

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E  
SISTEMAS**

**GUILHERME BOLICO PLETSCH**

**MODELO MULTICRITÉRIO PARA SELEÇÃO E AVALIAÇÃO ECONÔMICA  
DE TECNOLOGIAS DE SEPARAÇÃO DE RESÍDUOS LÁCTEOS**

**DISSERTAÇÃO**

**PATO BRANCO**

**2020**

**GUILHERME BOLICO PLETSCH**

**MODELO MULTICRITÉRIO PARA SELEÇÃO E AVALIAÇÃO ECONÔMICA  
DE TECNOLOGIAS DE SEPARAÇÃO DE RESÍDUOS LÁCTEOS**

**Multicriteriy model for selection and economic evaluation of milk waste  
separation technologies**

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. José Donizetti de Lima.  
Coorientador: Prof. Dr. Dalmarino Setti.

**PATO BRANCO**

**2020**



Esta licença permite apenas que outros façam download dos trabalhos licenciados e os compartilhem desde que atribuam crédito ao autor, mas sem que possam alterá-los de nenhuma forma ou utilizá-los para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



**Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Câmpus Pato Branco**



GUILHERME BOLICO PLETSCH

**MODELO MULTICRITÉRIO PARA SELEÇÃO E AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE TECNOLOGIAS DE  
SEPARAÇÃO DE RESÍDUOS LÁCTEOS**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Engenharia De Produção E Sistemas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Gestão Dos Sistemas Produtivos.

Data de aprovação: 21 de Dezembro de 2020

Prof Jose Donizetti De Lima, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof Gilson Adamczuk Oliveira, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.a Tatiana Colombo Pimentel, Doutorado - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná (Ifpr)

*“A persistência é o menor caminho do êxito”.*  
*(Charles Chaplin)*

## Agradecimentos

Agradeço a Deus, pela força e coragem durante toda esta longa caminhada.

À minha esposa Luana pelo amor, carinho, compreensão, paciência, apoio e companheirismo demonstrado durante esta etapa de minha vida. Por estar sempre presente e nunca medir esforços.

Em especial a ele que foi primordial para a realização deste trabalho, profissional da área, professor, amigo e orientador Prof. Dr. José Donizetti de Lima, pelos conhecimentos, pela paciência, pela prontidão e principalmente pela motivação, item crucial para a concretização deste estudo

Agradeço imensamente ao meu coorientador, Prof. Dr. Dalmarino Setti, por aceitar esse desafio conosco, pelos ensinamentos, pela confiança, pela paciência comigo e por acreditar que esse estudo era possível.

Agradecimento aos professores da UTFPR, aos professores do PPGEPS, a coordenação e a secretária do curso Adriani Edith Michelon, que sempre estiveram dispostos a ajudar quando necessário.

Ao professor Dr. Gilson Adamczuk Oliveira, por todo o apoio ao longo desta minha jornada desde o início por sempre me ajudar, à professora Dr. Tatiana Colombo Pimentel que com seus questionamentos durante o período de avaliação, os quais contribuíram para a qualidade e crescimento deste trabalho.

Agradeço a Aurora Alimentos e Sr. Mauricio Radaelli Moraes pelo apoio incondicional, pelas oportunidades oferecidas na coleta de dados.

Por fim, mas não menos importante agradeço aos meus colegas de Mestrado, ambiente no qual fiz amigos que levarei para a vida toda.

PLETSCH, Guilherme Bolico. **Modelo multicritério para seleção e avaliação econômica de tecnologias de separação de resíduos lácteos**. 2020. 106 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco.

## RESUMO

Efluentes com elevados teores de carga orgânica são lançados em corpos d'água sem tratamento adequado, provocando sérios problemas ambientais. O crescimento da indústria láctea e o aumento da emissão de gases de efeito estufa causados pelos seus rejeitos têm sido foco de diversos estudos, os quais propõem alternativas de uso desses resíduos no desenvolvimento de diversos subprodutos, tais como: biocombustíveis, biofertilizantes e cobertura de solo. Contudo, ainda existe a necessidade do desenvolvimento de modelos que auxiliem na identificação da melhor alternativa tecnológica e avaliem a agregação de valor para a organização. Nesse contexto, o objetivo geral desta dissertação consistiu em aplicar um modelo multicritério para identificar a melhor tecnologia de separação da gordura láctea e avaliar a viabilidade econômica da implantação desta tecnologia, incorporando na análise as especificidades do projeto. A metodologia utilizada no desenvolvimento do modelo técnico-econômico para separação da gordura láctea foi estruturada em quatro etapas: (i) identificação de critérios e tecnologias para separação de gordura láctea por meio de uma revisão sistemática da literatura; (ii) aquisição da informação qualitativa (variáveis linguísticas) a partir de especialistas nacionais e internacionais; (iii) aplicação do método multicritério linguístico TOPSIS *2-tuple* para classificar as tecnologias; e (iv) avaliação econômica da tecnologia melhor classificada na etapa anterior. O modelo proposto foi aplicado em uma agroindústria que produz 3.000 m<sup>3</sup>/dia de resíduo, com 3% de gordura. A tecnologia força centrífuga foi escolhida por ambos os grupos de especialistas, a qual foi submetida à análise de viabilidade econômica *by expanded multi-index methodology* (EMIM). Com base na análise realizada, conclui-se que a implantação dessa tecnologia é economicamente viável, pois apresenta alto grau de retorno (maior que 66,66%), o qual ocorre no primeiro ano de implementação. O projeto ainda apresenta baixos níveis de riscos e sensibilidades, sendo essas últimas acima de 66,66%. A principal contribuição desse estudo foi a construção de um modelo multicritério para auxiliar as empresas lácteas na tomada de decisão sobre seus efluentes gerados.

