-Attribute Utility Theory |
| MAVT | Multi-Attribute Value Theory |
| MCDM/A | Multiple-Criteria Decision Making/Aid |
| MDA | Ministério de Desenvolvimento Agrário |
| MIP | Mixed Integer Programming |
| MOMP | Multiobjective Mathematical Programming |
| PIB | Produto Interno Bruto |
| PPM | Pesquisa Pecuária Municipal |
| PLMO | Programação Linear Multiobjetivo |
| ProAPL | Programa de Arranjos Produtivos Locais |
| PROMETHEE | Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation |
| RD | Regiões de Desenvolvimento |
| SEBRAE | Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas |
| TOPSIS | Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution |
| USDA | United States Department of Agriculture |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 14 |
| 2 | JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO TRABALHO..... | 16 |
| 2.1 | OBJETIVOS DO TRABALHO..... | 18 |
| 2.1.1 | Objetivo geral..... | 18 |
| 2.1.2 | Objetivos específicos..... | 18 |
| 2.2 | METODOLOGIA..... | 18 |
| 2.3 | ESTRUTURA DO TRABALHO..... | 21 |
| 2.4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE O CAPÍTULO..... | 22 |
| 3 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DA LITERATURA..... | 23 |
| 3.1 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... | 23 |
| 3.1.1 | Multi-Criteria Decision-Making/Aid - (MCDM/A)..... | 23 |
| 3.1.2 | Método de agregação aditivo determinístico..... | 25 |
| 3.1.3 | Multiobjetivo..... | 27 |
| 3.1.3.1 | Compromise Programing – CP..... | 29 |
| 3.1.4 | Cadeia imediata..... | 30 |
| 3.2 | REVISÃO DA LITERATURA..... | 31 |
| 3.2.1 | Seleção de fornecedores e alocação de pedido mediante a abordagem MCDM/A e/ou multiobjetivo..... | 31 |
| 3.2.2 | Seleção de compradores e alocação de pedido mediante a abordagem MCDM/A e/ou multiobjetivo..... | 33 |
| 3.2.3 | Cluster..... | 34 |
| 3.2.4 | Cadeia imediata do leite..... | 35 |
| 3.2.5 | Contexto pernambucano..... | 37 |
| 3.3 | CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE O CAPÍTULO..... | 39 |
| 4 | MODELO MULTIOBJETIVO PARA SELEÇÃO DE FORNECEDOR E COMPRADOR E ALOCAÇÃO DE ORDEM DE PEDIDO..... | 40 |
| 4.1 | MÉTODO DE AGREGAÇÃO MULTICRITÉRIO ADITIVO DETERMINÍSTICO..... | 45 |
| 4.2 | OTIMIZAÇÃO MULTIOBJETIVO ATRAVÉS DO MÉTODO DE AGLUTINAÇÃO COMPROMISE PROGRAMMING..... | 47 |
| 4.3 | CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE O CAPÍTULO..... | 48 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 5 | ESTUDO DE CASO..... | 50 |
| 5.1 | IDENTIFICAÇÃO DO ESCOPO DO PROBLEMA..... | 50 |
| 5.2 | FORMAÇÃO DO CLUSTER E IDENTIFICAÇÃO DOS OBJETIVOS DOS DECISORES..... | 50 |
| 5.3 | IDENTIFICAÇÃO DOS CRITÉRIOS..... | 50 |
| 5.4 | MODELAGEM DE PREFERÊNCIAS DOS DECISORES..... | 52 |
| 5.5 | MAXIMIZAÇÃO DAS FUNÇÕES INDIVIDUAIS DOS DECISORES..... | 53 |
| 5.6 | OTIMIZAÇÃO DA FUNÇÃO MULTIOBJETIVO..... | 54 |
| 5.7 | RESULTADO DE ORDEM DE PEDIDO..... | 55 |
| 5.8 | ANÁLISE DE SENSIBILIDADE..... | 56 |
| 5.9 | ANÁLISE GERENCIAL..... | 59 |
| 5.10 | CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE O CAPÍTULO..... | 62 |
| 6 | CONCLUSÃO..... | 63 |
| 6.1 | SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS..... | 64 |
| | REFERÊNCIAS..... | 65 |

1 INTRODUÇÃO

Segundo Sanayei et al. (2008), para uma empresa permanecer competitiva, ela deve trabalhar com seus parceiros da cadeia de suprimentos e melhorar o desempenho total da cadeia. O Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos (GCS) é uma das atividades que mais demandam atenção dentro das organizações, pois ela está diretamente ligada ao controle de fluxo de materiais entre os diferentes participantes, tais como fornecedores, produtores, distribuidores e consumidores finais, sempre com a preocupação que a distribuição e produção ocorram no momento certo e na quantidade certa, com o objetivo de minimizar os custos globais do sistema e maximizar os níveis de serviço para o consumidor (NEKOOIE; SHEIKHALISHAHI; HOSNAVI, 2015; SEL; BILGEN, 2015).

Segundo Garcia e You (2015), uma cadeia de suprimentos idealmente projetada deve, através de uma ou uma variedade de métricas, refletir a "melhor" configuração e operação dos fornecedores, fabricantes e distribuidores. Já Mohammaditabar et al. (2016), afirmam que o desempenho da cadeia de suprimentos depende de cada um de seus membros e isso incentivou muitas empresas a investir em suas cadeias de suprimentos para criar melhores relacionamentos e aumentar o desempenho total da cadeia de suprimentos em concorrência com outras cadeias.

Portanto, uma gestão eficiente da cadeia de suprimentos tem sido gradualmente reconhecida como um fator-chave para caracterizar ofertas de bens e serviços e adquirir vantagem competitiva para as empresas. É a regulamentação sobre o uso de recursos fundada em critérios particulares, enquanto as mercadorias são movidas de um local para outro, no caminho de qual a movimentação das mercadorias pode ser alterada através do processamento (JANVIER-JAMES, 2012). Dentre diferentes estruturas da cadeia de suprimento, tem-se as redes hierárquicas da cadeia de suprimentos generalista. Dentro da cadeia de suprimento pode-se destacar a cadeia imediata a montante que é responsável pelo fornecimento de matérias primas para as operações/produções.

Dentro da cadeia imediata, existem diversos problemas de decisão, tais como: seleção de fornecedor, quanto de material a ser fornecido e quando fornecer, etc. Dentre esses problemas, o processo de seleção de fornecedores sempre recebera maior atenção, devido a necessidade de comprometimento entre o comprador e o fornecedor. Rezaee, Yousefi e Hayati (2017) afirmam que nos últimos anos, considerando a necessidade crescente de garantia de disponibilidade de uma cadeia de suprimentos eficiente e coordenada, a seleção de fornecedores é um componente

básico. Para Choi et al. (2011), compradores e fornecedores devem trabalhar em um sistema unificado e coordenado uns com os outros, diminuindo assim riscos e incertezas referentes aos benefícios recebidos.

Neste trabalho é considerada uma configuração de uma cadeia imediata da rede de suprimentos de leite composta por um *cluster* com múltiplos compradores e múltiplos fornecedores, considerados familiares e conhecidos com o objetivo de cooperar entre si, levando em consideração um modelo de decisão colaborativo condizendo a otimização de índices tais quais custos, quantidade de produto, distância entre fornecedores e clientes, etc. Desta forma, direcionando-se a saber a quantidade de insumo que cada comprador irá adquirir e cada fornecedor irá disponibilizar visando uma configuração otimizada e alinhada ao que os participantes consideram os objetivos (critérios) mais importantes dentro da negociação de compra e venda do insumo.

Para tanto, este trabalho propõe um modelo de otimização global da cadeia imediata de suprimento com capacidade restrita, considerando a abordagem multiobjetivo e multicritério, para determinar a quantidade de insumo a ser comprada/vendida entre fornecedores e compradores, de forma a otimizar os recursos e indicadores de desempenho considerados individualmente dos fornecedores e dos compradores.

Como contexto de aplicação, tem-se um estudo de caso no Arranjo Produtivo Local (APL) do leite de Pernambuco. Particularmente, a região é formada por vários compradores e fornecedores de pequeno e médio porte de produção de leite, permitindo assim a criação de um relacionamento colaborativo entre os elos da cadeia imediata de suprimento.

2 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO TRABALHO

Segundo o Ministério de Desenvolvimento Agrário - MDA (2011), conhecido como bacia leiteira do Estado de Pernambuco, o Agreste Meridional tem como base econômica a pecuária leiteira, com a produção de leite e derivados de forma artesanal e industrial. Apresentando como principais cadeias produtivas da região a bovinocultura de leite e de corte, pois, tradicionalmente suas raízes econômicas derivam do campo, e por isso, a pecuária leiteira e de corte é importante para a economia. No terceiro trimestre de 2020, o Produto Interno Bruto de Pernambuco (PIB/PE), a preços de mercado apresentou crescimento de 10,8% em relação ao trimestre imediatamente anterior, decorreu do seguinte resultado dos três grandes setores econômicos: Agropecuária (5,9%), Indústria (24,6%) e Serviços (6,4%) (CONDEPE/FIDEM, 2020).

Diante esse cenário, foi criado o programa de APLs do Estado de Pernambuco (ProAPL), que objetiva aumentar a competitividade e produtividade das empresas que integram os APLs, por meio do desenvolvimento de um modelo ambiental e socialmente sustentável, que promova ações para capitalizar as economias de aglomeração territorial e setorial, superar falhas de mercado que persistem na área de desenvolvimento empresarial e internacionalização, e fomentar uma maior capacidade de inovação (SECTI, 2017).

Desta forma, de acordo com o SEBRAE (2009), entende-se como APL, aglomerações de empresas localizadas em um mesmo território que apresentam especialização produtiva e mantêm algum vínculo de articulação, interação, cooperação e aprendizagem entre si e com outros atores locais tais como governo, associações empresariais, instituições de crédito, ensino e pesquisa. Dentre os APLs existentes no Estado de Pernambuco, há o arranjo produtivo de laticínios que está localizado nas Regiões de Desenvolvimento (RD) do Agreste Meridional e Central. Embora se observe a produção de derivados de leite, especialmente queijos, em diversos municípios das duas RD, a mesma se concentra particularmente nos municípios de Pedra, Venturosa, Garanhuns, Correntes, São Bento do Una, Cachoeirinha e Altinho, os quais ocupam uma área de 3.093 km² (ITEP, 2021).

O objetivo principal de um APL é dinamizar as estruturas empresariais gerando renda e emprego, o que remete também ao significado do cooperativismo que pode ser definido como um modelo de negócios pautado pelo empreendedorismo e pela participação democrática, com o objetivo de unir pessoas e compartilhar resultados, com a proposta de buscar a prosperidade conjunta, o atendimento às necessidades do grupo e não o individualismo. De forma particular,

a prática cooperativista promove, simultaneamente, crescimento econômico e inclusão social (BRASIL, 2021).

Mediante o exposto, um *design* ideal da cadeia de suprimentos é vital para o sucesso das organizações agora mais do que nunca. Garcia e You (2015) relatam que otimizar uma cadeia de suprimentos pode ser uma tarefa tecnicamente desafiadora, de modo que os modelos e métodos de otimização para o *design* e as operações da cadeia de suprimentos têm sido de grande interesse para a indústria e a academia nas últimas décadas.

Para isso Handfield (2009) descreve o gerenciamento da cadeia de suprimentos (GCS) como a integração e o gerenciamento de processos, organizações e atividades de atendimento de pedidos por meio de relacionamentos organizacionais cooperativos, processos de negócios eficazes e altos níveis de compartilhamento de informações para criar sistemas de valor de alto desempenho que proporcionem às empresas, seus clientes e fornecedores uma vantagem competitiva sustentável.

No ambiente competitivo atual onde se vê inúmeras mudanças ocorrendo ao mesmo tempo, se as empresas desejam permanecer em desenvolvimento sustentável e obter lucros de longo prazo, trabalhar sozinhas não é uma boa escolha, precisa-se manter uma parceria a longo prazo (XIANG; SONG; YE, 2014).

Na literatura são encontrados diversos trabalhos sobre seleção de fornecedores, considerando um comprador e múltiplos fornecedores, como também trabalhos onde os fornecedores selecionam os seus clientes, neste sentido, o modelo deste estudo é uma contribuição para a literatura onde além de ser considerado como decisores, múltiplos fornecedores e múltiplos compradores, olha-se o lado do comprador e do fornecedor, ou seja, leva em consideração o ponto de vista de ambos simultaneamente.

O contexto no qual o estudo está inserido é o Agreste pernambucano, uma região composta por pequenos produtores de leite, sendo assim, uma das finalidades do modelo descrito neste estudo é manter uma parceria de oferta e demanda a longo prazo entre os membros da cadeia imediata, pois o produtor de leite não sairá da região, diferentemente de outros contextos, onde algumas indústrias podem fazer isso mais facilmente. O produtor precisa de parceria a longo prazo, pois ele precisa planejar e coordenar sua produção, uma vez que quanto mais planejado o futuro dele menos riscos ele deve correr.

Diante disso, surge a oportunidade de estudo considerando como participantes, um *cluster* composto por pequenos produtores de leite e fabricantes de laticínios, geralmente familiares,

onde considera-se os objetivos do comprador e do fornecedor ao mesmo tempo, ou seja, uma relação ganha-ganha maximizando as funções valor multiatributo de todos os decisores, de modo obter a recomendação da quantidade de produto negociado. Desta forma, é proposto um modelo de decisão multicritério e multiobjetivo para seleção de fornecedor e comprador, e alocação de ordem de pedido.

2.1 OBJETIVOS DO TRABALHO

2.1.1 Objetivo geral

O objetivo principal deste trabalho é estruturar um modelo de decisão multiobjetivo e multicritério, para auxiliar na seleção de fornecedores e alocação de pedido considerando a otimização do retorno global da cadeia imediata de um *cluster* no arranjo produtivo local (APL) de laticínios de Pernambuco.

2.1.2 Objetivos específicos

Para a consolidação do objetivo geral do trabalho, destacam-se os seguintes objetivos específicos:

- Descrever os processos de produção, compra e venda de leite do APL - Laticínio do Estado de Pernambuco;
- Identificar as características particulares de decisão de seleção de fornecedores e alocação de pedidos decorrentes da região em estudo;
- Definir os critérios do processo de decisão para seleção de fornecedores e alocação de pedidos na cadeia produtiva leite;
- Estruturar o processo de decisão para seleção de fornecedores e alocação de pedidos na cadeia produtiva leite, considerando a otimização global da cadeia produtiva (vendedores e compradores), através da abordagem multiobjetivo e multicritério;
- Realizar um estudo de caso no APL de laticínio de Pernambuco
- Validar o modelo de decisão proposto.

2.2 METODOLOGIA

Este trabalho é baseado na tomada de decisão multicritério e multiobjetivo com múltiplos decisores para seleção de fornecedores e compradores simultaneamente. Para isso, é apresentado um estudo de caso para o melhor alinhamento dos objetivos, proporcionando um

melhor entendimento através de um contexto real. Portanto, do ponto de vista objetivo, pode ser descrito como uma pesquisa exploratória na primeira parte do desenvolvimento, com a finalidade de obter maior compreensão do problema, e explicativa na segunda parte, onde aprofunda o conhecimento da realidade explicando a razão desta pesquisa. Em essência, a pesquisa pode ser descrita como aplicada, pois visa gerar conhecimento através da aplicação na cadeia produtiva imediata do leite com a seleção de fornecedores e compradores.

Por meio da análise contextual, foram selecionados os métodos de pesquisa, como principal caracteriza-se a modelagem de um problema em pesquisa operacional utilizando um modelo de otimização, e o estudo de caso aplicado no contexto estudado (no caso, uma cadeia imediata de suprimentos da Bacia Leiteira de Pernambuco). De acordo com Miguel et al. (2012), estudo de caso refere-se a análise aprofundada de um ou mais objetos (casos), com o uso de múltiplos instrumentos de coleta de dados e presença da interação entre pesquisador e objeto de pesquisa. Sendo assim, o estudo de caso pode ser definido como um trabalho de caráter empírico que investiga um dado fenômeno dentro de um contexto real contemporâneo por meio de análise aprofundada de um ou mais objetos de análise (casos).

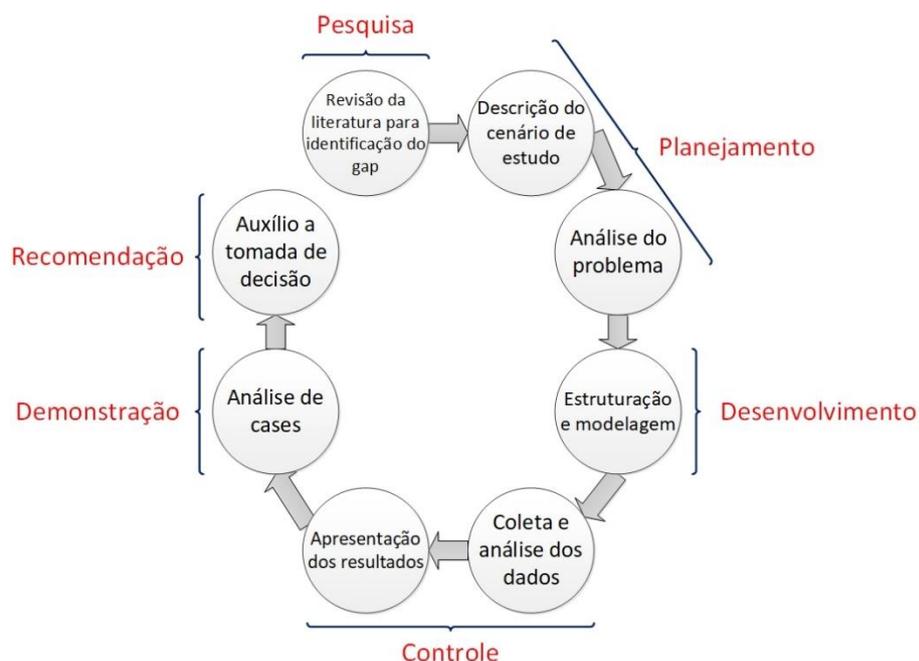
O procedimento para construção do modelo de apoio a decisão desta pesquisa dentro do contexto de decisão multicritério foi construído e baseado na estruturação e modelagem para resolução de problemas definido por de Almeida (2013) consistindo em três fases principais, que são divididas cada uma em várias etapas. A primeira fase inclui cinco etapas preliminares, nas quais elementos básicos para a formulação do problema de decisão são estruturados. Na segunda fase, as etapas relativas à modelagem de preferências são desenvolvidas. Ao final dessa segunda fase o método de decisão é escolhido e o modelo de decisão é construído, estando pronto para ser utilizado. Na terceira fase o modelo já está consolidado, são desenvolvidas as etapas finais para a resolução do problema e implementação da ação recomendada. No entanto, deve-se lembrar que nessa fase ainda se pode retornar às fases anteriores e efetuar modificações ou revisões no modelo de decisão.