**Palavras-chave:** Efluente lácteo, Tecnologias, Biocombustíveis, TOPSIS *2-Tuple*, Análise de investimentos, Metodologia Multi-Índice Ampliada, Simulação de Monte Carlo, Teoria das Opções Reais.

PLETSCH, Guilherme Bolico. **Multicriterium model for selection and economic evaluation of milk waste separation technologies**. 2020. 106 p. Dissertation (Master's Degree in Production Engineering and Systems) – Federal Technology University of Paraná. Pato Branco.

### **ABSTRACT**

Effluents with high levels of organic load are discharged into water bodies without proper treatment, causing serious environmental problems. The growth of the dairy industry and the increase in the emission of greenhouse gases caused by its waste have been the focus of several studies, which propose alternatives for the use of this waste in the development of various by-products, such as: biofuels, biofertilizers and soil cover. However, there is still a need for the development of models that help in the identification of the best technological alternative and evaluate the added value for the organization. In this context, the general objective of this dissertation was to apply a multi-criteria model to identify the best dairy fat separation technology and to evaluate the economic viability of implementing this technology, incorporating the project's specificities into the analysis. The methodology used in the development of the technical-economic model for the separation of milk fat was structured in four stages: (i) identification of criteria and technologies for dairy fat separation through a systematic review of the literature; (ii) acquisition of qualitative information (linguistic variables) from national and international specialists; (iii) application of the multicriteria linguistic TOPSIS 2-tuple method to classify the technologies; and (iv) economic evaluation of the technology best classified in the previous stage. The proposed model was applied in an agroindustry that produces 3,000 m<sup>3</sup>/day of waste, with 3% fat. The centrifugal force technology was chosen by both groups of experts, which was submitted to economic feasibility analysis by expanded multi-index methodology (EMIM). Based on the analysis made, it is concluded that the implementation of this technology is economically viable, because it presents a high degree of return (greater than 66.66%), which occurs in the first year of implementation. The project still presents low levels of risks and sensibilities, the latter being above 66.66%. The main contribution of this study was the construction of a multicriteria model to help dairy companies in making decisions about their effluents generated.

**Keywords:** Dairy Effluent, Technologies, Biofuels, TOPSIS 2-Tuple, Investment Analysis, Multi-Income Extended Methodology, Monte Carlo Simulation, Real Options Theory.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura da dissertação .....	16
Figura 2 – Processos de construção do Portfólio Bibliográfico.....	19
Figura 3 – Espectro de validade da decisão .....	37
Figura 4 – Modelo binomial .....	45
Figura 5 – Modelo conceitual .....	48
Figura 6 – Tela de entrada dos dados do empreendimento no aplicativo \$AVEPI® ..	68
Figura 7 – Dimensões e indicadores da MMIA.....	68
Figura 8 - Escala de indicadores da MMIA.....	69

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tecnologias de separação da gordura láctea.....	49
Tabela 2 – Critérios utilizados na seleção de tecnologias para separar gordura de resíduo com os respectivos autores.....	50
Tabela 3 – Variáveis Linguísticas.....	51
Tabela 4 – Peso dos critérios linguísticos <i>2-Tuple</i> transformado em números reais: pesquisadores nacionais.....	57
Tabela 5 – Peso dos critérios linguísticos <i>2-Tuple</i> transformado em números reais: pesquisadores Internacionais.....	58
Tabela 6– Matriz de decisão: especialistas nacionais.....	60
Tabela 7 – Matriz de decisão agregada <i>2-Tuple</i> : nacional.....	60
Tabela 8 – Matriz de decisão: especialistas internacionais.....	61
Tabela 9– Matriz de decisão agregada <i>2-Tuple</i> Internacional.....	62
Tabela 10 – Classificação das tecnologias de separação de gordura de resíduo lácteo com o método TOPSIS <i>2-tuple</i> com informação dos especialistas nacionais.....	62
Tabela 11 – Classificação das tecnologias de separação de gordura de resíduo lácteo com o método TOPSIS <i>2-tuple</i> com informação dos especialistas internacionais....	63
Tabela 12 – Fluxo de caixa inicial do empreendimento.....	65
Tabela 13 – Fluxo de caixa anual do empreendimento.....	66

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Métodos de Separação de Emulsão .....	24
Quadro 2 – Vantagens e Desvantagens das Tecnologias .....	26
Quadro 3 - Variáveis básicas: Opções financeiras versus opções reais .....	44

## LISTA DE SIGLAS

AS	Análise de Sensibilidade
AHP	<i>Analytic Hierarch Process</i>
CMPC/WACC	Custo Médio Ponderado de Capital (Weighted Average Cost of Capital)
EVA	Valor Econômico Agregado ( <i>Economic Value Added</i> )
ELECTRE	<i>ELimination Et Choix Traduisant la REalité</i>
FC	Fluxo de Caixa
FC <sub>0</sub>	Investimento Inicial ou FC no Momento Zero
FCDA <sub>m</sub>	FC Descapitalizado e Acumulado até o período m
FC <sub>j</sub>	FC estimado para o período j
FGs	Flexibilidades Gerenciais
GCR	Grau de Comprometimento da Receita
GEE	Gases do Efeito Estufa
IBC	Índice Benefício Custo
IL	Índice de Lucratividade
j	Período
LEs	Limites de Elasticidade
MCDM	<i>Multiple-criteria decision-making</i>
MMIA	Metodologia Multi-Índice Ampliada
N	Horizonte de planejamento
OR	Opções Reais
PE	Ponto de Equilíbrio
PI	Projeto de Investimento
RG	Risco de Gestão
RN	Risco do Negócio
ROIA	Retorno Adicional sobre o Investimento
RSL	Revisão Sistemática da Literatura
\$AVEPI®	Sistema de Análise de Viabilidade Econômica de Projetos de Investimento
SMC	Simulação de Monte Carlo
TOPSIS	<i>Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution</i>
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
TOR	Teoria das Opções Reais
VE	Viabilidade Econômica
VLs	Valores-Limites
VP	Valor Presente
VPL	Valor Presente Líquido
VPLA	Valor Presente Líquido Anualizado
VIKOR	<i>Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje</i>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO.....	10
1.2 PROBLEMA DE PESQUISA.....	11
1.3 OBJETIVOS DA PESQUISA.....	12
1.3.1 Objetivo Geral .....	12
1.3.2 Objetivos Específicos .....	12
1.4 JUSTIFICATIVA.....	13
1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA .....	14
1.6 ESTRUTURA GERAL DA DISSERTAÇÃO.....	15
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>17</b>
2.1 METODOLOGIA PARA DEFINIR A ESTRUTURA CONCEITUAL-TEÓRICA ....	17
2.2 RESÍDUOS PRODUZIDOS DURANTE O PROCESSAMENTO DO LEITE .....	20
2.2.1 Composição e características dos resíduos lácteos .....	20
2.2.2 Efeitos ambientais nocivos dos efluentes lácteos .....	21
2.2.3 Uso do resíduo lácteo na produção de biocombustíveis .....	22
2.2.4 Águas residuais oleosas .....	23
2.2.5 Tecnologias de separação de águas residuais oleosas .....	24
2.3 MÉTODOS DE DECISÃO MULTICRITÉRIO .....	26
2.3.1 Métodos Multicritérios Aplicados na Indústria Láctea.....	28
2.4 INFORMAÇÃO COM INCERTEZA – VARIÁVEIS LINGUÍSTICAS .....	29
2.4.1 Modelo de representação linguística <i>2-Tuple</i> .....	30
2.4.2 Método TOPSIS <i>2-Tuple</i> .....	33
2.5 ANÁLISE DE PROJETOS DE INVESTIMENTO .....	33
2.5.1 Definição da Taxa Mínima de Atratividade – TMA .....	34
2.5.2 Métodos de Análise de Investimentos.....	35
2.5.3 Técnicas de Análise de Investimentos .....	39
2.5.4 Metodologias para Análise de Investimentos .....	41

2.5.4.1	Metodologia Multi-índice (MMI) e Metodologia Multi-índice Ampliada (MMIA)	41
2.5.4.2	Teoria das Opções Reais – TOR	43
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>47</b>
3.1	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	47
3.2	MODELO TÉCNICO-ECONÔMICO PARA SEPARAÇÃO DE GORDURA LÁCTEA	48
3.3	CRITÉRIOS E TECNOLOGIAS PARA SEPARAÇÃO DE GORDURA LÁCTEA	48
3.4	AQUISIÇÃO DA INFORMAÇÃO PARA DESENVOLVIMENTO DO MODELO MULTICRITÉRIO	51
3.5	APLICAÇÃO DO MÉTODO MULTICRITÉRIO TOPSIS 2-Tuple	52
3.6	AVALIAÇÃO ECONÔMICA DA TECNOLOGIA PARA SEPARAÇÃO DE GORDURA LÁCTEA	55
3.7	APLICAÇÃO DO MODELO TÉCNICO-ECONÔMICO PARA SEPARAÇÃO DE GORDURA LÁCTEA	55
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>56</b>
4.1	APLICAÇÃO DO MODELO MCDM PROPOSTO	56
4.1.1	Peso dos Critérios	56
4.1.2	Desempenho das Alternativas	59
4.1.3	Resultados da Aplicação do Método TOPSIS 2-Tuple	62
4.2	ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA TECNOLOGIA SELECIONADA	64
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>70</b>
5.1	SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	71
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>72</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo estão contextualizados aspectos da indústria leiteira, resíduos lácteos, métodos multicritérios e conceitos básicos para desenvolvimento da análise de Viabilidade Econômica (VE) de Projetos de Investimento (PI) para a separação da gordura láctea gerada pelo efluente. A partir disso, as lacunas encontradas nesse contexto são apresentadas. Assim, estabelece-se os objetivos, apresenta-se a justificativa deste estudo e a delimitação da pesquisa. Ao final desse capítulo está apresentada a estrutura da dissertação.