Com a determinação dos métodos de pesquisa e suas estruturas a metodologia desenvolvida neste trabalho segue as etapas da Figura 1:

- i. Pesquisa: foram realizadas pesquisas nas principais bases de dados (em destaque, a Scopus) com o intuito de revisar a literatura existente para a identificação de *gaps*. Foram utilizadas as palavras-chaves relacionadas a alocação de pedido, cadeia de suprimentos, seleção de fornecedores, multicritério;

- ii. Planejamento: com o alinhamento do contexto da região ao *gap* identificado na literatura, foi possível analisar todas as diretrizes do problema e definir o método de pesquisa e procedimentos para a coleta de informações;
- iii. Desenvolvimento: em seguida com o detalhamento do *cluster* em estudo foi realizada a estruturação e modelagem, assim como a definição dos decisores e os critérios para cada um;
- iv. Controle: a partir de entrevistas com os interessados (decisores) em questão foram obtidas características e os dados necessários para a aplicação do modelo. Após a análise do modelo aplicado de acordo com as restrições e critérios estabelecidos, apresenta-se os principais resultados obtidos e suas respectivas discussões;
- v. Demonstração: foi efetuada a análise de sensibilidade para verificar a robustez das respostas adquiridas e como a mudança em alguns parâmetros podem alterar os resultados. Logo após foi realizada a análise gerencial levando em consideração a melhoria de alguns parâmetros por parte dos decisores, de modo a alcançar o aperfeiçoamento do todo, com a demonstração dos resultados e análise destes;
- vi. Recomendação: é finalizado com a apresentação dos resultados e a recomendação do sistema de auxílio ao processo de tomada de decisão aos decisores.

Figura 1 – Estrutura da metodologia utilizada neste trabalho



Fonte: A Autora (2021)

Nota: Adaptado de Cavalcanti (2019)

2.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho se organiza da seguinte forma, o Capítulo 1 apresenta a importância do gerenciamento da cadeia de suprimentos incluindo o contexto da indústria de laticínios e sua cadeia imediata de suprimentos, ilustrando a importância desta pesquisa. Destacando-se os objetivos deste trabalho, além de demonstrar a tomada de decisão multicritério e multiobjetivo para seleção de fornecedores e compradores. Prosseguindo com os métodos usados no desenvolvimento do trabalho, a formulação do projeto de pesquisa e a organização do tipo de pesquisa (neste trabalho, um estudo de caso).

No segundo capítulo é apresentada a fundamentação teórica, base conceitual, explorando o apoio a decisão multicritério e seus métodos, dando destaque ao MAVT (*Multi-Attribute Value Theory*), seguindo com Programação Linear Multiobjetivo e o método de aglutinação *Compromise Programming*. Dando continuidade ao capítulo a demonstração da revisão bibliográfica sobre diferentes metodologias propostas para problemas de otimização da cadeia de suprimentos, com intuito de contextualizar o leitor com a problemática, apresentando as características do *cluster* e a seleção de fornecedores e compradores junto aos métodos multicritério de decisão.

No terceiro capítulo é proposto o modelo para a seleção de fornecedores e compradores considerando as particularidades do estudo realizado, bem como a descrição da modelagem.

O quarto capítulo por sua vez é demonstrado o estudo de caso trazendo à aplicação do método para seleção de fornecedores e compradores e a aplicação em uma cadeia imediata, dentro da bacia leiteira de Pernambuco, descrição da cadeia imediata e detalhamento das etapas do modelo. Em seguida os resultados são obtidos e as principais discussões para a resolução alcançada, além da análise de sensibilidade e análise gerencial para avaliação dos resultados utilizando o modelo.

No quinto capítulo é desenvolvida a conclusão do trabalho, levantando os aspectos mais relevantes encontrados no trabalho, contribuições, principais dificuldades e também sugestões de propostas para trabalhos futuros.

Por fim, são apresentadas as referências bibliográficas que serviram como base para este trabalho.

Posto isso, no capítulo seguinte é apresentado a fundamentação teórica e a revisão da literatura para embasar o conteúdo que é utilizado nesse estudo, bem como direcionar o contexto em que está inserido e elucidar os objetivos a serem alcançados.

2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE O CAPÍTULO

Este capítulo teve como objetivo introduzir o leitor à proposta do trabalho, iniciando-se com a introdução onde levanta-se a área de estudo em que o mesmo está inserido, o contexto da região estudada e as características do modelo utilizado. Em seguida foram elencadas as justificativas de acordo com o cenário leiteiro, explicado o objetivo dos APL's de Pernambuco, a importância do gerenciamento da cadeia de suprimentos, e a oportunidade de estudo diante as análises da literatura, evidenciando a relevância do trabalho. Logo após, foram listados o objetivo geral do trabalho e seus respectivos objetivos específicos. Posteriormente foi apresentada a metodologia contendo sua classificação, as etapas utilizadas para a elaboração desta pesquisa, bem como a estruturação que serviu como base para as etapas da construção do modelo. Por fim foi apresentada a estrutura do trabalho elucidando o conteúdo de cada capítulo.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo, será feita uma breve descrição do contexto de pesquisa em que a dissertação se baseia. A fundamentação teórica tem como objetivo apoiar o desenvolvimento da dissertação. Já a revisão de literatura expõe a problemática, bem como a cadeia produtiva de leite e seu desenvolvimento no Brasil e no estado de Pernambuco.

3.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica embasa os temas que serão utilizados dentro deste trabalho. Primeiramente, uma apresentação dos métodos de decisão multicritério, com enfoque nos principais aspectos dessa modelagem, como desenvolvimento, problemáticas, classificação. Posteriormente, uma apresentação da Programação Linear Multiobjetivo, suas características e propriedades. Por fim, uma breve definição sobre Cadeia imediata.

3.1.1 Multi-Criteria Decision-Making/Aid - (MCDM/A)

Apoio Multicritério à Decisão (AMD) (MCDM/A, em inglês *Multi-Criteria Decision-Making/Aid*) surgiu com a finalidade não só de auxiliar o decisor a resolver problemas com objetivos conflitantes, mas também para dar suporte em todo o processo de decisão de forma que sejam claros todos os elementos da decisão e consequências das ações potenciais. Resolver um problema multicritério significa procurar não apenas a solução escondida, mas consiste em auxiliar o tomador de decisão a dominar os dados (em geral, complexos) e avançar para decisão final (DE ALMEIDA et al., 2015).

Belton e Stewart, (2002) classificam um problema multicritério como uma consideração de diferentes escolhas ou opções conflitantes, sendo que uma opção pode ser julgada como mais atraente que outra de acordo com as referências e pressupostos utilizados. O objetivo da metodologia MCDM/A, como ferramenta de auxílio a decisões complexas, é explicitar e mensurar a subjetividade do problema e integrar os objetivos desejados com julgamentos de valor, e desta forma promover o entendimento do problema e suas soluções para guiar a decisão do cliente. O MCDM/A não é uma metodologia para tomar a decisão, e sim para auxiliar para que a melhor decisão seja tomada (KEENEY; RAIFFA, 1976).

Durante a estruturação do processo decisório, é primordial compreender o tipo de problemática em que a decisão está inserida. O tipo de problemática vai direcionar a escolha do

método multicritério a ser utilizado. A seguir são destacadas algumas problemáticas estabelecidas por (DE ALMEIDA, 2013; ROY, 1996):

- **Problemática de Escolha (P. α)** - Nesta problemática seleciona-se a melhor alternativa ou subconjunto de alternativas, ou seja, procura-se encontrar um subconjunto A' dentro do conjunto A. Os elementos de A são comparados entre si, de modo a eliminar o maior número de ações possíveis, e como resultado obtém-se a alternativa ou o subconjunto selecionado.
- **Problemática de Classificação (P. β)** - Sua função é alocar cada ação conforme uma classe ou categoria. As alternativas são classificadas de acordo com normas estabelecidas e o resultado do processo está na organização ou triagem das ações.
- **Problemática de Ordenação (P. γ)** - Tem como objetivo ordenar as ações; para isso, busca-se definir um subconjunto de A conforme uma hierarquia. Em outras palavras, consiste em estabelecer uma ordem para cada ação contida nesse subconjunto.
- **Problemática de Descrição (P. δ)** - Tem por finalidade descrever e relatar as consequências das ações do conjunto A. As ações são organizadas com todas as informações necessárias para que o decisor possa compreender melhor as características de cada ação.
- **Problemática de Portfólio** - Tem o objetivo de escolher, do conjunto de alternativas, certo subconjunto que atenda aos objetivos, sob determinadas restrições.

Com a problemática do problema de decisão identificada é importante distinguir o comportamento do decisor relacionado a sua racionalidade, se é compensatório ou não. Para racionalidade compensatória existe a ideia de compensar um menor desempenho de uma alternativa em um dado critério por meio de um melhor desempenho em outro critério, ou seja, a avaliação de uma alternativa considera os *trade-offs* entre os critérios, ou compensações; ou não compensatório, onde não há *trade-offs* entre os critérios.

Encontram-se na literatura vários problemas MCDM/A e suas aplicações estão estritamente relacionadas com a natureza das informações do problema. Vincke (1990) e Roy (1996) classificam os métodos multicritérios em três tipos principais de grupos: métodos de critério único de síntese, métodos de sobreclassificação e métodos iterativos.

- **Métodos de critério único de síntese:** considerados métodos da racionalidade compensatória, são assim chamados, pois agregam os critérios em um único critério de

síntese; destacam-se os métodos baseados no modelo aditivo determinístico, sendo o mais utilizado. Merece também destaque a Teoria da Utilidade Multiatributo, referida por MAUT (*Multi-Attribute Utility Theory*), e que foi derivada da Teoria da Utilidade (KEENEY; RAIFFA, 1976).

- **Métodos de sobreclassificação (*outranking methods*):** considerados métodos da racionalidade não-compensatória, também conhecido pela superação, prevalência ou subordinação; destacam-se a família de métodos ELECTRE e a família de métodos PROMETHEE.
- **Métodos interativos;** estes métodos podem estar associados a problemas discretos ou contínuos. Em sua maioria, os métodos de PLMO (Programação Linear Multiobjetivo) utilizam procedimentos interativos.

Nesta pesquisa, a abordagem multicritério considerada no primeiro momento da modelagem será o de critério único de síntese, mais precisamente o MAVT (*Multi-Attribute Value Theory*) modelo de agregação aditiva que servirá como *input* para a otimização multiobjetivo. Considerando a natureza compensatória deste método, uma alternativa com desempenho inferior em um critério será compensada por desempenho superior em outro critério.

3.1.2 Método de agregação aditivo determinístico

O método de agregação aditivo corresponde ao mais típico método de critério único de síntese. Este é um dos modelos mais aplicados para agregar critérios e costuma ser classificado como MAVT (BELTON; STEWART, 2002). A teoria de valor multiatributo (MAVT) é uma das peças fundamentais dentro da metodologia MCDM/A. Em suas aplicações procura descrever e agregar a função valor do decisor em relação aos critérios considerados na decisão.

Segundo de Almeida (2013), para se avaliar o valor das alternativas, em um problema de decisão, considera-se seu espaço de consequências. Para cada alternativa há um vetor de consequências, isto é, cada alternativa leva a uma consequência, que se reflete nos n critérios. O modelo de decisão deve avaliar essas consequências e em decorrência suas alternativas correlatas. Nesse modelo se tem uma situação de certeza, ou seja, um caso determinístico na obtenção do vetor de consequências x para cada alternativa i , $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{in})$ considerando n critérios, e sendo x_{ij} , a consequência relativa ao critério j . Portanto, se utiliza para a avaliação intracritério a função valor $v_j(x_{ij})$ para cada critério j em relação a cada

alternativa i (DE ALMEIDA et al., 2015). Para a obtenção da função valor global $v(x_i)$ de cada alternativa i tem-se (2.1):

$$v(x_i) = \sum_{j=1}^n k_j v_j(x_{ij}) \quad (2.1)$$

onde, k_j representa a constante de escala para o critério j e é normalizado, conforme (2.2):

$$\sum_{j=1}^n k_j = 1 \quad (2.2)$$

Deve-se avaliar durante a fase de modelagem de preferências que estrutura de preferências seria mais adequada para representar as preferências do decisor sobre o conjunto de consequências do problema de decisão. De acordo com de Almeida (2013), a estrutura apropriada para a utilização do modelo tradicional, no qual se incluem os métodos de critério único de síntese, tal como o modelo de agregação aditivo apresentado neste trabalho é a estrutura (P, I), onde são destacadas duas propriedades a serem verificadas antes de sua aplicação, estas são: ordenabilidade e transitividade.

- **Ordenabilidade:** para verificar a ordenabilidade, deve-se explorar o conjunto de consequências, analisando se o decisor é capaz de comparar todas as alternativas, por meio das relações de preferências P ou I, onde, a estrutura (P, I) tem uma relação assimétrica (P) e outra simétrica (I). Essa estrutura permite a obtenção de uma pré-ordem completa (ou completa, pois não há incomparabilidades) entre os elementos de um conjunto. Neste caso, para duas consequências x_a e x_b , tem-se que: $x_a P x_b \Rightarrow v(x_a) > v(x_b)$; $x_a I x_b \Rightarrow v(x_a) = v(x_b)$.
- **Transitividade:** Depois, a partir dos resultados dessas comparações, pode-se avaliar se a transitividade foi respeitada pela relação de preferência R , seja P ou I, onde, para três consequências x_a , x_b e x_c , se $x_a R x_b$ e $x_b R x_c$ então $x_a R x_c$.

Outra propriedade é a condição de independência de preferência mútua entre critérios, que segundo de Almeida (2013), a aplicação do modelo de agregação é fundamentada em função de um teorema básico, onde, dada uma família de critérios, existe uma função de agregação aditiva, se e somente se estes critérios são mutuamente independentes em preferência. Vincke (1990) propôs uma formulação na qual, considerando um conjunto de quatro alternativas a, b, c, d, e seja P a relação de preferência global entre as alternativas.

Admitindo-se dois critérios Y e Z, estes são preferencialmente independentes se para a seguinte situação das quatro alternativas:

- $v_j(a) = v_j(b)$, para qualquer critério em Y,
- $v_j(c) = v_j(d)$, para qualquer critério em Y,
- $v_j(a) = v_j(c)$, para qualquer critério em Z,
- $v_j(b) = v_j(d)$, para qualquer critério em Z, então tem-se que $aPb \Rightarrow cPd$.

Sendo assim, neste trabalho o método MAVT desempenha a função de entrada de dados para a etapa de otimização multiobjetivo. Onde, as análises dos resultados dos métodos de tomada de decisão multicritério não são explorados, tais como o *ranking* da agregação aditiva.

3.1.3 Multiobjetivo

De acordo com Clímaco, Antunes e Alves (2003), a Programação Linear Multiobjetivo (PLMO) pode ser encarada como uma extensão do modelo clássico de Programação Linear ao caso em que se considera mais do que uma função objetivo. Segundo de Almeida et al. (2015), as abordagens de otimização multiobjetivo identificam a fronteira de Pareto, o conjunto de alternativas não dominadas, a partir do conjunto de alternativas. O conjunto de alternativas não dominadas consiste naquelas que não são dominadas por nenhuma outra do conjunto de alternativas. Diz-se que uma alternativa A_1 domina outra alternativa A_2 , se as seguintes condições se verificarem:

- i. a alternativa A_1 não é pior do que A_2 em todos os critérios, e
- ii. a alternativa A_1 é melhor do que A_2 em pelo menos um critério.

Um problema com objetivos múltiplos (multiobjetivo) é $\max \underline{z} = \begin{bmatrix} z_1(\underline{x}) \\ \vdots \\ z_p(\underline{x}) \end{bmatrix} = C \underline{x}$ (em que

$C = \begin{bmatrix} \underline{C}_1 \\ \vdots \\ \underline{C}_p \end{bmatrix}$ e $\underline{C}_1, \dots, \underline{C}_p$ são vetores linha $1 \times n$, cada um dos quais corresponde a uma das

funções objetivo), consiste em determinar o(s) vetor(es) $\underline{x}'(s)$, pertencente(s) à região admissível, que maximiza(m) simultaneamente os p objetivos considerados.

De uma forma genérica, um problema multiobjetivo formula-se da seguinte forma (2.4) sujeito às restrições (2.5):

$$\max z_1 = z_1(\underline{x}) = \sum_{j=1}^n c_{1j} x_j \quad (\text{ou } z_1 = \underline{c}_1 \underline{x}) \quad (2.3)$$

...

$$\begin{aligned} \max z_p &= z_p(\underline{x}) \\ &= \sum_{j=1}^n c_{pj} x_j \quad (\text{ou } z_p = \underline{c}_p \underline{x}) \end{aligned} \quad (2.4)$$

$$\begin{aligned} \text{s. a: } \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j &= b_i \quad i = 1, \dots, m \\ x_j &\geq 0 \quad j = 1, \dots, n \end{aligned} \quad (\text{ou } S = \{\underline{x} \in \mathfrak{R}^n: A\underline{x} = \underline{b}, \underline{x} \geq \underline{0}\}) \quad (2.5)$$

Uma vez que as funções objetivo são, em geral, conflituosas entre si, não existe ótimo no sentido habitual para todas simultaneamente. Há, no entanto, um conjunto de soluções privilegiadas - soluções eficientes, também designadas na literatura por não dominadas, não inferiores ou ótimas de Pareto.

Clímaco, Antunes e Alves (2003), trazem como conceitos elementares três definições importantes, são elas:

- i. **Solução eficiente:** uma solução $\tilde{\underline{x}} \in S$ diz-se eficiente se e só se não existe uma outra solução $\underline{x} \in S$ tal que $z_i(\underline{x}) \geq z_i(\tilde{\underline{x}})$ para todo o i ($i = 1, \dots, p$), e a desigualdade é estrita para pelo menos um i ($z_i(\underline{x}) > z_i(\tilde{\underline{x}})$).
- ii. **Solução não dominada:** um ponto do espaço dos objetivos $\tilde{\underline{z}} = (z_1(\tilde{\underline{x}}), \dots, z_p(\tilde{\underline{x}})) \in Z$ diz-se não dominado se e só se $\tilde{\underline{x}}$ é eficiente.
- iii. **Solução fracamente eficiente:** uma solução $\tilde{\underline{x}} \in S$ diz-se fracamente eficiente se e só se não existe uma outra solução $\underline{x} \in S$ tal que $z_i(\underline{x}) > z_i(\tilde{\underline{x}})$ para todo o i ($i = 1, \dots, p$).