### 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O Brasil é o 5º maior produtor mundial de leite de vaca, produzido mais de 34 bilhões de toneladas em 2019 (EPAGRI, 2019). Em função da pandemia da Covid-19, o consumo de produtos lácteos tem se elevado (EMBRAPA, 2020). O aumento do consumo de leite e produtos lácteos em vários países promoveu a expansão mundial da produtividade do setor de laticínios (CHOKSHI *et al.*, 2016). No entanto, o rápido crescimento industrial aumentou a liberação de substâncias tóxicas no solo e/ou em reservatórios de água (AHMAD *et al.*, 2019).

Esta liberação afetou, de forma danosa, o meio ambiente, tornando-se um motivo de riscos para a saúde humana (PORWAL; MANE; VELHAL, 2014). Devido ao alto conteúdo orgânico, os resíduos das indústrias lácteas são uma ameaça real para o meio ambiente. Esses resíduos têm sido objeto de estudo, na busca por encontrar um descarte com soluções sustentáveis (MANNINA *et al.*, 2019).

No caso dos efluentes gordurosos, o óleo e a graxa, geram um filme na superfície da água, resultando no impedimento da transferência de oxigênio e, a partir disto, dificultando que animais aquáticos e plantas consigam sobreviver (ROSA *et al.*, 2009). A água é o principal elemento da indústria de laticínios e o descarte seguro da quantidade de efluentes é um desafio real (AHMAD *et al.*, 2019). Alguns estudos mensuraram o impacto ambiental de diferentes produtos de vários segmentos da indústria e concluíram que a produção de leite é a mais impactante, seguida da

produção de queijos (VAN MIDDELAAR *et al.*, 2011; GONZÁLEZ-GARCÍA *et al.*, 2013; KIM *et al.*, 2013).

Existe um aumento crescente de estudos relacionados a efluentes de laticínios, tratamento e utilização de subprodutos (CHANDRA *et al.*, 2018; GANJU; GOGATE, 2017). Estes resíduos podem ser utilizados efetivamente como matéria-prima para a produção de outros produtos industriais ou na geração de energia (CHANDRA *et al.*, 2018; WONG *et al.*, 2019). O resíduo da indústria láctea é um dos mais valiosos devido ao seu rico conteúdo orgânico e aos altos volumes de produção (ATASOY; EYICE; CETECIOGLU, 2020).

Em uma matéria publicada pela BBC News (2019), a maior cooperativa de laticínios da Europa *Arla Foods* está se comprometendo em tornar suas operações neutras em carbono até 2050. Essa cooperativa mencionou que isso inclui o desenvolvimento de novas tecnologias para o setor lácteo. Devido ao setor lácteo contribuir para a poluição ao meio ambiente, caso não seja feito nada a respeito pode-se desencadear uma mudança climática descontrolada.

## 1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

Para desenvolver um modelo multicritério a fim de escolher uma tecnologia adequada entre várias para separação da gordura láctea e desenvolver uma análise de Viabilidade Econômica (VE) do uso desta tecnologia existem vários métodos, técnicas, metodologias e abordagens. Assim, torna-se notória a dificuldade em identificar a tecnologia mais adequada. A aplicação desses mecanismos de análise já é conhecida, tendo em vista o elevado número de trabalhos científicos que apresentam essa discussão.

Devido à falta de estudos utilizando a abordagem multicritério para seleção de uma tecnologia de separação da gordura láctea, conhecidos o volume do efluente e suas características, é crucial escolher o melhor método multicritério para avaliar tal questão. A partir do momento que a melhor tecnologia é conhecida é necessário escolher o modo de desenvolvimento da análise de VE, respeitando a especificidade do projeto (complexidades, incertezas e flexibilidades gerenciais, por exemplo).

A partir dessas considerações, define-se a seguinte problemática a ser elucidada a partir dos seguintes questionamentos: (1) Como identificar qual a melhor tecnologia de separação da gordura láctea? e (2) Como avaliar a viabilidade econômica dessa tecnologia, considerando na análise suas especificidades?

### 1.3 OBJETIVOS DA PESQUISA

Nessa subseção, o objetivo geral e os objetivos específicos do trabalho são apresentados.

#### 1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral da presente pesquisa consistiu em aplicar um modelo multicritério para identificar a melhor tecnologia de separação da gordura láctea e avaliar a viabilidade econômica da implantação desta tecnologia, incorporando na análise as especificidades do projeto.