A otimização multiobjetivo (OM) é baseada na análise da fronteira de Pareto. Na otimização multiobjetivo, a noção de ótimo foi generalizada por Vilfredo Pareto em 1896. Pode-se dizer que um vetor de variáveis de decisão, x^* , é ótimo de Pareto se não houver outro vetor de variáveis de decisão, x , tal que $f_i(x) \leq f_i(x^*)$ para todos $i = 1, \dots, k$ e $f_i(x) < f_i(x^*)$ para pelo menos um j (COELLO; LAMONT; VELDHUIZEN, 2007). Assim um problema em OM pode apresentar várias soluções Pareto ótimas, devendo ser considerados os *trade-offs* (compromissos) entre elas quanto a escolha da solução final. Este tipo de solução Pareto ótima recebe a denominação de solução de melhor compromisso.

Na otimização multiobjetivo, todos os objetivos são considerados importantes e todas as soluções não dominadas devem ser encontradas. Depois disso, informações de nível superior, geralmente sobre questões não técnicas, qualitativas e baseadas na experiência, podem ser usadas para comparar soluções não dominadas antes de fazer uma escolha. Este princípio é definido como um procedimento de otimização multiobjetivo ideal (DEB et al., 2002).

3.1.3.1 Compromise Programing – CP

Para construir a função objetivo de critério global nesse estudo, usa-se o método de aglutinação através do *Compromise Programming* (CP). O conceito de solução ideal foi introduzido por Yu (1973) e Zeleny (1973). Uma vez definido esse ponto, é possível estabelecer a solução de melhor compromisso como a solução mais próxima com respeito ao ideal, aceitando o pressuposto básico de que o decisor prefere soluções o mais próximo possível do ideal (axioma de escolha). Essas ideias simples, mas engenhosas, formam a base da abordagem CP.

Dado o conflito inerente de múltiplos objetivos, a solução ideal é inviável; portanto, é necessário procurar soluções de compromisso. Para isso precisamos calcular as distâncias entre cada solução e o ponto ideal. De acordo Zeleny (1973), a característica da CP é ser um processo iterativo, e obter uma solução (Pareto ótima) a solução mais próxima da utilizada como referência (solução ideal). Geralmente, não há solução ideal (devido a objetivos conflitantes) consistindo então, nos valores ótimos das funções objetivos consideradas no modelo. Nesses modelos, uma métrica relacionada as distâncias (*distance metrics*) e a solução de referência precisam ser selecionadas.

Conforme Ringuest (1992), o objetivo de escolher uma solução o mais próximo possível do ideal enfatiza a importância da distância e da medição da distância na tomada de decisão. Uma das medidas de distância mais utilizadas na tomada de decisão e também utilizada nesse estudo, é a família de métricas L_p , que pode ser descrita pela relação (2.6):

$$L_p = \left\{ \sum_{h=1}^k \pi_h [Z_h(x_h^*) - Z_h(x)]^P \right\}^{\frac{1}{P}} \quad (2.6)$$

$$\sum_{h=1}^k \pi_h = 1 \quad (2.7)$$

onde: x é uma determinada solução; π_h é um peso de gradação associado à h -ésima função objetivo, $\pi_h > 0$; P é o parâmetro que determina qual da família de métricas L_p deve ser usado,

$1 \leq P \leq \infty$; e, sem perda de generalidade, assumimos que todos os objetivos são objetivos de maximização. Sendo assim, o objetivo é minimizar L_p . O mesmo que a equação (2.8) utilizada neste estudo.

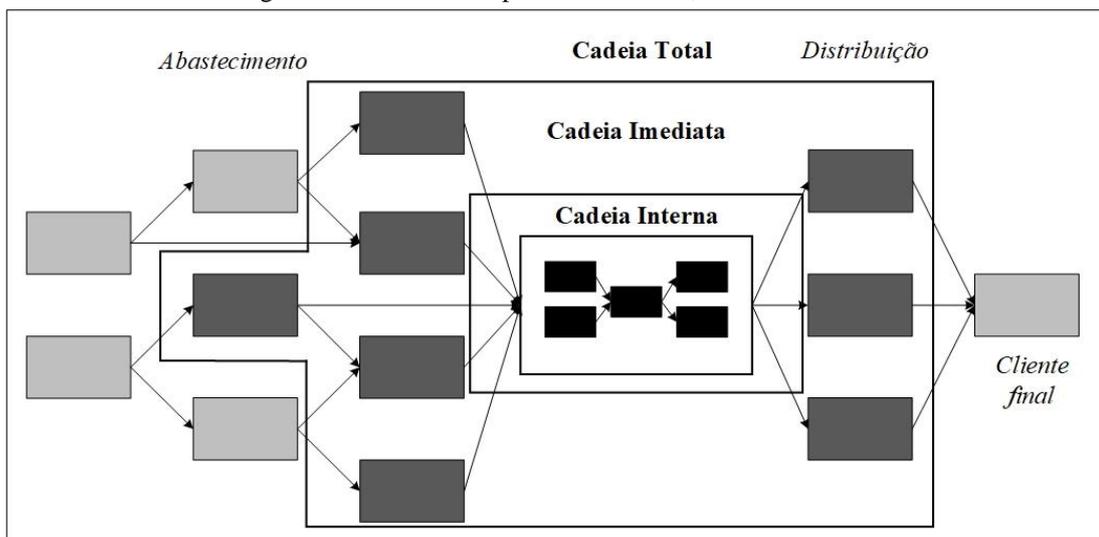
$$\min L_p = \min CP \quad (2.8)$$

3.1.4 Cadeia imediata

Para falar de cadeia imediata, primeiro se fala sobre cadeia de suprimentos, na qual Lambert e Cooper (2000) descreve como não sendo uma cadeia de negócios com relacionamentos um-para-um, de negócio para negócio, mas uma rede de múltiplos negócios e relacionamentos. Além disso, de acordo com a Figura 2, é importante destacar que a cadeia de suprimentos é classificada de três formas, segundo (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009) e (PIRES, 2007):

- Cadeia total - é composta por todas as cadeias imediatas que compõem determinado setor industrial ou de serviços, envolvendo todas as relações clientes-fornecedores;
- Cadeia imediata - é a formada pelos fornecedores e clientes imediatos de uma empresa, tendo contato direto com as operações; e
- Cadeia interna - é composta pelos fluxos de informações e de materiais entre os departamentos, células ou setores de operações internos à própria empresa.

Figura 2 – Cadeias de suprimentos interna, imediata e total.



Fonte: A Autora (2021)

Nota: Adaptado de Pires (2007)

Diante desta estrutura, muitos autores preferem utilizar a expressão rede de suprimentos, por não se verificar uma horizontalidade na composição, mas sim, uma malha intrincada de relações entre os membros, cada qual com seus fornecedores e clientes imediatos (BULLER, 2012).

Ainda, segundo Fernandes (2008), as cadeias podem ser classificadas quanto ao nível de gerenciamento no qual a empresa foco (EF) consegue atuar, o que determina a escolha da empresa foco são o segmento e o produto, onde as ações gerenciais e o trabalho colaborativo entre fornecedores e clientes serão integrado e desenvolvidos com o objetivo de conquistar os melhores resultados para todos os envolvidos. Fornecedores e clientes são considerados parceiros e fazem par te de uma estratégia conjunta, podendo concorrer com outras cadeias:

- A **cadeia interna** ocorre dentro da empresa foco, seus departamentos atuam de maneira sincronizada, utilizando-se da logística para o desenvolvimento das atividades necessárias para conclusão dos produtos e/ou serviços do seu *core business*;
- A **cadeia imediata** ilustra todos os clientes e fornecedores imediatos da empresa. Fornecedores e clientes de qualquer outra camada, quando relacionados à empresa foco diretamente, integrarão a cadeia imediata da respectiva empresa foco; e
- A **cadeia total** é composta pela cadeia interna mais a cadeia imediata da empresa foco, representando todo o desenvolvimento de um produto.

3.2 REVISÃO DA LITERATURA

Com a consolidação dos assuntos expostos no referencial teórico, a revisão da literatura apresenta o contexto da problemática e onde ela está inserida. Inicialmente será apresentado somente trabalhos sobre seleção de fornecedores e alocação de pedidos utilizando-se os métodos MCDM/A e/ou multiobjetivo, do mesmo modo sobre seleção de compradores. Em seguida será explanado o conceito do significado de *cluster* considerado nesse estudo bem como alguns trabalhos, por último será exposto o cenário da cadeia produtiva do leite e a constituição da cadeia imediata considerada; e o contexto pernambucano.

3.2.1 Seleção de fornecedores e alocação de pedido mediante a abordagem MCDM/A e/ou multiobjetivo

A princípio cita-se algumas revisões acerca da problemática da escolha de fornecedor, onde Aouadni, Aouadni e Rebaï (2019) trazem uma revisão sistemática bem completa com foco

nos problemas de seleção de fornecedores e alocação de pedidos apresentado classificação das linhas de pesquisa existentes e os diferentes métodos MCDM e modelos matemáticos usados. A revisão sistemática da literatura de Chai, Liu e Ngai (2013) é voltada para as técnicas de análise de decisão utilizadas. Por fim, Ho, Xu e Dey (2010) realizaram uma revisão da literatura com foco nos modelos multicritério usados para selecionar fornecedores.

Trabalhos sobre seleção de fornecedores considerando a gestão de custos da cadeia de suprimentos são também expostos por Gardas, Raut e Shrivastav (2019) que propuseram uma abordagem de tomada de decisão multicritério em três estágios, utilizando *Analytic Hierarchy Process* (AHP), *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS) e *Goal Programming* (GP) para a avaliação, seleção de fornecedores e alocação da quantidade. Yousefi, Mahmoudzadeh e Jahangoshai Rezaee (2017) utilizaram a modelagem matemática para selecionar fornecedores, integrando os conceitos de maximização da visibilidade e seu impacto, redução de produtos defeituosos e finalmente a minimização dos custos. Iida (2012) que incentiva o alinhamento estratégico entre um produtor e múltiplos fornecedores cooperando para reduzir custos de produção; no entanto, destaca que a falta de conexão entre os objetivos dos participantes pode causar ineficiência de toda a cadeia de suprimentos. Degraeve, Labro e Roodhooft (2005) que consideram o gerenciamento dos custos como ponto estratégico dado o intenso grau de competitividade entre as organizações, e através da programação matemática avalia a seleção de fornecedores através do custo total de propriedade.

Pesquisas foram publicadas utilizando-se Programação Linear Multiobjetiva para apoiar a seleção de fornecedores bem como a otimização de cadeias de suprimentos, Mohammed (2019) utilizou um modelo multiobjetivo possibilista integrado ao *fuzzy* TOPSIS para avaliar e classificar fornecedores; e alocar a quantidade ideal de matéria-prima a ser comprada de cada fornecedor. Já Sadeghi Rad e Nahavandi (2018) e Jahangoshai Rezaee, Yousefi e Hayati (2017) propõem modelos multiobjetivos de programação matemática para otimização da cadeia de suprimentos de loop fechado, com política de desconto por quantidade integrado onde os custos totais da cadeia de suprimentos são significativamente reduzidos. Quan et al. (2018) propuseram um modelo híbrido de MCDM baseado no método IVIULSs (*Interval-Valued Intuitionistic Uncertain Linguistic Sets*) e MULTIMOORA para avaliar e classificar fornecedores verdes em ambiente de grande grupo. Dey et al. (2012) aplicaram uma técnica de MCDM *fuzzy* que envolve otimização multiobjetivo com base na análise de razão (MOORA) na seleção de alternativas em uma cadeia de suprimentos.

Moghaddam (2015) desenvolveu um modelo matemático multiobjetivo *fuzzy* para identificar e classificar os fornecedores e alocar pedidos em sistemas de logística reversa sob incerteza de oferta e demanda.

3.2.2 Seleção de compradores e alocação de pedido mediante a abordagem MCDM/A e/ou multiobjetivo

Encontram-se também pesquisas levando em consideração o ponto de vista do vendedor, onde são usados métodos para selecionar compradores de acordo com a capacidade de produção dos fornecedores, assim sendo, Lin e Chang (2008) propõem uma abordagem *fuzzy* para avaliar compradores, levando em conta critérios positivos e negativos. Korpela et al. (2002) mostraram um cenário onde é levado em consideração o ponto de vista e a decisão tomada pelos fornecedores, eles propuseram um *framework* integrado AHP (*Analytic Hierarchy Process*) e MIP (*Mixed Integer Programming*) para os fornecedores, onde a capacidade limitada de produção é alocada aos clientes com base em sua importância estratégica e no risco envolvido.

A abordagem de avaliação do cliente proposta por Chamodrakas, Alexopoulou e Martakos (2009) tem como objetivo lidar com esse problema de avaliação incerto, que geralmente envolve uma série de critérios qualitativos e subjetivos no contexto do processo de aceitação de pedidos de fornecedores, usando uma nova classe de métodos *fuzzy* baseado no TOPSIS. Brulard, Cung e Catusse (2017) apresentam um modelo de Programação Linear Inteira Mista para maximizar o lucro das vendas de uma fazenda com capacidade de produção e força de trabalho, selecionando a combinação mais lucrativa de clientes para vender uma produção perecível de hortaliças.

Além disso, uma visão geral das áreas de oportunidade e uma descrição dos desafios técnicos relevantes, entre eles, os desafios dos múltiplos participantes, onde cada participante da cadeia de suprimentos descentralizada pode tomar suas próprias decisões é descrita na revisão de literatura de Garcia e You (2015). Diferentemente desses trabalhos, Xiang, Song e Ye (2014) propuseram uma estratégia de alocação considerando a carga de produção dos fornecedores balanceada na perspectiva de toda a cadeia de suprimentos, ao invés da estratégia de alocação tradicional considerando o custo do ponto de vista individual.

Diante da análise desses trabalhos é possível afirmar que são encontrados na literatura estudos sobre revisão de modelos e métodos utilizados para seleção de fornecedores, seleção de clientes, ou seja, trabalhos que levam em consideração os objetivos dos fornecedores também, ambos tratados de forma separadamente. Sendo assim, a proposta do modelo deste

estudo é uma contribuição para a literatura no sentido de trabalhar de forma conjunta com a finalidade de otimizar o todo, dado que esse tipo de modelagem não foi amplamente tratado na literatura, além do contexto onde está inserido, visto que, neste estudo são considerados múltiplos fornecedores e múltiplos compradores.

3.2.3 Cluster

A princípio serão explanadas definições sobre o conceito *cluster* feitas por alguns autores, com a finalidade de especificar o contexto no qual a palavra *cluster* é usada aqui nesse estudo. Um *cluster* compreende uma rede hierárquica de empresas, seus clientes e os fornecedores de tudo o que é necessário para operar tal rede. Segundo Porter (1998), *clusters* são concentrações geográficas de empresas e instituições interconectadas em um determinado campo. Englobando uma variedade de setores vinculados e outras entidades importantes para a concorrência, que incluem por exemplo, fornecedores de insumos especializados, como componentes, máquinas e serviços, e fornecedores de infraestrutura especializada.

De acordo com Figueiras (2002), denomina-se *cluster*, uma grande população de empresas agrupadas em rede, formada em geral por micros, pequenas e médias empresas operando em regime de intensa cooperação e coesão empresarial. Os *clusters* também costumam se estender a jusante para canais e clientes e, lateralmente, para fabricantes de produtos complementares e empresas em setores relacionados por habilidades, tecnologias ou insumos comuns. Finalmente, muitos grupos incluem instituições governamentais e outras - como universidades, agências de definição de padrões, grupos de reflexão, provedores de treinamento vocacional e associações comerciais - que fornecem treinamento especializado, educação, informação, pesquisa e suporte técnico (PORTER, 1998).

Alguns trabalhos que destacam a alocação de pedidos em *clusters* industriais são descritos por Renna e Perrone (2015) onde avaliam estratégias de alocação de pedidos em um ambiente de múltiplos fornecedores/fabricantes dentro de um *cluster* industrial dinâmico. E por Xiang, Song e Ye (2011) onde fazem uma simulação propondo respectivos modelos de alocação de pedido de um fabricante com vários fornecedores com base na capacidade de produção ou no equilíbrio da carga de produção. Gunasekaran et al. (2010) fornecem um metamodelo baseado em um método MCDM, o *Analytic Network Process* (ANP) e um método multiobjetivo de programação matemática (MOMP), o AUGMECON ANP-AUGMECON (*Augmented E-Constraint Method*) para avaliação de fornecedores e alocação de quantidade de pedidos em um *cluster* de empresas. Hong et al. (2005) em seu trabalho propôs um modelo de otimização

com um método que cria *cluster* de fornecedores com aspectos em comum, para manter uma relação de fornecimento contínua com os fornecedores.

Mediante o exposto, é possível perceber que os trabalhos mencionam geralmente *clusters* industriais, entretanto, o objetivo de um *cluster* aqui nesse estudo, é a junção de pequenos produtores e pequenos fabricantes com o intuito de ganhar força e poder competir com empresas maiores em um dado momento, pois quando uma empresa é pequena não tem o poder de escala suficiente para tal. Logo, os participantes do *cluster* considerados neste estudo são pessoas que tem confiança uma na outra, parceiros, com localização próxima, mas não significa que será um *cluster* fechado, pode haver situações em que serão selecionados fornecedores/compradores externos ao *cluster*, pois se os mesmos trazem vantagem para o *cluster*, trará para todos. Dessa forma, o participante selecionado externamente não fazia parte do *cluster* antes por algum motivo, dentre eles: não há confiança, é novo no mercado ou participa de outro *cluster*.

3.2.4 Cadeia imediata do leite

O leite é um dos produtos da agropecuária mais importantes da dieta humana. Está presente na alimentação de cerca de 80% da população, contribuindo com 5% da energia, 10% da proteína e 9% da gordura consumida no planeta (EMBRAPA, 2020).

O Brasil está entre os 6 maiores produtores no mundo, junto à União Europeia, Estados Unidos, Índia, China e Rússia (USDA, 2019). Conforme dados obtidos pela Pesquisa Pecuária Municipal (PPM), divulgada pelo IBGE (2019), a produção de leite brasileira em 2019 foi de 34,8 bilhões de litros, um aumento de 2,7%, atingindo o segundo maior volume da série histórica, iniciada em 1974, atrás apenas do ano de 2014 (35,1 bilhões de litros).

De acordo com a Pesquisa Industrial Anual do IBGE (2018) Tabela 1, dentre os itens da indústria de alimentos contabilizados, o valor de vendas da fabricação de laticínios está acima para fabricação de refrigerante, açúcar, cerveja e carne.

Tabela 1 – Produção e vendas dos produtos e/ou serviços industriais, segundo as classes de atividades e os produtos

| Classes das atividades industriais e produtos – Prodlist 2016 | | Valor das vendas (Mil Reais) |
|--|---|---------------------------------|
| 1 | 1052 Fabricação de laticínios | 35.914.368 |
| 2 | 1122 Fabricação de refrigerantes e de outras bebidas não alcoólicas | 35.256.984 |
| 3 | 1071 Fabricação de açúcar em bruto | 31.389.573 |
| 4 | 1113 Fabricação de malte, cervejas e chopes | 26.855.725 |
| 5 | 1013 Fabricação de produtos de carne | 11.579.782 |

Fonte: IBGE – Pesquisa Industrial Anual (2018)

A tomada de decisão da cadeia de suprimentos pode ser centralizada ou descentralizada. De acordo com Garcia e You (2015), um cenário de tomada de decisão centralizada envolve um tomador de decisão que toma todas as decisões em todos os níveis para todos os participantes da cadeia de suprimentos. No entanto, existem aquelas com tomada de decisão descentralizada, onde cada participante pode tomar suas próprias decisões com base nas metas e objetivos de cada um.

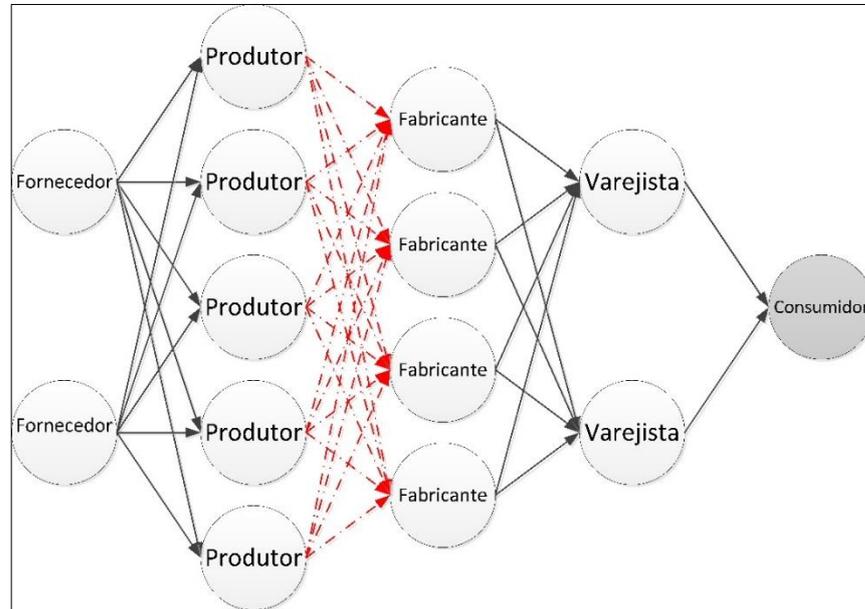
Dentro da cadeia de suprimentos pode-se destacar a cadeia imediata a montante que é responsável pelo fornecimento de matérias primas para as operações/produções (conforme destacado em vermelho na Figura 3). Neste caso, na Figura 3 tem-se:

- Os fornecedores de insumos agropecuários como: sementes, adubos, rações, máquinas e equipamentos, produtos veterinários, etc.;
- Os produtores rurais de leite de pequeno e médio porte;
- Os fabricantes que fazem o processamento de leite produzido nas fazendas em queijos e manteiga;
- Os varejistas compostos pelos atacadistas, supermercados, padarias, etc.; e
- O consumidor, que é o cliente final.

Os fornecedores e compradores considerados neste estudo formam um *cluster*, mas não necessariamente será um *cluster* fechado, pode haver situações em que serão selecionados fornecedores/compradores externos ao *cluster*, pois se os mesmos trazem vantagem para o *cluster*, trará para todos. Dessa forma, o participante selecionado externamente não faz parte do *cluster* por algum motivo, dentre eles: não há confiança, é novo no mercado, participa de outro *cluster*, etc.

As empresas são compostas por compradores que têm os fornecedores em comum, mesmo assim elas valorizaram a capacidade dos fornecedores para utilizar a capacidade máxima, e também balancear/equilibrar a produção deles entre elas.

Figura 3 – Exemplo de uma rede hierárquica da cadeia de suprimentos (em destaque a cadeia imediata de suprimento)

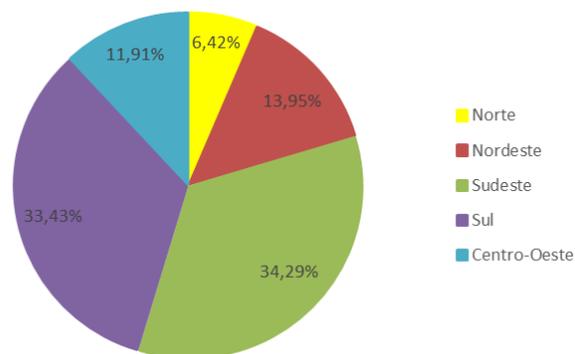


Fonte: A Autora (2021)

3.2.5 Contexto pernambucano

Segundo a Pesquisa da Pecuária Municipal do IBGE de 2019 (Gráfico 1), entre as regiões que se destacam a produção de leite no país temos o Sudeste em primeiro seguido pelo Sul, e em terceiro lugar o Nordeste. Com um aumento de 4,4%, o Sudeste voltou a ser o maior produtor de leite, com 34,29% de participação, posição que estava com a região Sul desde 2014. Esta, por sua vez, respondeu por 33,43% da produção. O Nordeste também foi destaque, com crescimento de 8,4%, maior aumento proporcional em nível regional. Entre os estados nordestinos os maiores produtores são Bahia, Pernambuco e Ceará produzindo mais de 60% do leite da região (IBGE, 2019).

Gráfico 1 - Produção de leite



Fonte: IBGE – Pesquisa da Pecuária Municipal (2019)

A Mesorregião Geográfica Agreste Pernambucano é formada pelas Regiões de Desenvolvimento (RD): Agreste Setentrional, Agreste Central e Agreste Meridional, onde nas duas últimas encontra-se o APL de laticínios. No estado pernambucano as principais microrregiões que fazem parte da bacia leiteira são o vale do Ipojuca, vale do Ipanema e região serrana de Garanhuns, essas regiões têm boa adaptabilidade para os animais, fato comprovado pela quantidade de vacas ordenhadas nos estabelecimentos agropecuários expressa na Tabela 2, levando o Agreste ser a mesorregião que mais produz leite no estado, com mais de 73%.

Tabela 2 – Dados quantitativos da Pesquisa da Pecuária Municipal do IBGE

| | Mesorregião Geográfica (PE) | Efetivo de rebanho bovino (Cabeças) | Vacas ordenhadas (Cabeças) | Quantidade produzida de leite (Mil litros) | Valor da produção de leite (Mil reais) |
|----------|------------------------------------|--|-----------------------------------|---|---|
| 1 | Agreste Pernambucano | 1.034.821 | 312.352 | 784754 | 905056 |
| 2 | Sertão Pernambucano | 546.184 | 104.774 | 216101 | 263437 |
| 3 | Mata Pernambucana | 224.199 | 27.824 | 31612 | 51253 |
| 4 | São Francisco Pernambucano | 105.939 | 30.780 | 25762 | 48223 |
| 5 | Metropolitana de Recife | 22.757 | 5.596 | 6513 | 14438 |

Fonte: IBGE – Pesquisa da Pecuária Municipal (2019)

O APL de laticínios de Pernambuco é composto principalmente por pequenos e médios produtores de leite in natura, onde distribuem seus produtos para fábricas de processamento de maior porte, denominadas de usinas de leite. O processamento envolve desde a embalagem do leite cru, passando por pasteurizações, até a própria transformação para fabricação de seus derivados, como: manteiga, queijo, iogurtes, doces, etc. Contudo, observa-se em menor proporção grandes usinas também produzindo leite in natura, bem como, pequenos produtores fabricando derivados do leite e vendendo-o diretamente ao mercado. Contudo, neste estudo são considerados como participantes, pequenos produtores de leite (os fornecedores) e pequenos fabricos de laticínios (os compradores).

Conforme descrito pelo BNDES (2010), o APL de leite e derivados do Agreste possui na sua base produtiva como principais atores, os pequenos produtores do leite cru e as usinas de leite. Como os pequenos fornecem pequenas quantidades de leite cada um, por uma questão de redução de custos de logística, a lógica produtiva deste Arranjo impõe como regra de sobrevivência aos pequenos produtores a cooperação para garantir uma oferta em escala suficiente para atender as necessidades de compra das plantas processadoras, ou seja, é necessário que eles se organizem para juntos abastecer as usinas. Similarmente, este estudo está

inserido em um contexto em que, o comprador deseja garantir a maior quantidade de produto do mesmo fornecedor, do mesmo modo, o fornecedor deseja vender a maior capacidade para o mesmo comprador, porém, são pequenos produtores, ou seja, não conseguem sozinhos suprir a demanda do comprador. Logo, é necessário a colaboração dos participantes do *cluster*, de modo que, juntos possam se ajudar e terem uma relação ganha-ganha.

Mediante o exposto, surge a oportunidade de estudo considerando como participantes, um *cluster* composto por pequenos produtores de leite e fabricantes de laticínios, geralmente familiares, onde olha-se o lado do comprador e do fornecedor, ou seja, uma relação ganha-ganha maximizando as funções valor multiatributo de todos os decisores, de modo obter a recomendação da quantidade de produto negociado. Desta forma, é proposto um modelo de decisão multicritério e multiobjetivo para seleção de fornecedor e comprador, e alocação de ordem de pedido, detalhado no capítulo a seguir.

3.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE O CAPÍTULO

Neste capítulo foi desenvolvida a fundamentação teórica por meio da base conceitual utilizada neste trabalho e a revisão da literatura com o objetivo de contextualizar o leitor com a problemática e a oportunidade de estudo. Inicialmente foi apresentada a abordagem multicritério bem como o método de agregação aditivo utilizado no primeiro momento deste trabalho, em seguida foi apresentado o conceito de multiobjetivo e a metodologia de aglutinação utilizada no segundo momento da modelagem. Por fim foi explicado o conceito de cadeia imediata. Na revisão de literatura, foram discorridos trabalhos sobre seleção de fornecedores, seleção de compradores, e alocação de pedidos utilizando abordagens MCDM/A e/ou multiobjetivo destacando a oportunidade e a contribuição deste estudo. Em seguida foi apresentado o conceito de *cluster* e alguns trabalhos utilizando o termo, com o intuito de destacar o sentido e o objetivo do termo utilizado aqui. No próximo subcapítulo foi exposto o cenário da cadeia do leite, bem como seus números e dados de produção, exemplificando a cadeia imediata, logo após foi demonstrado o contexto pernambucano com dados da produção leiteira do estado, e discorrido a composição dos APL's de Pernambuco e as vantagens obtidas com a participação nestes. Evidenciando a contribuição e a oportunidade de trabalho no contexto da região estudada.

4 MODELO MULTIOBJETIVO PARA SELEÇÃO DE FORNECEDOR E COMPRADOR E ALOCAÇÃO DE ORDEM DE PEDIDO

Para embasar a proposta deste modelo, em seu trabalho Cavalcanti e Garcez (2018) trazem um modelo de otimização inteira mista para escolha de fornecedor, baseado em uma cadeia centralizada em um sistema produtivo da bacia leiteira pernambucana, onde o comprador toma as decisões com o intuito de melhorar todo o sistema para que o ganho seja potencializado, através da otimização dos custos totais da cadeia.

Similarmente, Mohammaditabar, Ghodsypour e Hafezalkotob (2016) usam a teoria dos jogos cooperativos e não cooperativos para analisar os fornecedores selecionados e os custos totais da cadeia de suprimentos em dois cenários, um com modelo centralizado e outro com uma cadeia de suprimentos descentralizada com os fornecedores tendo restrições de capacidade. Em seu trabalho é considerado um comprador e vários fornecedores e são utilizados custos relacionados ao estoque para calcular a função de pagamento do comprador e fornecedores.

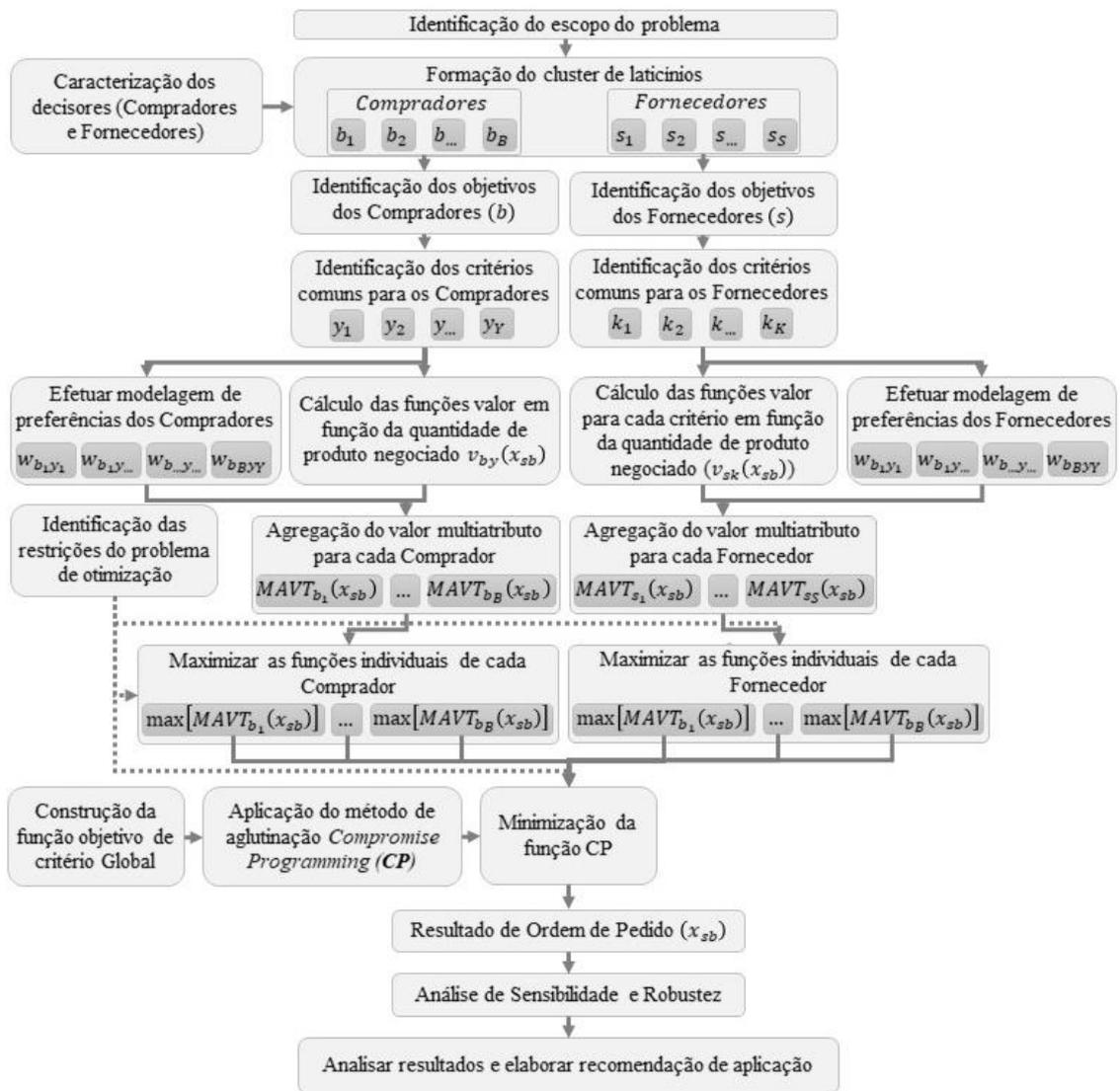
Por fim, Silva e Marins (2013) utilizam em seu trabalho um método de aglutinação utilizando um modelo de Programação por Compromisso (*Compromise Programming* - CP) para apresentar, de forma prática, a aplicação de técnica de otimização multiobjetivo da pesquisa operacional em problemas da área de projeto e análise de experimentos com múltiplas respostas.

Com a análise desses trabalhos foram identificados os *gaps* aliados ao contexto da região aqui estudada e a categoria do produto (leite), onde o mesmo é classificado como perecível, também serviram como base para a construção do modelo, considerando algumas restrições (capacidade, demanda, etc.) e estabelecida a variável. Diante disso, surgiu a oportunidade de estudo considerando não apenas um comprador, mas vários compradores e vários fornecedores, baseando-se em uma cadeia descentralizada onde todos tomam as decisões, de forma a melhorar toda a cadeia através da maximização dos objetivos de todos os decisores, conduzindo-se a saber a quantidade de produto negociada entre cada comprador e fornecedor. No primeiro momento é utilizada a abordagem multicritério maximizando as funções objetivo individuais de cada decisor, que são utilizadas como *input* no segundo momento para a otimização multiobjetivo, evidenciando a cooperação entre os membros.

O modelo multiobjetivo proposto para seleção de fornecedor e comprador e alocação de pedido é apresentado no Fluxograma 1, consistindo em um modelo composto por etapas para a

construção de um modelo de decisão multiobjetivo e multicritério baseado na estrutura desenvolvida por (DE ALMEIDA et al., 2015).

Fluxograma 1 - Modelo para seleção de fornecedor e comprador e alocação de pedido



Fonte: A Autora (2021)

Primeiramente, é necessário identificar o escopo do problema com a caracterização dos decisores, neste caso (compradores e fornecedores), em seguida a formação do *cluster* de laticínios com formado por um conjunto de compradores e outro de fornecedores. A partir disso, são identificados os objetivos dos compradores e fornecedores, e em seguida estabelecidos os critérios em comum acordo para ambos.

A próxima etapa é efetuar a modelagem de preferências dos compradores e fornecedores obtendo as constantes de escala para cada critério considerados por estes. Com isso é feito o cálculo das funções valor em função da quantidade de produto negociado e assim, poder realizar a agregação do valor multiatributo para cada comprador e cada fornecedor. Com a identificação das restrições (de capacidade, demanda, etc.) do problema de otimização, a próxima etapa é maximizar as funções individuais de cada comprador e de cada fornecedor para a obtenção dos valores meta. Sendo assim, a abordagem multicritério serve como *input* para a próxima etapa de otimização multiobjetivo, logo não são exploradas as análises dos resultados dos métodos de tomada de decisão multicritério, tais como o *ranking* da agregação aditiva.

Como o problema é considerado multiobjetivo a próxima etapa é a construção da função objetivo de critério global, no qual é realizada pela minimização da função CP considerando a aplicação do método de aglutinação *Compromise Programming*. Desta forma, é obtido o resultado da ordem de pedido com a quantidade de produto negociado entre os fornecedores e compradores.

Para finalizar é realizada a análise de sensibilidade e robustez, com mudança de dados de entrada quando oportuno e coeficientes de equidade, por exemplo. Feito isso, é possível analisar os resultados e elaborar a recomendação de aplicação para os decisores.

Neste trabalho adotou-se uma análise de valor sob a visão multiatributo. Essa abordagem é transparente e eficaz e projetada para auxiliar os tomadores de decisão em ambientes difíceis e complexos, na qual considera-se múltiplos critérios (Giacon; Yoshizaki; Montibeller, 2014). Além disso, a análise de valor multiatributo será avaliada tanto para os compradores (clientes) (representados pelo índice *b*) como para os vendedores (representados pelo índice *s*), de forma a determinar quem compra/vende de quem e quanto compra/vende de cada um, de forma a otimizar os valores multiatributo dos atores do processo de decisão (compradores e vendedores).