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

Para esse estudo, os objetivos específicos definidos foram:

- I. Identificar na literatura, conceitos e modelos que fazem uso dos MCDM (*Multiple-criteria decision-making*) na indústria láctea;
- II. Aplicar um modelo multicritério para identificar a melhor tecnologia de separação de gordura do efluente;
- III. Consultar especialistas da área para ponderação dos critérios do modelo desenvolvido; e
- IV. Aplicar o modelo desenvolvido em uma indústria na região Oeste de Santa Catarina, analisando a viabilidade econômica desse empreendimento.

## 1.4 JUSTIFICATIVA

Durante as próximas décadas será necessário produzir alimentos para 9 bilhões de pessoas (WERNER; FLYSJÖ; THOLSTRUP, 2014). Ainda, segundo esses pesquisadores, isso aumentará a pressão na produção de alimentos no mundo, tendo como principal desafio a redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE). Entre as várias fontes de emissão de GEE produzidas pelo homem, destacam-se as corporações industriais (DAMERT; PAUL; BAUMGARTNER, 2017). Por ano, a nível mundial, estima-se que entre 4 e 11 milhões de toneladas de resíduos lácteos são liberados no meio ambiente (AHMAD *et al.*, 2019). Esse procedimento acarreta risco para a biodiversidade, devido a descarga de águas residuais no meio ambiente e consequente esgotamento do oxigênio dissolvido ((ROSA *et al.*, 2009).

A produção de leite é a fase mais crítica ao longo da cadeia leiteira, com contribuições que vão de 63% a 89% em todas as categorias de impacto ambiental (GONZÁLEZ-GARCÍA *et al.*, 2013). Isso contribui entre 81% e 97% do potencial de aquecimento global (PAG) (FINNEGAN *et al.*, 2017). O aumento da população mundial tem um expressivo impacto na sustentabilidade da cadeia de suprimentos. Na indústria alimentícia, se fazem necessário pesquisas voltadas para mitigar os problemas decorrentes do crescente consumo (GOVINDAN, 2018).

Algumas empresas lidam com essa questão por meio do desenvolvimento de estratégias e atividades voltadas à sustentabilidade (PENZ; POLSA, 2018). Segundo Nadaban, Dzitac e Dzitac (2016), variáveis linguísticas são utilizadas para que seja possível, no processo de tomada de decisão, considerar a capacidade cognitiva humana, ou seja, quando não é possível aplicar precisão no julgamento. Variáveis linguísticas são palavras ou sentenças em linguagem natural que ajudam a expressar o sentimento ou intenção do tomador de decisão (ZIMMERMANN, 2001). Nesse contexto de auxílio ao processo decisório, números *Fuzzy* foram introduzidos (MARDANI, JUSOH e ZAVADSKAS, 2015).

A estratégia eficaz de gerenciamento de resíduos deve levar em conta as interdependências complexas e interações entre os processos de manuseio de resíduos e seus efeitos nos objetivos de gerenciamento concorrentes (por exemplo, minimizar custos, maximizar a produção líquida de energia, aumentar o desvio de resíduos de aterros e minimizar as emissões de GEE), uma escolha complexa pois

envolve vários critérios conflitantes a serem avaliados (TAN *et al.*, 2014). Devido à complexidade de escolher a melhor tecnologia de separação da gordura láctea e a inexistência de trabalhos publicados usando abordagem MCDM para indicarem uma sequência de análise para selecionar à melhor, o uso da metodologia multicritério se justifica neste trabalho. Por fim destaca-se a importância de se analisar a agregação de valor que a indústria terá com a tecnologia selecionada a partir da abordagem adotada.

### 1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A presente pesquisa, a nível de Brasil é original no campo da Engenharia de Produção no que tange os conceitos da otimização da utilização da gordura láctea presente nos efluentes em laticínios como um subproduto para agregação de valor para a indústria leiteira. Contudo, essa pesquisa limita-se a aplicação dos métodos multicritérios para que, por meio da opinião de especialistas da área possa ser identificado uma tecnologia adequada para separação da gordura láctea, e na sequência realizar uma análise de VE da tecnologia selecionada que contenham adequabilidade técnica, incorporando na avaliação a complexidade da implantação deste projeto.

Para efeito de melhor aproveitamento do resíduo proveniente do processamento do leite, o trabalho considera influenciar e propor uma nova visão gerencial com relação ao resíduo gerado nos efluentes lácteos. A estratégia proposta poderá ser utilizada apenas por indústrias leiteiras, para poderem avaliar os ganhos que podem ser proporcionados com a separação adequada e eficiente do resíduo gorduroso.

A principal delimitação deste trabalho está na escolha adequada da melhor tecnologia de separação do resíduo lácteo. As características técnicas de cada tecnologia existente, devem ser avaliadas e aprovadas antes de se realizar a análise.

Os casos que possuam problemas técnicos em seus processos, não devem ser executados, nesse caso, não deve ser realizada a análise de VE. Esta limitação se justifica pelo fato de que o foco da pesquisa é identificar a melhor tecnologia e analisar a VE do projeto.

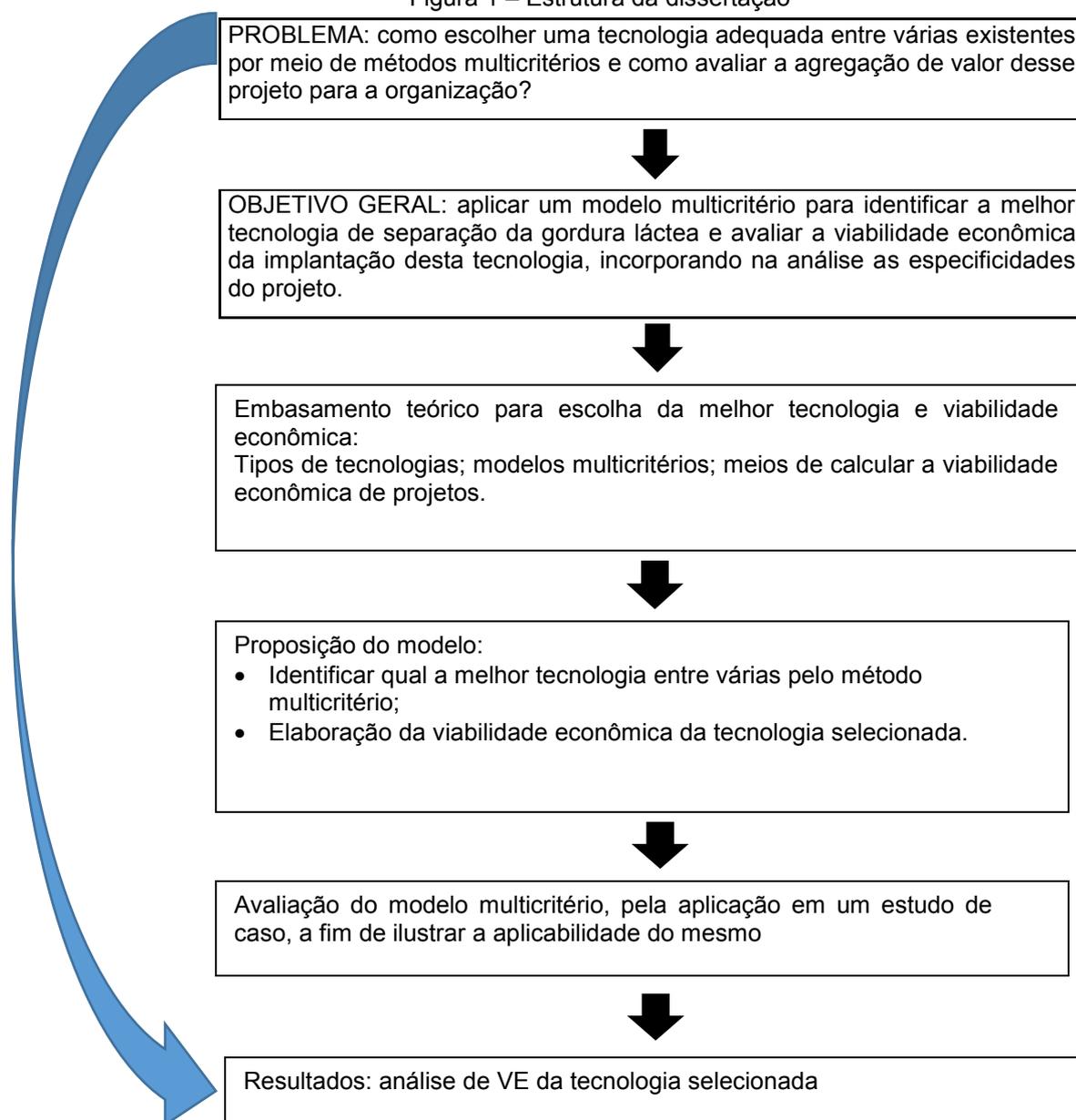
## 1.6 ESTRUTURA GERAL DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação está dividida em cinco capítulos, para melhor entendimento e organização dos assuntos. No primeiro capítulo, apresenta-se uma contextualização, discorrendo sobre o resíduo lácteo e os seus principais problemas e impactos ambientais. Na sequência são apresentados o problema de pesquisa, os objetivos da pesquisa, a justificativa para a escolha do tema e a delimitação da pesquisa. No capítulo 2, compete a apresentação do “Referencial Teórico”, que trata dos principais conceitos referentes ao resíduo em estudo, modelos multicritérios aplicados em diferentes estudos e as formas de se avaliar a VE em projetos.

No capítulo 3 (metodologia) são descritos os métodos utilizados na pesquisa, divididos em três etapas: o método para definir a estrutura conceitual teórica (análise bibliométrica e de conteúdo); a aplicação do modelo multicritério; e a validação econômica da implantação do projeto em um estudo de caso.