Tradicionalmente, o campo de *design* da cadeia de suprimentos tem se concentrado em objetivos econômicos como os critérios de *design*, como minimização de custos e maximização de lucro, ou em objetivos baseados no desempenho, incluindo nível de serviço ao cliente ou capacidade de resposta da cadeia de suprimento (LIU; PAPAGEORGIOU, 2013; YOU; GROSSMANN, 2008, 2011). No modelo proposto, a função objetivo visa maximizar o ganho global da cadeia imediata de suprimento e atender aos objetivos não somente sob a visão do comprador, mas também do fornecedor, agindo assim de forma colaborativa entre todas as

partes da cadeia. Como variáveis de decisão têm-se a quantidade de produto x_{sb} vendido/comprado entre o vendedor s e comprador b . Para tanto, especifica-se os índices/parâmetros utilizados no modelo conforme mostrado na Tabela 3.

Tabela 3 – Descrição dos índices e parâmetros utilizados no modelo matemático

| Índice/Parâmetros | Descrição |
|-------------------|--|
| S | Fornecedores (<i>Supplier</i>) $s = 1, \dots, S, s \in N$; |
| B | Compradores (<i>Buyer</i>) $b = 1, \dots, B, b \in N$; |
| K | Critérios adotados pelos fornecedores $k = 1, \dots, K, k \in N$; |
| Y | Critérios adotados pelos compradores $y = 1, \dots, Y, y \in N$; |
| x_{sb} | Quantidade de produto x_{sb} vendido/comprado entre o vendedor s e comprador b ; |
| $MAVT_s(x_{sb})$ | Valor total da função de valor multiatributo (MAV) do fornecedor s para quantidade de produto x_{sb} vendido considerando todos os compradores $b: 1, \dots, B$; |
| $MAVT_b(x_{sb})$ | Valor total da função de valor multiatributo (MAV) do comprador b para quantidade de produto x_{sb} comprado considerando todos os fornecedores $s: 1, \dots, S$; |
| w_{sk} | Constante de escala do critério k do fornecedor s , sendo que $\sum_k w_{sk} = 1$; |
| w_{by} | Constante de escala do critério y do comprador b , sendo que $\sum_y w_{by} = 1$; |
| v_{sk}^- | Valor mínimo das funções valor considerando todos os fornecedores s no critério k ; |
| v_{sk}^+ | Valor máximo das funções valor considerando todos os fornecedores s no critério k ; |
| v_{by}^- | Valor mínimo das funções valor considerando todos os compradores b no critério y ; |
| v_{by}^+ | Valor máximo das funções valor considerando todos os compradores b no critério y ; |
| v_{sy}^N | Valor normalizado da função valor do critério y para o fornecedor s ; |
| v_{bk}^N | Valor normalizado da função valor do critério k para o comprador b ; |
| $v_{by}(x_{sb})$ | Função valor do critério y (por produto x_{sb}) comprado pelo comprador b do fornecedor s ; |
| $v_{sk}(x_{sb})$ | Função valor do critério k (por produto x_{sb}) vendido pelo fornecedor s pelo comprador b ; |
| Cap_s | Capacidade de produção do fornecedor s ; |
| D_b | Demanda solicitada pelo comprador b ; |
| x_{eb} | Quantidade de produto x_{eb} comprado pelo comprador b externamente a cadeia imediata de fornecimento considerada; |
| x_{se} | Quantidade de produto x_{se} vendido pelo vendedor s externamente a cadeia imediata de fornecimento considerada; |

Fonte: A Autora (2021)

A função multiobjetivo é dada pela maximização das funções objetivos individuais (vide Equação 3.1) para cada fornecedor e comprador, com o objetivo de maximizar a função de valor multiatributo global alcançada pela venda/compra de determinada quantidade do produto x_{sb} (conforme mostrada nas Equações 3.2 e 3.3).

$$\max[Z_{s_1}, \dots, Z_{s_S}, Z_{b_1}, \dots, Z_{b_B}] \quad (3.1)$$

onde

$$Z_s = MAVT_s(x_{sb}), \quad \forall s = 1, \dots, S \quad (3.2)$$

$$Z_b = MAVT_b(x_{sb}), \quad \forall b = 1, \dots, B \quad (3.3)$$

Sujeito à

$$x_{sb} \leq Cap_s, \quad \forall b = 1, \dots, B \quad (3.4)$$

$$x_{sb} \leq D_b, \quad \forall s = 1, \dots, S \quad (3.5)$$

$$\left(\sum_s x_{sb} \right) + x_{eb} = D_b, \quad \forall s = 1, \dots, S \quad (3.6)$$

$$\left(\sum_b x_{sb} \right) + x_{se} = Cap_s, \quad \forall b = 1, \dots, B \quad (3.7)$$

$$x_{sb}, x_{eb}, x_{se} \geq 0 \quad (3.8)$$

As restrições do modelo são compostas pelas Equações 3.4, 3.5, 3.6, 3.7 e 3.8, que garantem as restrições de capacidade dos fornecedores e as restrições de demanda dos compradores. Pelas Equações 3.4 e 3.5 tem-se os limites máximos da quantidade de produto x_{sb} que se pode vender/comprar entre cada fornecedor s e comprador b , respectivamente. Com as Equações 3.6 e 3.7 tem-se a quantidade de produtos x_{sb} comprados pelo comprador b dos fornecedores $s: 1, \dots, S$ somada ao fornecedor externo x_{eb} que deve ser igual a demanda D_b desse comprador b . Similarmente, a quantidade de produtos x_{sb} vendidos pelo fornecedor s dos compradores $b: 1, \dots, B$ somada ao comprador externo x_{se} que deve ser igual a demanda D_b desse comprador b .

Para que haja a maior colaboração, e consequentemente o melhor ganho possível dentro da cadeia imediata considerada, os fornecedores e compradores precisam vender/comprar produtos entre si. Entretanto, pode existir situações que exista o excesso ou falta do produto a ser negociado dentro da cadeia imediata ou, ainda, existam compradores/vendedores externos a cadeia imediata que oferecem desempenhos mais vantajosos para a negociação do produto considerado. Para isso, foi inserido dois atores generalistas no processo de decisão, o fornecedor

e comprador externos (E), que poderão vender ou comprar produtos (x_{eb} e x_{se}) da (para a) cadeia imediata.

No entanto, em primeiro momento, para garantir que os compradores/vendedores internos a cadeia imediata negocie dentro da cadeia imediata, espera-se que os compradores/fornecedores externos ofereçam piores condições nos desempenhos considerados para a compra/venda. Portanto, nestas circunstâncias muitas vezes os fornecedores podem vender externamente seus produtos pela metade do preço e pelo dobro de distância, por exemplo, quando comparado a ser negociado pela cadeia imediata. O mesmo pode ocorrer com os compradores, que podem comprar externamente pelo dobro do preço a uma distância de fornecimento maior do que se fosse negociado pela cadeia imediata considerada.

Portanto, como formulado o modelo de otimização, uma vez otimizado as quantidades de produtos negociadas x_{sb} , caso $x_{eb} > 0$ ou $x_{se} > 0$ (isto é, se houver uma venda/compra com atores externos à cadeia imediata) é sinal de a cadeia imediata pode ser melhorada em algum aspecto. Isto é, algum comprador/fornecedor pertencente a cadeia imediata está oferecendo desempenhos menores do que os atores externos. Portanto, visualiza-se uma oportunidade (potencialidade) de melhoria de desempenho do comprador/vendedor interno a cadeia imediata comparada ao *benchmarking* desse comprador/vendedor externo.

4.1 MÉTODO DE AGREGAÇÃO MULTICRITÉRIO ADITIVO DETERMINÍSTICO

Para calcular o desempenho em função da quantidade de produtos x_{sb} negociada dos diversos atores será considerado uma função valor multiatributo, que considerará múltiplos critérios. Esses critérios devem refletir os objetivos esperados pelos tomadores de decisão para se obter a melhor compra/venda. Dentro dos problemas de decisão tais critérios podem ter características conflitantes, como por exemplo o custo e a qualidade. Portanto, neste tipo de situação, os métodos de apoio à decisão multicritério (MCDM/A) são abordados para tornar a solução mais viável dentro do contexto de múltiplos objetivos (DE ALMEIDA et al., 2015).

Para o contexto de seleção de fornecedores, os critérios escolhidos devem ser considerados fatores relacionados a concorrência, podendo ser destacados custo, serviço, qualidade, prazo de entrega, etc. Além desses, deve-se considerar outros critérios que refletem fatores organizacionais, tais como: capacidade de produção, capacidade técnica, intensidade das relações entre atores e gestão organizacional (Chen, 2011).

Para o modelo proposto são considerados dois conjuntos de múltiplos critérios: o primeiro conjunto (Y) representará os critérios que refletirão os objetivos dos compradores b e, o segundo (K) refletirá os objetivos dos vendedores s . Dado que a visão dos compradores e vendedores são distintas e muitas vezes conflitantes, tem-se que esses conjuntos K e Y são representados por diferentes critérios. Para cada conjunto de critérios Y e K , a quantidade, quais critérios e suas respectivas funções valor serão considerados de comum acordo entre os compradores e vendedores, respectivamente. Vale salientar que, a quantidade de critérios não precisa ser igual ou complementar para ambos os fornecedores e compradores, por exemplo, neste estudo foi considerado o critério distância para ambos os conjuntos de decisores, mas isso não precisa necessariamente acontecer.

As funções valor multicritério $MAVT_b(x_{sb})$ e $MAVT_s(x_{sb})$ são dadas pela agregação aditiva considerando as constantes de escala w_{sk} e w_{by} para cada critério considerado (DE ALMEIDA, 2013). As formulações para os cálculos da função valor multicritério para os fornecedores $MAVT_s(x_{sb})$ e compradores $MAVT_b(x_{sb})$ são dadas pelas Equação 3.9 e 3.10, respectivamente. As Equações 3.11 e 3.12 referem-se ao requisito multicritério que a soma das constantes de escala deve ser igual a 1. Através das Equações 3.13 e 3.14 calcula-se as funções valor para critério em função da quantidade de produto negociado x_{sb} , e por fim, pelas Equações 3.15 e 3.16 calculam-se os valores normalizados.

$$MAVT_s(x_{sb}) = \sum_{k=1}^K w_{sk} v_{sk}(x_{sb}), \quad \forall s = 1, \dots, S \quad (3.9)$$

$$MAVT_b(x_{sb}) = \sum_{y=1}^Y w_{by} v_{by}(x_{sb}), \quad \forall b = 1, \dots, B \quad (3.10)$$

onde

$$\sum_{k=1}^K w_{sk} = 1, \quad \forall s = 1, \dots, S \quad (3.11)$$

$$\sum_{y=1}^Y w_{by} = 1, \quad \forall b = 1, \dots, B \quad (3.12)$$

$$v_{sk}(x_{sb}) = \frac{1}{\sum_{s=1}^S x_{sb}} \sum_{s=1}^S x_{sb} v_{sk}^N, \quad \forall s = 1, \dots, S \quad (3.13)$$

$$v_{by}(x_{sb}) = \frac{1}{\sum_{b=1}^B x_{sb}} \sum_{b=1}^B x_{sb} v_{by}^N, \quad \forall b = 1, \dots, B \quad (3.14)$$

$$v_{sk}^N = \begin{cases} \frac{v_{sk} - v_{sk}^-}{v_{sk}^+ - v_{sk}^-}, & \text{para critério de maximização} \\ \frac{v_{sk}^+ - v_{sk}}{v_{sk}^+ - v_{sk}^-}, & \text{para critério de minimização} \end{cases}, \quad \forall s = 1, \dots, S \quad (3.15)$$

$$v_{by}^N = \begin{cases} \frac{v_{by} - v_{by}^-}{v_{by}^+ - v_{by}^-}, & \text{para critério de maximização} \\ \frac{v_{by}^+ - v_{by}}{v_{by}^+ - v_{by}^-}, & \text{para critério de minimização} \end{cases}, \quad \forall b = 1, \dots, B \quad (3.16)$$

4.2 OTIMIZAÇÃO MULTIOBJETIVO ATRAVÉS DO MÉTODO DE AGLUTINAÇÃO COMPROMISE PROGRAMMING

Como mencionado anteriormente, o problema em estudo é um problema multiobjetivo. Portanto, deseja-se maximizar todas as funções valor multicritério $MAVT(x_{sb})$ tanto dos compradores como dos fornecedores (conforme dada pela Equação 3.1). Para tanto, é preciso construir a função objetivo de critério global. Para isso, usa-se o método de aglutinação através do *Compromise Programming* (CP) (dada pela Equação 3.17), que estão sujeitas as mesmas restrições mencionadas acima.

A função $Z_{(s,b)}^*$ (vide Equação 3.20) representa os valores metas a serem alcançadas para cada função objetivo individual (Z_i , $i = b, s$). Isto é, o ganho máximo multicritério obtido para cada comprador/vendedor. Por exemplo, considerando um comprador b , qual a quantidade ótima de produto x_{sb} que ele deveria comprar de cada fornecedor $s: 1, \dots, S$ de forma a maximizar a sua função valor multiatributo $MAVT_b(x_{s_1b}, \dots, x_{s_sb})$, sem considerar os demais compradores. Similarmente, considerando um vendedor s , qual a quantidade ótima de produto x_{sb} que ele deveria vender para cada comprador $b: 1, \dots, B$ de forma a maximizar a sua função valor multiatributo $MAVT_s(x_{sb_1}, \dots, x_{sb_B})$, sem considerar os demais fornecedores.

O desvio absoluto (DA) (Equação 3.21) é obtido através do módulo da diferença entre a otimização global $Z_{(s,b)}^*$ e os valores meta $Z_{(s,b)}$ dividido pelos valores meta. Além disso, para garantir uma determinada equidade de desempenho entre todos os compradores e entre todos

os vendedores, adicionou-se mais uma restrição (Equação 3.18) que limita essa diferença a dois limiares: um para o grupo de fornecedores δ_s e outro para o grupo de compradores δ_b .

$$\min \left[CP = \left\{ \sum_{i=1}^{S+B} \alpha_i [Z_i^* - Z_i(x_{sb})]^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \right] \quad (3.17)$$

$$\text{Sujeito à} \quad \begin{cases} DA_{s_i} - DA_{s_j} \leq \delta_s \\ DA_{b_i} - DA_{b_j} \leq \delta_b \end{cases} \quad (3.18)$$

$$\text{onde} \quad \sum_{i=1}^{S+B} \alpha_i = 1 \quad (3.19)$$

$$Z_{(s,b)_i}^* = \begin{cases} \max[MAVT_b(x_{s_1b}, \dots, x_{s_sb})], & \forall i = 1, \dots, b, \dots, B \\ \max[MAVT_s(x_{sb_1}, \dots, x_{sb_B})], & \forall i = 1, \dots, s, \dots, S \end{cases} \quad (3.20)$$

$$DA_{(s,b)_i} = \frac{|Z_{(s,b)_i} - Z_{(s,b)_i}^*|}{Z_{(s,b)_i}^*}, \quad \forall i = 1, \dots, B, 1, \dots, S \quad (3.21)$$

4.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE O CAPÍTULO

Neste capítulo foi apresentada e detalhada a modelagem utilizada neste trabalho, que tem como finalidade auxiliar os decisores na gestão de uma cadeia imediata composta por múltiplos compradores e múltiplos fornecedores, onde ambos desejam maximizar seus índices como também levar em consideração os objetivos dos outros participantes, de modo a obter uma parceria a longo prazo de oferta e demanda. Essa cadeia imediata é representada por um *cluster* formado por pequenos produtores e fabricos da região do Agreste pernambucano, que geralmente são familiares e conhecidos, facilitando a comunicação, o relacionamento e a cooperação entre os membros.

Para isso foi considerado os objetivos, parâmetros e critérios de todos os decisores, para em primeiro momento maximizá-los a partir do método de agregação aditivo determinístico e encontrar o valor meta de cada decisor, e em seguida, em se tratando de uma situação multiobjetivo, para construir a função objetivo de critério global foi utilizada a metodologia de aglutinação *compromise programming* de forma a otimizar todos os objetivos simultaneamente, diminuindo a distância entre o valor meta do objetivo ideal individual e o valor do objetivo

global encontrado a partir da otimização, levando em consideração os outros decisores. Para a redução da distância é utilizado um limiar representado pela porcentagem de equidade, esta é determinada em comum acordo entre todos os decisores e apropriada para cada situação de decisão.

5 ESTUDO DE CASO

Neste capítulo será apresentado um estudo de caso utilizando o modelo proposto. Contextualizando, Santos e Duarte (2015) declaram que a maioria das empresas pernambucanas de laticínios se caracterizam por pequenos e médios produtores, muitas dessas são empresas familiares. Em algumas situações os compradores disponibilizam o tanque de resfriamento para o armazenamento de leite dos seus fornecedores em potencial, em outros casos os fornecedores se juntam entre si na obtenção e divisão de mantimentos para a produção leiteira.

5.1 IDENTIFICAÇÃO DO ESCOPO DO PROBLEMA

A região foco do estudo integra o APL de laticínios do estado de Pernambuco, onde os decisores do modelo são compostos por fornecedores e compradores, constituídos por pequenos produtores de leite que tem como principal atividade a produção de leite *in natura*, e por pequenos fabricos de laticínios que utilizam o insumo principalmente para transformar em derivados lácteos (queijo, manteiga, etc.), respectivamente. Sendo assim, a cadeia imediata é a formada pelos fornecedores de leite e pelos clientes imediatos (os compradores) que são os transformadores do leite.

5.2 FORMAÇÃO DO CLUSTER E IDENTIFICAÇÃO DOS OBJETIVOS DOS DECISORES

A cadeia imediata de suprimento em estudo é composta por 5 fornecedores e 4 compradores, formando um *cluster* com 9 decisores. As variáveis de decisão serão representadas pela quantidade de leite x_{sb} (em litros) comprado/vendido entre todos os atores da cadeia imediata.

Desta forma, direcionando-se a saber a quantidade de insumo que cada comprador irá adquirir e cada fornecedor irá disponibilizar visando uma configuração otimizada e alinhada ao que os participantes consideram os objetivos (critérios) mais importantes dentro da negociação de compra e venda do insumo.