No capítulo 4 “Resultados e Discussão”, são apresentados os resultados obtidos na aplicação do modelo multicritério e análise de viabilidade econômica de acordo com o resultado obtido. No capítulo 5, “Conclusões” serão apresentadas as considerações finais sobre a pesquisa. Por fim, estão as referências, apêndices e anexos. A estrutura da dissertação pode ser visualizada na Figura 1, na qual estão descritas as etapas do desenvolvimento desse estudo.

Figura 1 – Estrutura da dissertação



Fonte: Elaborada pelo autor.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, além da estratégia para revisão sistemática e respectiva pesquisa bibliográfica, serão abordados os assuntos relacionados ao resíduo lácteo, tecnologias de separação da gordura láctea, decisão multicritério e conceitos de análise de Viabilidade Econômica (VE). No que se refere ao resíduo lácteo, são apresentados o aproveitamento do mesmo visando as questões ambientais, e sustentáveis.

### 2.1 METODOLOGIA PARA DEFINIR A ESTRUTURA CONCEITUAL-TEÓRICA

Com objetivo de ampliar as informações sobre o assunto, foi realizado um levantamento bibliográfico em bases de pesquisas nacionais e internacionais. O instrumento utilizado foi a metodologia *ProKnow-C (Knowledge Development Process –Constructivist)* desenvolvida por (ENSSLIN *et al.*, 2010).

Se justifica a utilização do *Proknow-C* nessa pesquisa, por ser um método que permite sistematizar a pesquisa, o qual auxilia na organização das tarefas de pesquisa, gerando, como resultado, aumento do conhecimento do pesquisador sobre o tema desejado assim como meios de justificativa das referências utilizadas na pesquisa (VILELA, 2012).

O primeiro passo foi definir as palavras-chave para realizar a busca nas bases de dados. Foram definidas as palavras: *Multi Criteria, Selection, fat emulsion, emulsion, milk fat, milk separation technology, separation, emulsion separation technology*, sendo feita todos os tipos de combinações possíveis.

As bases de dados selecionadas para pesquisa foram: *Scopus, ScienceDirect e Web Of Science*. A base *Scopus* é o maior banco de dados científico do mundo se considerado o período entre 2000 e 2011 (GUERRERO-BOTE; MOYA-ANEGÓN, 2012). A *ScienceDirect* é a principal base de dados da *Elsevier* com textos científicos completos. A *Web Of Science* é uma base conhecida mundialmente pois deu origem ao *Journal Citation Report (JCR)* que lista o fator de impacto dos periódicos científicos (LACERDA; ENSSLIN; ENSSLIN, 2014).

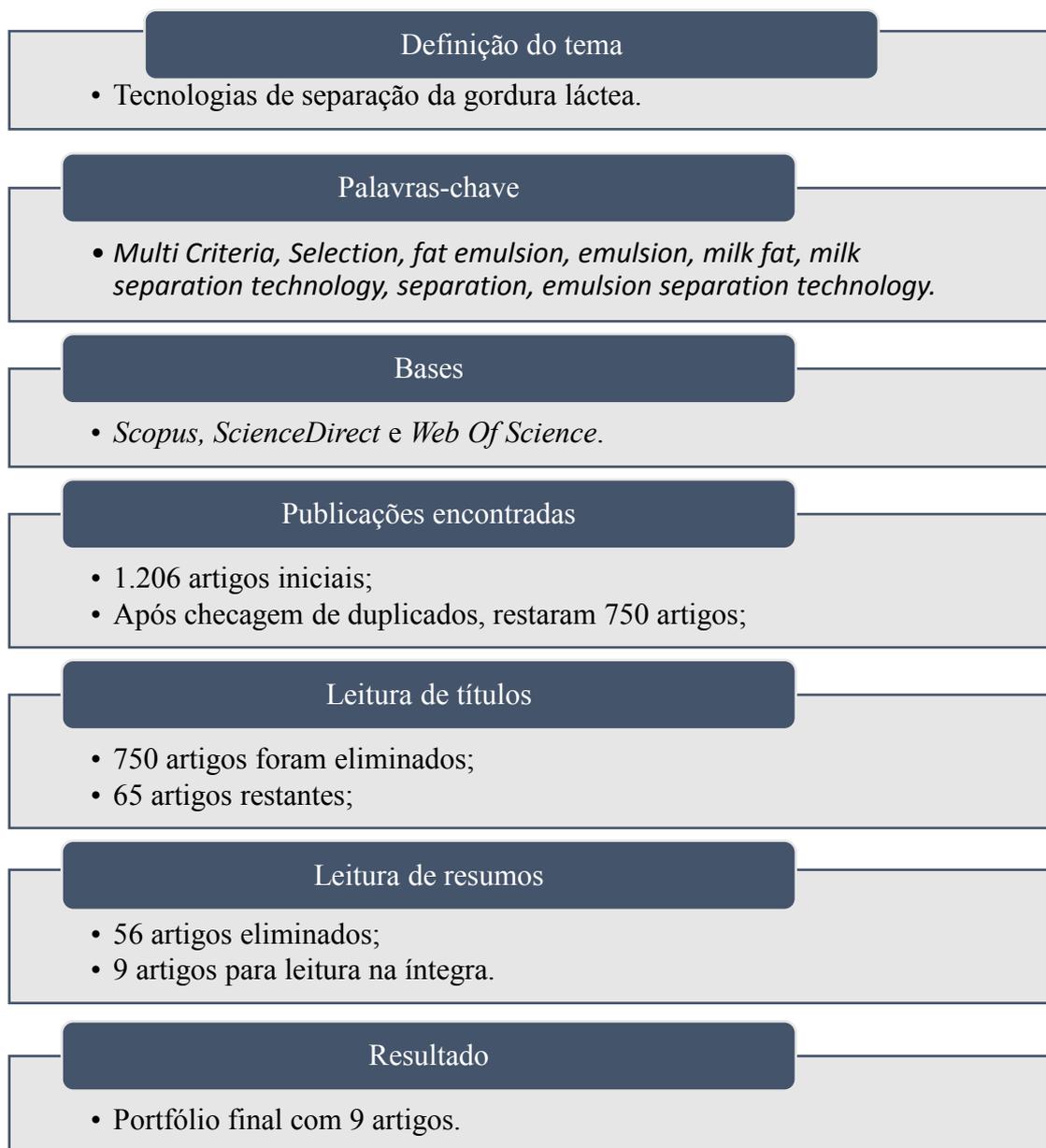
Por meio da combinação de palavras-chave estabelecidas não foi possível obter sucesso na pesquisa devido a presença de poucos trabalhos na área, o que fez com que para este trabalho fosse utilizado palavras mais específicas com relação ao estudo proposto, sem o uso de combinações e expressões booleanas. Somente desta forma, foi possível obter artigos para fundamentar o estudo.