5.3 IDENTIFICAÇÃO DOS CRITÉRIOS

Os critérios referem-se ao grau em os objetivos são atingidos, ou seja, para cada objetivo previamente estabelecido pelos decisores, deve-se ter uma variável que possa medir o grau de

desempenho que se pode obter nesse objetivo, logo, os critérios estão interligados aos objetivos dos decisores. Para estabelecer uma família coerente de critérios deve-se atender a três propriedades, conforme Roy (1996) as propriedades são: (a) não redundância; (b) exaustividade: todos os critérios devem estar presentes, no sentido de representar todos os objetivos do problema; (c) consistência: as preferências do decisor em relação a cada critério devem ser coerentes com a avaliação global. Dessa forma, neste estudo os critérios escolhidos e a quantidade escolhida para cada conjunto de critérios Y e K , foram obtidos de forma direta e em comum acordo entre os respectivos grupos de decisores (compradores e vendedores) evidenciando o consenso entre eles. Destaca-se o perfil dos decisores integrantes deste estudo, como sendo pequenos produtores de leite *in natura* e pequenos fabricos, onde a principal produção é basicamente queijo de coalho e manteiga. Para o conjunto de critérios dos compradores (Y) são considerados os seguintes critérios:

1. Preço do leite (y_1): é o valor pago pelo comprador ao fornecedor por cada litro de leite, dado em (R\$/litro) esse critério é de minimização;
2. Distância (y_2): é a localização geográfica de cada fornecedor, esse critério reflete a distância a ser percorrida pelo comprador para a coleta de leite, é dado em (Km) e também é um critério de minimização;
3. Qualidade (y_3): é conhecido como um critério muito utilizado no setor alimentício, este critério tem o objetivo de expressar a percepção da qualidade do produto avaliada pelo comprador para cada fornecedor, é avaliada pela escala verbal de *Likert* descrita na Tabela 4 variando de 0 a 1, este critério é de maximização; e

Tabela 4 – Escala verbal de *Likert* utilizada para avaliação do critério qualidade

| Nível do critério | Descrição do nível do critério |
|--------------------|--------------------------------|
| 0 ~ 0,20 | Muito baixo |
| 0,21 ~ 0,40 | Baixo |
| 0,41 ~ 0,60 | Médio |
| 0,61 ~ 0,80 | Alto |
| 0,81 ~ 1 | Muito alto |

Fonte: A Autora (2021)

4. Porcentagem de atendimento da demanda (y_4) porcentagem de atendimento da demanda: é dada pela compra da quantidade de produto x_{sb} , isto é, o comprador deseja comprar ao

máximo do leite de um único fornecedor, de forma a manter a homogeneidade do produto. É dado em (%) e é um critério de maximização.

Para o conjunto de critérios dos fornecedores (K) os critérios considerados são:

1. Lucro (k_1): este critério é obtido pela diferença da receita menos o custo do litro de leite é dado por (R\$/litro), este critério é de maximização;
2. Distância (k_2): também é considerado o critério da distância pelos fornecedores, é dado por (km), onde este critério é de minimização;
3. Apoio técnico (k_3): este critério objetiva traduzir o quanto o comprador pode ajudar o fornecedor seja em disponibilização de tanques de resfriamento ou de outra forma, isto refletirá na questão de melhor cooperação entre vendedores e compradores, este critério é dado em % de apoio e é de maximização; e
4. Porcentagem de atendimento da capacidade (k_4): é dada pela venda da quantidade de produto x_{sb} , isto é, o fornecedor deseja vender ao máximo do leite para um único comprador, já que facilitará seu processo de distribuição do leite, uma vez que os fornecedores são de pequeno e médio porte. Destaca-se que em outras situações, talvez os fornecedores desejem diversificar ao máximo a quantidade de clientes, pois assim diminuirá sua dependência com determinado cliente. Este critério é dado em (%) e é de maximização.

5.4 MODELAGEM DE PREFERÊNCIAS DOS DECISORES

Para a elicitación das constantes de escalas, foi conduzida uma pesquisa com os fornecedores e compradores com o intuito de analisar qual o perfil de cada um dos pesquisados, considerando neste desenvolvimento não apenas o grau de importância de cada critério, como também as consequências de cada valor para o objetivo de desempenho. Os dados do presente estudo foram coletados no ano de 2020.

As matrizes de desempenho para compradores e fornecedores são mostradas nas Tabelas 5 e 6, respectivamente. Percebe-se que a demanda total da cadeia imediata é menor que a capacidade total dos fornecedores, isto é, $(\sum_b D_b < \sum_s Cap_s)$. Desta forma, existirá um excesso de leite (1200 litros de leite por dia) que deverá ser negociada externamente à cadeia imediata ou ser absorvida pela cadeia imediata aumentando as demandas dos compradores.

Tabela 5 – Matriz de desempenho para os compradores (b)

| D_b | b_1 | | | | b_2 | | | | b_3 | | | | b_4 | | | |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 3500 | | | | 4000 | | | | 2800 | | | | 3000 | | | |
| | y_1 | y_2 | y_3 | y_4 |
| w_{by} | 0,33 | 0,17 | 0,22 | 0,28 | 0,20 | 0,12 | 0,45 | 0,23 | 0,21 | 0,08 | 0,47 | 0,24 | 0,32 | 0,15 | 0,36 | 0,17 |
| s_1 | 1,30 | 2,53 | 0,91 | * | 1,35 | 11,20 | 0,91 | * | 1,32 | 8,32 | 0,91 | * | 1,36 | 12,45 | 0,91 | * |
| s_2 | 1,25 | 1,15 | 0,68 | * | 1,26 | 10,30 | 0,68 | * | 1,30 | 7,89 | 0,68 | * | 1,28 | 11,23 | 0,68 | * |
| s_3 | 1,15 | 0,50 | 0,79 | * | 1,18 | 3,55 | 0,79 | * | 1,15 | 0,68 | 0,79 | * | 1,20 | 6,89 | 0,79 | * |
| s_4 | 1,05 | 7,92 | 0,72 | * | 1,08 | 2,68 | 0,72 | * | 1,12 | 6,74 | 0,72 | * | 1,05 | 0,59 | 0,72 | * |
| s_5 | 1,20 | 10,05 | 0,90 | * | 1,15 | 0,74 | 0,90 | * | 1,20 | 3,05 | 0,90 | * | 1,22 | 2,46 | 0,90 | * |
| E | 1,50 | 12,50 | 0,70 | * | 1,50 | 19,60 | 0,70 | * | 1,50 | 18,00 | 0,70 | * | 1,45 | 22,40 | 0,70 | * |

*Estimado por x_{sb}/D_b

Fonte: A Autora (2021)

Tabela 6 – Matriz de desempenho para os fornecedores (s)

| Cap_s | s_1 | | | | s_2 | | | | s_3 | | | |
|------------|----------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|
| | 3000 | | | | 2500 | | | | 3200 | | | |
| C_{prod} | R\$ 1,07 | | | | R\$ 1,00 | | | | R\$ 0,97 | | | |
| | k_1 | k_2 | k_3 | k_4 | k_1 | k_2 | k_3 | k_4 | k_1 | k_2 | k_3 | k_4 |
| w_{sk} | 0,36 | 0,13 | 0,24 | 0,27 | 0,30 | 0,18 | 0,24 | 0,28 | 0,32 | 0,13 | 0,26 | 0,29 |
| b_1 | 0,23 | 2,53 | 0,88 | * | 0,25 | 1,15 | 0,72 | * | 0,18 | 0,50 | 0,90 | * |
| b_2 | 0,28 | 11,20 | 0,74 | * | 0,26 | 10,30 | 0,81 | * | 0,21 | 3,55 | 0,65 | * |
| b_3 | 0,25 | 8,32 | 0,69 | * | 0,30 | 7,89 | 0,60 | * | 0,18 | 0,68 | 0,92 | * |
| b_4 | 0,29 | 7,89 | 0,68 | * | 0,28 | 0,68 | 0,67 | * | 0,23 | 6,74 | 0,72 | * |
| E | 0,03 | 16,00 | 0,40 | * | 0,10 | 23,40 | 0,40 | * | 0,13 | 20,60 | 0,40 | * |

| Cap_s | s_4 | | | | s_5 | | | |
|------------|----------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|
| | 3300 | | | | 2500 | | | |
| C_{prod} | R\$ 0,95 | | | | R\$ 1,02 | | | |
| | k_1 | k_2 | k_3 | k_4 | k_1 | k_2 | k_3 | k_4 |
| w_{sk} | 0,28 | 0,16 | 0,24 | 0,32 | 0,27 | 0,20 | 0,23 | 0,30 |
| b_1 | 0,10 | 7,92 | 0,89 | * | 0,18 | 10,05 | 0,69 | * |
| b_2 | 0,13 | 2,68 | 0,75 | * | 0,13 | 0,74 | 0,94 | * |
| b_3 | 0,17 | 6,74 | 0,69 | * | 0,18 | 3,05 | 0,85 | * |
| b_4 | 0,10 | 3,05 | 0,85 | * | 0,20 | 18,00 | 0,61 | * |
| E | 0,10 | 23,05 | 0,40 | * | 0,08 | 25,70 | 0,40 | * |

*Estimado por x_{sb}/Cap_s

Fonte: A Autora (2021)

5.5 MAXIMIZAÇÃO DAS FUNÇÕES INDIVIDUAIS DOS DECISORES

Como mencionado anteriormente, para a construção da função multiobjetivo usou-se o método de aglutinação através do *Compromise Programming* (CP) (Equação 3.17). Para isso é necessário encontrar os valores metas $Z_{(s,b)_i}^*$ para cada fornecedor e comprador; portanto, considerando a realização da normalização das matrizes de desempenho (Equações 3.15 e 3.16) e calculando as funções valores para cada comprador e vendedor (Equações 3.13 e 3.14), parte-se para a estimação dos valores meta $Z_{(s,b)_i}^*$ (Equação 3.20).

Vale salientar que, os valores meta $Z_{(s,b)_i}^*$ representam o ganho máximo multicritério obtido por cada comprador e vendedor individualmente de acordo com suas respectivas quantidades de leite (x_{sb}) negociadas, dessa forma, pela Tabela 7 observa-se que o fornecedor s_2 não foi selecionado por nenhum comprador e que a maioria dos compradores compraram do fornecedor s_1 . Em relação aos compradores, os compradores b_3 e b_4 não foram selecionados por nenhum fornecedor, o comprador b_1 obteve uma oferta da capacidade inteira de 3 diferentes fornecedores (s_1, s_2 e s_3), como também o comprador b_2 obteve uma oferta da capacidade inteira dos outros 2 fornecedores (s_4 e s_5). Em resumo, isso representa a maximização dos objetivos individuais de cada decisor, por isso muitos selecionam o mesmo fornecedor e até compram a maior capacidade dele, do mesmo modo acontece com a seleção do comprador pelos fornecedores. Mostrando também a relevância do modelo multiobjetivo colaborativo, pois dessa forma os decisores passam a considerar o objetivo um do outro.

Tabela 7 – Valores metas e respectivos x_{sb}

| $Z_{b_1}^* = 0,77$ $Z_{b_2}^* = 0,73$ $Z_{b_3}^* = 0,81$ $Z_{b_4}^* = 0,68$ | | | | $Z_{s_1}^* = 0,87$ $Z_{s_2}^* = 0,84$ $Z_{s_3}^* = 0,84$ $Z_{s_4}^* = 0,73$ $Z_{s_5}^* = 0,83$ | | | | | |
|---|-------|-------|-------|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| x_{sb} | | | | x_{sb} | | | | | |
| | b_1 | b_2 | b_3 | b_4 | s_1 | s_2 | s_3 | s_4 | s_5 |
| s_1 | 0 | 1500 | 2800 | 500 | b_1 | 3000 | 2500 | 3200 | 0 |
| s_2 | 0 | 0 | 0 | 0 | b_2 | 0 | 0 | 0 | 3300 |
| s_3 | 3200 | 0 | 0 | 0 | b_3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| s_4 | 0 | 0 | 0 | 0 | b_4 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| s_5 | 300 | 2500 | 0 | 2500 | b_E | 0 | 0 | 0 | 0 |
| s_E | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | |

Fonte: A Autora (2021)

5.6 OTIMIZAÇÃO DA FUNÇÃO MULTIOBJETIVO

Posteriormente, otimiza-se a função multiobjetivo minimizando a função CP (Equação 3.17). Os pesos entre os atores da função multiobjetivo foram considerados iguais para todos, isto é, $\alpha_i = 0,11$. Os resultados obtidos são mostrados na Tabela 8.

Tabela 8 – Resultados da função objetivo SEM/COM processo de otimização multiobjetivo

| | Resultados SEM o processo de otimização multiobjetivo | | | | Resultados COM o processo de otimização multiobjetivo | | | $\frac{(Z_i - Z_i^{SEM})}{Z_i^{SEM}} \%$ |
|-------|---|-------------|------------|------------|---|--------|------|--|
| | Z_i^* | Z_i^{SEM} | DA^{SEM} | CP^{SEM} | Z_i | DA | CP | |
| b_1 | 0,77 | 0,71 | 7,80% | 0,02 | 0,62 | 19,72% | 0,05 | -12,93% |
| b_2 | 0,73 | 0,65 | 11,60% | 0,03 | 0,58 | 20,29% | 0,05 | -9,83% |
| b_3 | 0,81 | 0,65 | 19,60% | 0,05 | 0,65 | 19,29% | 0,05 | 0,39% |
| b_4 | 0,68 | 0,41 | 40,10% | 0,09 | 0,55 | 19,29% | 0,04 | 34,75% |
| s_1 | 0,87 | 0,87 | 0,00% | 0,00 | 0,69 | 20,92% | 0,06 | -20,92% |

| | | | | | | | | |
|-------|------|----------------------------|----------------|----------------|----------------------------|----------------|----------------|---------|
| s_2 | 0,84 | 0,49 | 42,11% | 0,12 | 0,67 | 20,92% | 0,06 | 36,60% |
| s_3 | 0,84 | 0,73 | 12,68% | 0,04 | 0,67 | 19,92% | 0,06 | -8,29% |
| s_4 | 0,73 | 0,58 | 19,87% | 0,05 | 0,58 | 19,92% | 0,05 | -0,05% |
| s_5 | 0,83 | 0,83 | 0,00% | 0,00 | 0,66 | 19,92% | 0,05 | -19,92% |
| | | Σ | 153,76% | 0,39370 | Σ | 180,17% | 0,47390 | |
| | | DPM | 17,08% | | DPM | 20,02% | | |

Fonte: A Autora (2021)

5.7 RESULTADO DE ORDEM DE PEDIDO

Na Tabela 9 mostra-se os valores otimizados das quantidades de produto x_{sb} vendido/comprado entre os vendedores s e compradores b . Para tais resultados foi utilizado uma porcentagem de 1% de equidade entre os membros da cadeia, decidida em comum acordo entre os decisores, entretanto na análise de sensibilidade da próxima seção foram descritos cenários com diferentes porcentagens.

Tabela 9 – Valores otimizados x_{sb} vendidos/comprados referente as funções multiobjetivo $max[Z_{s_1}, \dots, Z_{s_5}, Z_{b_1}, \dots, Z_{b_5}]$

| | x_{sb} | | | | x_{sb} | | | | | |
|-------|----------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | b_1 | b_2 | b_3 | b_4 | s_1 | s_2 | s_3 | s_4 | s_5 | |
| s_1 | 0,00 | 818,86 | 2181,14 | 0,00 | b_1 | 0,00 | 1266,24 | 2233,76 | 0,00 | 0,00 |
| s_2 | 1266,24 | 931,64 | 299,88 | 2,24 | b_2 | 818,86 | 931,64 | 171,64 | 0,00 | 2077,87 |
| s_3 | 2233,76 | 171,64 | 318,98 | 358,51 | b_3 | 2181,14 | 299,88 | 318,98 | 0,00 | 0,00 |
| s_4 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 2639,25 | b_4 | 0,00 | 2,24 | 358,51 | 2639,25 | 0,00 |
| s_5 | 0,00 | 2077,87 | 0,00 | 0,00 | b_E | 0,00 | 0,00 | 117,11 | 660,75 | 422,13 |
| s_E | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | | | | | |

Fonte: A Autora (2021)

Para fazer uma análise ante e posterior ao processo de otimização global, tinha-se que a quantidade de produto x_{sb} referente as ordens de pedidos existentes são mostradas na Tabela 10. Observa-se pela Tabela 8 (última coluna), que individualmente alguns compradores/vendedores tinham melhores resultados antes do processo de otimização multiobjetivo. No entanto, sob a visão global da cadeia imediata de suprimentos, tem-se que os resultados obtidos pela otimização multiobjetivo obteve um CP de -20,37% melhor e um desvio absoluto (DA) global de -17,18% melhor comparado as ordens de pedido antes do processo de otimização. Desta forma, com a metodologia colaborativa para a cadeia imediata numa visão global consegue-se um maior ganho comparado quando se gera as ordens de pedidos sem o processo de otimização.

Tabela 10 – Quantidade de produto x_{sb} vendidos/comprados sem o modelo de otimização

| | x_{sb} | | | | | x_{sb} | | | | |
|-------|----------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|
| | b_1 | b_2 | b_3 | b_4 | | s_1 | s_2 | s_3 | s_4 | s_5 |
| s_1 | 3000 | 0 | 0 | 0 | b_1 | 3000 | 500 | 0 | 0 | 0 |
| s_2 | 500 | 0 | 0 | 1200 | b_2 | 0 | 0 | 0 | 1500 | 2500 |
| s_3 | 0 | 0 | 2800 | 0 | b_3 | 0 | 0 | 2800 | 0 | 0 |
| s_4 | 0 | 1500 | 0 | 1800 | b_4 | 0 | 1200 | 0 | 1800 | 0 |
| s_5 | 0 | 2500 | 0 | 0 | b_E | 0 | 800 | 400 | 0 | 0 |
| s_E | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | |

Fonte: A Autora (2021)

5.8 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Conforme de Almeida (2013) afirma, de forma simplificada, a análise de sensibilidade trata de um estudo e análise do impacto provocado na saída do modelo, por variações na entrada deste. Ou seja, avalia que impacto é ocasionado por variações nos dados de entrada ou nos parâmetros do modelo sobre a solução apresentada pelo modelo.

No primeiro momento o modelo foi executado desconsiderando a restrição da equidade (Equação 3.18), onde a otimização atingiu um valor de $CP = 0,24803$, menor do que considerando essa restrição, o que era esperado acontecer, já que a restrição de equidade força o modelo a considerar um desempenho igualitário entre os decisores do processo, conseqüentemente o valor CP diminui, dado que, as DA devem ser menores ou iguais aos limiares δ_s e δ_b considerados. No entanto, conforme a Tabela 11, o valor máximo da diferença absoluta atingiu $DA_{s_2} = -39,2001\%$, demonstrando a falta de equidade e a importância da restrição da equidade para os fornecedores/compradores.

Em seguida, partiu-se para a inserção da restrição de equidade, inicialmente com os limiares δ_s e δ_b igual a 25%. Pela Tabela 12 pode-se observar um pequeno aumento no valor $CP = 0,27701$, entretanto, um decréscimo do valor máximo da diferença absoluta, que atingiu $DA_{s_2} = 29,4965\%$.

Tabela 11 – Menor valor de CP sem restrição de equidade

| | Z_i^* | Z_i^{SEMR} | $\frac{(Z_i^{SEMR} - Z_i^*)}{Z_i^*} \%$ | $Z_i^{SEMR} - Z_i^*$ |
|-------|---------|--------------|---|----------------------|
| b_1 | 0,77 | 0,76 | -0,3292% | 0,00 |
| b_2 | 0,73 | 0,58 | -20,8196% | -0,15 |
| b_3 | 0,81 | 0,81 | 0,0000% | 0,00 |
| b_4 | 0,68 | 0,59 | -13,8512% | -0,09 |
| s_1 | 0,87 | 0,75 | -13,2720% | -0,12 |
| s_2 | 0,84 | 0,51 | -39,2002% | -0,33 |
| s_3 | 0,84 | 0,84 | 0,0000% | 0,00 |
| s_4 | 0,73 | 0,68 | -6,7685% | -0,05 |
| s_5 | 0,83 | 0,83 | 0,0000% | 0,00 |

| | |
|------------|----------------|
| Σ | 94,2407% |
| DPM | 10,4712% |
| CP | 0,24803 |

Fonte: A Autora (2021)

Para estreitar a equidade foram considerados valores de limiares δ_s e δ_b igual a 5%, pela Tabela 13 pode-se observar um aumento do valor CP = 0,43157, e uma redução da diferença absoluta, onde o valor máximo atingiu $DA_{s_2} = -21,4247\%$.

Tabela 12 – Valor de CP com a restrição de equidade $\leq 25\%$

| | Z_i^* | Z_i^{COMR25} | $\frac{(Z_i^{COMR25} - Z_i^*)}{Z_i^*} \%$ | $Z_i^{COMR25} - Z_i^*$ |
|------------|---------|----------------|---|------------------------|
| b_1 | 0,77 | 0,73 | -4,9210% | -0,04 |
| b_2 | 0,73 | 0,57 | -22,6560% | -0,17 |
| b_3 | 0,81 | 0,81 | 0,0000% | 0,00 |
| b_4 | 0,68 | 0,59 | -13,8512% | -0,09 |
| s_1 | 0,87 | 0,72 | -17,4849% | -0,15 |
| s_2 | 0,84 | 0,59 | -29,4965% | -0,25 |
| s_3 | 0,84 | 0,80 | -4,4965% | -0,04 |
| s_4 | 0,73 | 0,67 | -7,9175% | -0,06 |
| s_5 | 0,83 | 0,79 | -4,4965% | -0,04 |
| Σ | | | 105,32% | |
| DPM | | | 11,70% | |
| CP | | | 0,27701 | |

Fonte: A Autora (2021)

Para finalizar, de acordo com a Tabela 14, foram considerados os limiares mínimos de δ_s e $\delta_b = 1\%$, é possível perceber que as DA ficaram entre -19,2885% e -20,9172% com um DPM = 20,02%, levando a uma considerável equidade entre os desempenhos de todos os compradores e fornecedores. O valor CP atingiu 0,47390, entretanto pode-se ver que a amplitude máxima entre os valores Z_i^{COMR1} e Z_i^* é de apenas 0,05, comprovando mais uma vez a importância da restrição de equidade. Além disso, quando considerado um sigma menor que 1%, não houve alternativa viável, logo, o conjunto se tornou vazio.

Tabela 13 – Valor de CP com a restrição de equidade $\leq 5\%$

| | Z_i^* | Z_i^{COMR5} | $\frac{(Z_i^{COMR5} - Z_i^*)}{Z_i^*} \%$ | $Z_i^{COMR5} - Z_i^*$ |
|----------|---------|---------------|--|-----------------------|
| b_1 | 0,77 | 0,64 | -16,2942% | -0,13 |
| b_2 | 0,73 | 0,58 | -21,2942% | -0,16 |
| b_3 | 0,81 | 0,68 | -16,2942% | -0,13 |
| b_4 | 0,68 | 0,56 | -17,7374% | -0,12 |
| s_1 | 0,87 | 0,70 | -19,6992% | -0,17 |
| s_2 | 0,84 | 0,66 | -21,4247% | -0,18 |
| s_3 | 0,84 | 0,68 | -18,3943% | -0,15 |
| s_4 | 0,73 | 0,61 | -16,4247% | -0,12 |
| s_5 | 0,83 | 0,69 | -16,4247% | -0,14 |
| Σ | | | 163,99% | |

| | |
|------------|----------------|
| DPM | 18,22% |
| CP | 0,43157 |

Fonte: A Autora (2021)

Para estreitar a equidade foram considerados valores de limiares δ_s e δ_b igual a 5%, pela Tabela 13 pode-se observar um aumento do valor CP = 0,43157, e uma redução da diferença absoluta, onde o valor máximo atingiu $DA_{s_2} = -21,4247\%$.

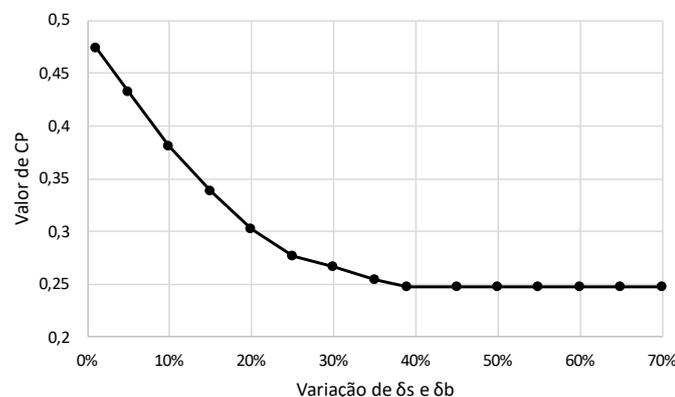
Analisando, portanto, o comportamento da variação da porcentagem da restrição de equidade (δ_s e δ_b), tem-se que variações acima de cerca de 39% não interferem no processo de otimização do valor de CP, ou seja, obtêm-se o valor mínimo de CP próximo a 0,2480, conforme mostrado na Gráfico 2. Em outras palavras, quanto menor for a porcentagem de equidade entre os membros, poucos vão ganhar muito, ou seja, mais desigual, o contrário também é verdadeiro, quanto maior a porcentagem de equidade, o *cluster* pode ter um menor ganho evidenciado pelo CP, porém todos ganham.

Tabela 14 – Valor de CP com a restrição de equidade $\leq 1\%$

| | Z_i^* | Z_i^{COMR1} | $\frac{(Z_i^{COMR1} - Z_i^*)}{Z_i^*} \%$ | $Z_i^{COMR1} - Z_i^*$ |
|-------------------------|----------------------------|---------------|--|-----------------------|
| b_1 | 0,77 | 0,62 | -19,7206% | -0,15 |
| b_2 | 0,73 | 0,58 | -20,2885% | -0,15 |
| b_3 | 0,81 | 0,65 | -19,2885% | -0,16 |
| b_4 | 0,68 | 0,55 | -19,2885% | -0,13 |
| s_1 | 0,87 | 0,69 | -20,9172% | -0,18 |
| s_2 | 0,84 | 0,67 | -20,9172% | -0,18 |
| s_3 | 0,84 | 0,67 | -19,9172% | -0,17 |
| s_4 | 0,73 | 0,58 | -19,9172% | -0,14 |
| s_5 | 0,83 | 0,66 | -19,9172% | -0,16 |
| | Σ | | 180,17% | |
| | DPM | | 20,02% | |
| | CP | | 0,47390 | |

Fonte: A Autora (2021)

Gráfico 2 - Valores de CP de acordo com a variação da restrição de equidade (δ_s e δ_b)



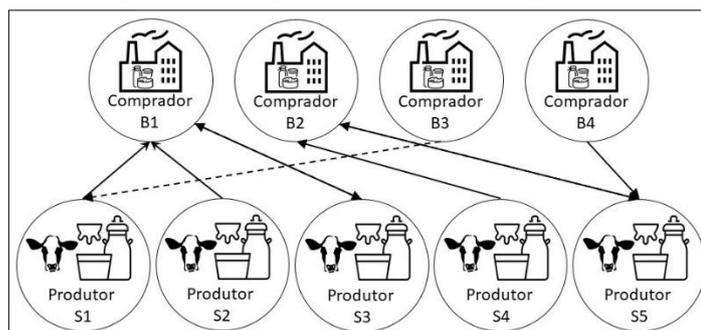
Fonte: A Autora (2021)

5.9 ANÁLISE GERENCIAL

Perante os resultados da otimização global da quantidade de produto negociado x_{sb} descritos na Tabela 7, podem ser consideradas algumas particularidades, tais como: i) a necessidade de um bom relacionamento entre os membros da cadeia imediata, já que quase todos compram/vendem de/para mais de um membro, e apenas os fornecedores s_4 e s_5 negociam sozinhos; ii) observa-se que a venda para compradores externos b_e do excesso de capacidade de produção de leite realizada por três fornecedores (s_3, s_4, s_5). Isto permite visualizar novas oportunidades para o aumento da demanda dos compradores visto que a capacidade não vendida pelos fornecedores foi apenas do excesso de produção de leite, e não decorrente de que os compradores externos (b_e) serem mais atraentes do que os compradores (b_i) da cadeia interna.

A Figura 4 mostra uma análise usando os valores meta $Z_{(s,b)_i}^*$ da Tabela 5, com a finalidade de observar quem seriam os principais fornecedores para cada comprador, ou seja, o comprador que compra a maior quantidade da capacidade do fornecedor, neste caso, os fornecedores (s_1, s_2, s_3) venderiam toda a sua capacidade para o comprador (b_1), os fornecedores (s_4, s_5) para o comprador (b_2). E os principais compradores para cada fornecedor, ou seja, aquele que o fornecedor vende a maior quantidade até suprir a demanda do comprador, como pode-se ver os compradores (b_2 e b_4) e (b_1) comprariam a maior quantidade do fornecedor (s_5) e (s_3), respectivamente, o comprador (b_3) compraria toda sua demanda do fornecedor (s_1). Percebe-se também que os fornecedores (s_2 e s_4) não seriam os principais fornecedores para nenhum comprador, o mesmo acontece com os compradores (b_3 e b_4). A relevância dessa análise é evidenciar a necessidade de melhoria de alguns aspectos das dimensões desses fornecedores para que sejam mais preferíveis para os compradores, também no caso contrário.

Figura 4 - Principais fornecedores e compradores



Fonte: A Autora (2021)

Tais observações fazem surgir alguns questionamentos, como por exemplo: o que poderia ser melhorado entre os membros para que seja mais atrativo dentro da cadeia imediata? qual membro seria elegido para tal melhoria? qual o custo financeiro para essa melhoria? Algumas respostas elementares seriam: aumentar a capacidade de fornecimento do fornecedor; aumentar a qualidade do produto (leite) do fornecedor; investir na porcentagem de apoio técnico dado pelos compradores aos fornecedores.

Diante disso, pondera-se a necessidade de uma análise gerencial dos resultados obtidos, com o objetivo de investigar as possíveis melhorias que poderiam ser feitas por parte dos membros da cadeia imediata, visando o ganho mútuo entre os membros bem como o crescimento no mercado.

A análise gerencial visa mostrar, com base nos dados e informações contábeis, a posição econômico-financeiro-patrimonial atual da empresa, a fim de que os interessados possam tomar as decisões necessárias. A análise gerencial se tornou indispensável para a sobrevivência em qualquer organização, independentemente do seu porte, pois ela tem como finalidade obter e gerar informações para servir de apoio na tomada de decisões, ocasionando assim uma maior eficácia gerencial, sempre atribuindo seu foco na necessidade da organização (OLIVEIRA, 2017).

Para a constituição da análise gerencial parte-se de algumas observações adquiridas por meio dos resultados do processo de otimização multiobjetivo. Inicialmente foi identificado o menor valor Z_i entre os membros da cadeia imediata, o qual a posição é ocupada pelo s_4 com valor $Z_i = 0,58$, analisando a quantidade de produto x_{sb} negociado entre o fornecedor s_4 e todos os compradores b_i descritos na Tabela 15 percebe-se que o mesmo só vende para o comprador b_4 e o restante para um comprador externo b_E , além disso, o mesmo detém a maior capacidade entre todos os fornecedores, de 3300 litros de leite. Dessa forma, questiona-se o que poderia ser feito para melhorar o desempenho deste fornecedor dentro da cadeia imediata e conseqüentemente para todos os membros. Para responder essa pergunta, analisou-se as funções valor de cada critério y_i do s_4 para cada comprador b_i descritas na Tabela 16, as considerações estão descritas a seguir:

- Critério (preço) y_1 : percebe-se que o s_4 possui o menor preço de venda entre todos os outros s_i para todos os b_i ;

- Critério (distância) y_2 : o s_4 não detém a maior distância comparando-se com os outros s_i para todos b_i , assim como todas as constantes de escala w_2 referentes ao critério distância de todos os b_i são as menores dentre os outros critérios;
- Critério (qualidade) y_3 : o s_4 possui a segunda menor qualidade comparando com os valores de todos os outros s_i para todos os b_i ;
- Critério (porcentagem de atendimento da demanda) y_4 : para esta análise não foi considerada a porcentagem de atendimento da demanda, pois os valores são estimados por x_{sb}/D_b , sendo assim, teria que ser alterado o valor da demanda.

Tabela 15 – Valores otimizados x_{sb} vendidos referente as funções multiobjetivo $max[Z_{s_1}, \dots, Z_{s_5}]$

| | x_{sb} | | | | |
|---------|----------|---------|---------|----------------|---------|
| | s_1 | s_2 | s_3 | s_4 | s_5 |
| b_1 | 0,00 | 1266,24 | 2233,76 | 0,00 | 0,00 |
| b_2 | 818,86 | 931,64 | 171,64 | 0,00 | 2077,87 |
| b_3 | 2181,14 | 299,88 | 318,98 | 0,00 | 0,00 |
| b_4 | 0,00 | 2,24 | 358,51 | 2639,25 | 0,00 |
| b_E | 0,00 | 0,00 | 117,11 | 660,75 | 422,13 |
| Cap_s | 3000 | 2500 | 3200 | 3300 | 2500 |

Fonte: A Autora (2021)

Mesmo o critério qualidade do s_4 não sendo o menor entre os s_i , o mesmo foi escolhido por não ser um critério de valores fixos, como a distância, o qual não se pode mover a localização do fornecedor de um lugar para outro. Desse modo, comparando com o fornecedor localizado logo acima da sua posição, neste caso, o s_5 com $Z_{s_5} = 0,66$, o que poderia ser feito pelo s_4 para aumentar sua qualidade em 15% do seu valor Z_{s_4} ?

Tabela 16 – Matriz de desempenho para os compradores (b)

| D_b | b_1 | | | | b_2 | | | | b_3 | | | | b_4 | | | |
|----------|-------------|-------------|-------------|-------|-------------|-------------|-------------|-------|-------------|-------------|-------------|-------|-------------|-------------|-------------|-------|
| | 3500 | | | | 4000 | | | | 2800 | | | | 3000 | | | |
| | y_1 | y_2 | y_3 | y_4 |
| w_{by} | 0,33 | 0,17 | 0,22 | 0,28 | 0,20 | 0,12 | 0,45 | 0,23 | 0,21 | 0,08 | 0,47 | 0,24 | 0,32 | 0,15 | 0,36 | 0,17 |
| s_1 | 1,30 | 2,53 | 0,91 | * | 1,35 | 11,20 | 0,91 | * | 1,32 | 8,32 | 0,91 | * | 1,36 | 12,45 | 0,91 | * |
| s_2 | 1,25 | 1,15 | 0,68 | * | 1,26 | 10,30 | 0,68 | * | 1,30 | 7,89 | 0,68 | * | 1,28 | 11,23 | 0,68 | * |
| s_3 | 1,15 | 0,50 | 0,79 | * | 1,18 | 3,55 | 0,79 | * | 1,15 | 0,68 | 0,79 | * | 1,20 | 6,89 | 0,79 | * |
| s_4 | 1,05 | 7,92 | 0,72 | * | 1,08 | 2,68 | 0,72 | * | 1,12 | 6,74 | 0,72 | * | 1,05 | 0,59 | 0,72 | * |
| s_5 | 1,20 | 10,05 | 0,90 | * | 1,15 | 0,74 | 0,90 | * | 1,20 | 3,05 | 0,90 | * | 1,22 | 2,46 | 0,90 | * |
| E | 1,50 | 12,50 | 0,70 | * | 1,50 | 19,60 | 0,70 | * | 1,50 | 18,00 | 0,70 | * | 1,45 | 22,40 | 0,70 | * |

*Estimado por x_{sb}/D_b

Fonte: A Autora (2021)

Alguns autores fundamentam em seus trabalhos algumas afirmações, técnicas e composições alimentares para um possível aumento na qualidade do leite. Segundo Leira et al. (2018), a qualidade do leite cru pode ser influenciada por inúmeros fatores como, higiene da ordenha e dos utensílios, manejo, alimentação, genética dos rebanhos, obtenção, armazenagem

e transporte do leite. Logo, para haver um aumento da qualidade do produto (leite) por parte dos fornecedores, é necessário está atento a esses quesitos. Para uma melhoria na dieta de bovinos leiteiros devem-se escolher alimentos de todas as classes que comporão a mistura final para os animais, buscando-se sempre volumosos (aquosos ou secos), concentrados energéticos, concentrados proteicos, suplementos minerais e vitamínicos (GONÇALVES; BORGES; FERREIRA, 2009). Sendo assim, para responder a pergunta anterior, é recomendável o fornecedor 4 investir na melhoria da alimentação dos animais, e/ou métodos de higiene e de transporte do produto, em seguida, analisar e quantificar a porcentagem de melhoria no critério qualidade.

5.10 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE O CAPÍTULO

No capítulo 4 foi apresentado como contexto de aplicação o estudo de caso no APL de leite de Pernambuco utilizando o modelo proposto. Inicialmente seguiu-se as etapas do modelo com a identificação do escopo do problema, a formação do *cluster* com 9 decisores e a identificação dos objetivos dos mesmos. Em seguida foram identificados os conjuntos de critérios dos compradores e fornecedores, foram elicitadas as preferências dos decisores com a demonstração das matrizes de desempenho em tabelas. Logo após foi maximizada as funções individuais de cada decisor de modo a adquirir os valores meta para cada um, utilizados como referência na próxima etapa da otimização multiobjetivo. Por fim adquiriu-se o resultado da ordem de pedido contendo a quantidade de produto negociado entre os membros a partir da otimização do CP. Diante disso, foi realizada uma análise ante e posterior de modo a comparar os resultados das ordens de pedido e evidenciar os benefícios da cooperação entre os participantes da cadeia. No próximo passo foi desenvolvida a análise de sensibilidade variando a porcentagem utilizada nos limiares da restrição de equidade, desta forma mostrou-se os resultados, o comportamento e a relevância do uso desta restrição. Para concluir foi feita uma análise gerencial tanto com a ordem de pedidos dos valores meta evidenciando a necessidade de melhoria em alguns aspectos das dimensões dos fornecedores/compradores para que sejam mais preferíveis para os compradores/fornecedores, quanto com os dados das funções objetivo adquiridas no processo da otimização multiobjetivo e as funções valor de cada critério do decisor selecionado para a análise, com o intuito de determinar quais parâmetros poderiam ser melhorados, visando o ganho mútuo entre os membros bem como o crescimento no mercado.

6 CONCLUSÃO

Dentro da realidade vivida pela região estudada, gerenciar a quantidade de produto vendida/comprada de forma satisfatória é o primeiro passo para obter um bom relacionamento e colaboração entre os membros da cadeia, e em consequência vantagens mercadológicas. Nesta situação, o presente trabalho propôs um modelo de otimização global para a cadeia imediata do leite, maximizando todas as funções valor multicritério tanto na visão dos compradores como na visão dos fornecedores, tendo como variável de decisão a quantidade de produto x_{sb} vendido/comprado entre os vendedores s e os compradores b . Para tanto, construiu-se uma função multiobjetivo de critério global utilizando um método de aglutinação, através do *Compromise Programming* (CP).

Foi realizada uma revisão conceitual dos principais tópicos utilizados: apoio a decisão multicritério sendo destacado o modelo de agregação aditiva MAVT, e a Programação Linear Multiobjetivo com o método de aglutinação CP. Por sua vez, a revisão da literatura considera a cadeia produtiva do leite e, além de enfatizar a produção de leite no Brasil, destaca a produtividade no estado de Pernambuco e sua importância para o desenvolvimento estadual como um dos APLs. Outro ponto de desenvolvimento é o uso de métodos multicritério/multiobjetivo para resolver o problema de seleção de fornecedores e seleção de compradores, e alocação de pedidos.

Foi proposto um modelo considerando todas as etapas necessárias para resolver o problema, na forma de um processo estruturado para resolver o modelo multiobjetivo de seleção de fornecedores/compradores.

Com base em todo o conhecimento relacionado ao método, um estudo de caso aplicado em uma cadeia imediata pertencente ao APL do leite de Pernambuco, mostrou-se a aplicabilidade do modelo proposto e os resultados demonstram a necessidade de uma relação próxima entre os membros da cadeia imediata, isto é, manter uma relação colaborativa entre os membros da cadeia do leite. Também se destacou a interpretação de se ter representantes externos à cadeia imediata.

Com a análise de sensibilidade foi possível explorar a variação de porcentagem de equidade e destacar importância de se ter essa restrição no modelo. Já a análise gerencial mostrou-se relevante evidenciando a necessidade de melhoria de alguns aspectos das dimensões dos fornecedores e/ou compradores para que sejam mais preferíveis para os seus respectivos compradores e/ou fornecedores, com a finalidade de aperfeiçoar o relacionamento cooperativo

entre os membros da cadeia garantindo uma relação ganha-ganha, como também visar a prospecção de crescimento no mercado.

Por se ter um ambiente dinâmico, na qual diversas variáveis são mutáveis com o tempo (ex.: preço do leite, custo de produção, etc.) recomenda-se que esse modelo seja executado periodicamente, encontrando novas quantidades x_{sb} ótimos para cada par de relação na cadeia imediata de suprimento. Além disso, destaca-se que o processo de compra/venda do leite acontece diariamente. Portanto, a produção do leite acontece diariamente, as fazendas não deixam de produzir sua capacidade completa, porém, o pedido pelo insumo pode ser menor do que a capacidade, dessa maneira, caso o comprador peça apenas uma parcela da produção, os produtores de leite podem manufaturar o excesso de leite em outros produtos.

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como oportunidade para trabalhos futuros, podem ser realizados:

- O trabalho suporta novas discussões para a cadeia produtiva de leite, podem ser consideradas novas regiões de aplicação, novos estados, que tragam outros critérios e possibilidades diferentes;
- Considerar novas abordagens e conceitos como a decisão em grupo e negociação;
- A construção de um *software* utilizando esse modelo para auxiliar de forma mais prática a tomada de decisão dos membros da cadeia imediata;
- Analisar como o modelo pode ser expandido para a aplicação de uma análise numérica evidenciando a porcentagem de melhoria em parâmetros necessária para o aperfeiçoamento dos membros cadeia imediata.

REFERÊNCIAS

AOUADNI, S.; AOUADNI, I.; REBAÏ, A. A systematic review on supplier selection and order allocation problems. **Journal of Industrial Engineering International** 2019 **15:1**, v. 15, n. 1, p. 267–289, 13 nov. 2019.

BELTON, V.; STEWART, T. J. **Multiple criteria decision analysis: an integrated approach**. [s.l: s.n.].

BÍBLIA. Davídico. Tradução de João Ferreira de Almeida. Rio de Janeiro: King Cross Publicações, 2008. 1110 p. Velho Testamento e Novo Testamento.

BNDES. Nota Técnica 02: Mapeamento, metodologia de identificação e critérios de seleção para políticas de apoio nos Arranjos Produtivos Locais de Pernambuco. p. 114, 2010.

BRASIL. **Sistema OCB: Manual de Boas Práticas de Governança Cooperativa**. Brasília - DF, 2021. Disponível em: <<https://www.ocb.org.br/publicacao/16/manual-de-governanca-cooperativa>>

BRULARD, N.; CUNG, V. D.; CATUSSE, N. Client selection and combination for farm perishable products. **IFAC-PapersOnLine**, v. 50, n. 1, p. 5006–5011, 1 jul. 2017.

BULLER, L. S. **Logística empresarial**. Curitiba: IESDE Brasil, 2012.

CAVALCANTI, H. T. **PROCESSO ESTRUTURADO DE DECISÃO PARA SELEÇÃO DE FORNECEDORES NA BACIA LEITEIRA DE PERNAMBUCO: uma abordagem multicritério**. [s.l.] Universidade Federal de Pernambuco, 2019.

CAVALCANTI, H. T.; GARCEZ, T. V. **SELEÇÃO DE FORNECEDORES BASEADA EM OTIMIZAÇÃO DOS CUSTOS DA CADEIA DE SUPRIMENTOS COM COORDENAÇÃO CENTRALIZADA NA BACIA LEITEIRA DE PERNAMBUCO**. In: L SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 2018, Rio de Janeiro. **Anais...** Campinas: Galoá, 2018 Disponível em: <<https://proceedings.science/sbpo/papers/selecao-de-fornecedores-baseada-em-otimizacao-dos-custos-da-cadeia-de-suprimentos-com-coordenacao-centralizada-na-bacia-#>>. Acesso em: 24 ago. 2021

CHAI, J.; LIU, J. N. K.; NGAI, E. W. T. Application of decision-making techniques in supplier selection: A systematic review of literature. **Expert Systems with Applications**, v. 40, n. 10, p. 3872–3885, ago. 2013.

CHAMODRAKAS, I.; ALEXOPOULOU, N.; MARTAKOS, D. Customer evaluation for order acceptance using a novel class of fuzzy methods based on TOPSIS. **Expert Systems with Applications**, v. 36, n. 4, p. 7409–7415, 1 maio 2009.

CHEN, Y.-J. J. Structured methodology for supplier selection and evaluation in a supply chain. **Information Sciences**, v. 181, n. 9, p. 1651–1670, maio 2011.

CHOI, T.-M. et al. **Supply chain coordination under uncertainty**. [s.l.] Springer Science & Business Media, 2011.

CLÍMACO, J. N.; ANTUNES, C. H.; ALVES, M. J. G. **Programação Linear Multiobjetivo: Do modelo de programação linear clássico à consideração explícita de várias funções objetivo**. Coimbra: [s.n.].

COELLO, C. A. C.; LAMONT, G. B.; VELDHUIZEN, D. A. VAN. **Evolutionary Algorithms for Solving Multi-Objective Problems**. 2. ed. [s.l.] Springer International Publishing, 2007.

CONDEPE/FIDEM. **RESULTADOS DO PIB/PE 3º TRIMESTRE DEMONSTRAM FORTE RECUPERAÇÃO DA ECONOMIA**. Disponível em: <http://www.condepefidem.pe.gov.br/web/condepefidem/exibir_noticia?groupId=19941&articleId=63917446&templateId=18792964>. Acesso em: 22 jan. 2021.

DE ALMEIDA, A. T. **Processo de Decisão nas Organizações: Construindo Modelos de Decisão Multicritério (Decision Process in Organizaions: Building Multicriteria Decision Models)**. 1. ed. São Paulo/SP, Brasil: Editora Atlas, 2013.

DE ALMEIDA, A. T. et al. **Multicriteria and Multiobjective Models for Risk, Reliability and Maintenance Decision Analysis**. 1. ed. Cham: Springer International Publishing, 2015. v. 231

DEB, K. et al. A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. **IEEE**

Transactions on Evolutionary Computation, v. 6, n. 2, p. 182–197, abr. 2002.

DEGRAEVE, Z.; LABRO, E.; ROODHOOFT, F. Constructing a Total Cost of Ownership supplier selection methodology based on Activity-Based Costing and mathematical programming. **Accounting and Business Research**, v. 35, n. 1, p. 3–27, 2005.

DEY, B. et al. A MOORA based fuzzy multi-criteria decision making approach for supply chain strategy selection. **International Journal of Industrial Engineering Computations**, v. 3, p. 649–662, 2012.

EMBRAPA. Anuário Leite 2020 - Leite de vacas felizes. **Anuário do Leite**, p. 104, 2020.

FERNANDES, K. S. **Logística: Fundamentos e Processos**. Curitiba: IESDE Brasil S.A., 2008.

FIGUEIRAS, G. D. CLUSTER INDUSTRIAL: ORGANIZAÇÃO E COOPERAÇÃO INTEREMPRESAS NO PÓLO INDUSTRIAL CALÇADISTA DE BIRIGÜI - SÃO PAULO - BRASIL Gildézio Dias FIGUEIRAS. v. 4, p. 63–76, 2002.

GARCIA, D. J.; YOU, F. Supply chain design and optimization: Challenges and opportunities. v. 81, p. 153–170, 4 out. 2015.

GARDAS, B. B.; RAUT, R. D.; SHRIVASTAV, A. Efficient supplier selection - A three-stage multi-criteria decision-making approach. **International Journal of Logistics Systems and Management**, v. 34, n. 3, p. 375–394, 2019.

GIACON, J. C. R.; YOSHIKAWA, H. T. Y.; MONTIBELLER, G. Supplier selection by multi-attribute combinatorial bidding. **Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences**, p. 1132–1141, 2014.

GONÇALVES, L. C.; BORGES, I.; FERREIRA, P. D. S. **Alimentação de Gado de Leite**. Belo Horizonte: FEPMVZ, 2009.

GUNASEKARAN, A. et al. Multiple sourcing strategies and order allocation: an ANP-AUGMECON meta-model. **Supply Chain Management: An International Journal**, v. 15, n. 4, p. 263–276, 22 jun. 2010.

HANDFIELD, R. **North Carolina Seafood Marketing Workshop The Seafood Global Supply Chain**. [s.l: s.n.].

HO, W.; XU, X.; DEY, P. K. Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review. **European Journal of Operational Research**, v. 202, n. 1, p. 16–24, abr. 2010.

HONG, G. H. et al. An effective supplier selection method for constructing a competitive supply-relationship. **Expert Systems with Applications**, v. 28, n. 4, p. 629–639, 2005.

IBGE. **Pesquisa Industrial Anual**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/Acervo#/S/Q>>. Acesso em: 17 mar. 2021.

IBGE. **Pesquisa Pecuária Municipal**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/Acervo#/S/Q>>. Acesso em: 17 mar. 2021.

IIDA, T. Coordination of cooperative cost-reduction efforts in a supply chain partnership. **European Journal of Operational Research**, v. 222, n. 2, p. 180–190, 2012.

ITEP. **Arranjos Produtivos Locais**. Disponível em: <<http://www.itep.br/arranjos-produtivos-locais>>. Acesso em: 22 jan. 2021.

JAHANGOSHAI REZAEE, M.; YOUSEFI, S.; HAYATI, J. A multi-objective model for closed-loop supply chain optimization and efficient supplier selection in a competitive environment considering quantity discount policy. **Journal of Industrial Engineering International**, v. 13, n. 2, p. 199–213, 1 jun. 2017.

JANVIER-JAMES, A. M. A New Introduction to Supply Chains and Supply Chain Management: Definitions and Theories Perspective. **www.ccsenet.org/ibr International Business Research**, v. 5, n. 1, 2012.

KEENEY, R. L.; RAIFFA, H. **Decisions with multiple objectives: Preferences and Value Trade-Offs**. New York: John Wiley and Son, 1976.

KORPELA, J. et al. An analytic approach to production capacity allocation and supply chain design. **International Journal of Production Economics**, v. 78, n. 2, p. 187–195, 21 jul. 2002.

LAMBERT, D. M.; COOPER, M. C. Issues in supply chain management. **Industrial Marketing Management**, v. 29, n. 1, p. 65–83, 1 jan. 2000.

LEIRA, M. H. et al. Fatores que alteram a produção e a qualidade do leite: Revisão. **Pubvet**, v. 12, n. 5, p. 1–13, 2018.

LIN, H. T.; CHANG, W. L. Order selection and pricing methods using flexible quantity and fuzzy approach for buyer evaluation. **European Journal of Operational Research**, v. 187, n. 2, p. 415–428, 2008.

LIU, S.; PAPAGEORGIU, L. G. Multiobjective optimisation of production, distribution and capacity planning of global supply chains in the process industry. **Omega**, v. 41, n. 2, p. 369–382, 1 abr. 2013.

MIGUEL, P. A. C. et al. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2012.

MOGHADDAM, K. S. Fuzzy multi-objective model for supplier selection and order allocation in reverse logistics systems under supply and demand uncertainty. **Expert Systems with Applications**, v. 42, n. 15–16, p. 6237–6254, 1 set. 2015.

MOHAMMADITABAR, D.; GHODSYPOUR, S. H.; HAFEZALKOTOB, A. A game theoretic analysis in capacity-constrained supplier-selection and cooperation by considering the total supply chain inventory costs. **International Journal of Production Economics**, v. 181, p. 87–97, 2016.

MOHAMMED, A. Towards a sustainable assessment of suppliers: an integrated fuzzy TOPSIS-possibilistic multi-objective approach. **Annals of Operations Research**, p. 1–30, 21 fev. 2019.

NEKOOIE, M. A.; SHEIKHALISHAHI, M.; HOSNAVI, R. Supplier selection considering strategic and operational risks: a combined qualitative and quantitative approach. **Production Engineering**, v. 9, n. 5–6, p. 665–673, dez. 2015.

OLIVEIRA, D. S. DO N. DE. **A IMPORTÂNCIA DA ANÁLISE GERENCIAL NA TOMADA DE DECISÕES DA EMPRESA BETA S/A: Uma análise das demonstrações**

financeiras de 2011 a 2016. [s.l.] UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS, 2017.

PIRES, S. R. I. **Gestão da Cadeia de Suprimentos: Conceitos, Estratégias, Práticas e Casos.** 2. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

PORTER, M. E. Clusters and the New Economics of Competition. **Harvard Business Review**, 1998.

QUAN, M. Y. et al. A Hybrid MCDM Approach for Large Group Green Supplier Selection with Uncertain Linguistic Information. **IEEE Access**, v. 6, p. 50372–50383, 31 ago. 2018.

RENNA, P.; PERRONE, G. Order allocation in a multiple suppliers-manufacturers environment within a dynamic cluster. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 80, n. 1–4, p. 171–182, 19 set. 2015.

RINGUEST, J. L. **Multiobjective optimization: behavioral and computational considerations.** [s.l.] SPRINGER SCIENCE+BUSINESS MEDIA, LLC, 1992. v. 20

ROY, B. **Multicriteria Methodology for Decision Aiding.** [s.l.] SPRINGER-SCIENCE+BUSINESS MEDIA, B.V., 1996.

SADEGHI RAD, R.; NAHAVANDI, N. A novel multi-objective optimization model for integrated problem of green closed loop supply chain network design and quantity discount. **Journal of Cleaner Production**, v. 196, p. 1549–1565, 20 set. 2018.

SANAYEI, A. et al. An integrated group decision-making process for supplier selection and order allocation using multi-attribute utility theory and linear programming. **Journal of the Franklin Institute**, v. 345, n. 7, p. 731–747, 15 out. 2008.

SANTOS, G. O. DOS; DUARTE, M. D. DE O. **DIAGNÓSTICO DO ARRANJO PRODUTIVO LOCAL DE LATICÍNIOS DO AGRESTE PERNAMBUCANO.** [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://www.adagro.pe.gov.br>>. Acesso em: 20 maio. 2020.

SEBRAE. **O que é um APL?** Disponível em: <<https://mundosebrae.wordpress.com/2009/09/11/o-que-e-um-apl/>>. Acesso em: 25 jan. 2021.

SECTI. **PLANO DE MELHORIA DA COMPETITIVIDADE**. Disponível em: <http://www.secti.pe.gov.br/wp-content/uploads/2020/05/PMC_-LATICINIOS_FINAL_04_12_2017.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2021.

SEL, Ç.; BILGEN, B. Quantitative models for supply chain management within dairy industry: a review and discussion. **European J. of Industrial Engineering**, v. 9, n. 5, p. 561, 2015.

SILVA, A. F. DA; MARINS, F. A. S. APLICAÇÃO DA TÉCNICA DA PROGRAMAÇÃO POR COMPROMISSO (COMPROMISE PROGRAMMING) EM PROBLEMAS DE PROJETO E ANÁLISE DE EXPERIMENTOS COM MÚLTIPLAS RESPOSTAS. **Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, 2013.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009. v. 747

USDA. **World Agricultural Supply and Demand Estimates** United States Department of Agriculture, 2019.

VINCKE, P. **Multicriteria decision-aid**. [s.l.] Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1990.

XIANG, W.; SONG, F.; YE, F. Simulation on order allocation within multi-suppliers of industrial cluster. **2011 IEEE 18th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management**, p. 1754–1758, set. 2011.

XIANG, W.; SONG, F.; YE, F. Order allocation for multiple supply-demand networks within a cluster. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 25, n. 6, p. 1367–1376, 2014.

YOU, F.; GROSSMANN, I. E. Design of responsive supply chains under demand uncertainty. **Computers & Chemical Engineering**, v. 32, n. 12, p. 3090–3111, 22 dez. 2008.

YOU, F.; GROSSMANN, I. E. Balancing responsiveness and economics in process supply chain design with multi-echelon stochastic inventory. **AIChE Journal**, v. 57, n. 1, p. 178–192, 1 jan. 2011.

YOUSEFI, S.; MAHMOUDZADEH, H.; JAHANGOSHAI REZAEE, M. Using supply chain visibility and cost for supplier selection: a mathematical model. **International Journal of Management Science and Engineering Management**, v. 12, n. 3, p. 196–205, 3 jul. 2017.

YU, P. L. A Class of Solutions for Group Decision Problems. **Management Science**, v. 19, p. 936–946, 1973.

ZELNY, M. **Compromise programming: Multiple Criteria Decision Making**. Columbia: University of South Carolina Press, 1973.