As palavras usadas separadamente foram: *Multi criteria*, *Selection*, *Dairy Products*. O principal objetivo do uso destas palavras foi para identificar o uso dos métodos multicritérios aplicados na indústria láctea. Para identificar as tecnologias para separação da gordura láctea as palavras usadas separadamente foram: *separation*, *milk fat*, *separation technology*, *fat emulsion*. Após estabelecer os procedimentos de busca, foi efetuada a coleta dos artigos nas bases, totalizando 1.206 publicações.

Na sequência, foram checados os arquivos duplicados, restando 750 artigos que foram analisados nas etapas seguintes. A próxima etapa foi realizar a leitura do título das 750 publicações, muitos trabalhos dos 750 não estavam alinhados com a pesquisa, sobrando para leitura dos resumos apenas 65 artigos. Após a leitura dos resumos foram excluídos 56 artigos, restando apenas nove para leitura. Como não houve problemas para conseguir eletronicamente esses nove artigos, o Portfólio Bibliográfico (PB) final ficou definido. De forma resumida, a Figura 4 apresenta todas as etapas de busca e seleção dos artigos.

O estudo em questão, fazendo o uso do resíduo lácteo, vem sendo explorado ao longo dos anos, mas a utilização dos métodos MCDM na escolha de uma tecnologia para auxiliar na separação desse rejeito ainda não tem sido explorado pela literatura. A RSL mostrou-se eficiente no processo de extração de informações sobre determinado assunto de interesse do pesquisador. Houve algumas dificuldades com relação à construção do PB na presente pesquisa. Essa dificuldade na obtenção de material justifica-se, pois, o assunto ainda não foi totalmente explorado.

Figura 2 – Processos de construção do Portfólio Bibliográfico



Fonte: Elaborada pelo autor.

Os artigos selecionados na revisão amparam esse estudo em relação as tecnologias estudadas e os estudos que utilizaram MCDM em laticínios. Isso garante uma certa tranquilidade perante a lacuna de pesquisa estudada nesta dissertação.

Devido à relevância da pesquisa e a localização de poucos artigos, não foi limitado um período de ano das publicações. Dessa forma, foi selecionado todo o período da base de dados e definidas as palavras-chave.

## 2.2 RESÍDUOS PRODUZIDOS DURANTE O PROCESSAMENTO DO LEITE

O resíduo do laticínio é responsável pelo maior impacto ambiental da indústria láctea (AHMAD *et al.*, 2019). O resíduo da indústria láctea precisa de um descarte apropriado, devido à alta concentração de demanda biológica de oxigênio (DBO) demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio total e fósforo (CHEN *et al.*, 2018).

A lactose é a substância encontrada em maior concentração em soro ácido (GUIMARÃES; TEIXEIRA; DOMINGUES, 2010; TOMASZEWSKA; BIAŁOŃCZYK, 2016). O soro de leite é uma matéria-prima barata e abundante. Existem dois tipos principais de soro de leite: o soro de leite ácido e o soro doce, variando conforme procedimento utilizado para a precipitação da caseína durante fabricação do queijo. O soro do leite doce é produzido durante os tipos de coalho utilizado no processamento de queijo duro (queijo cheddar ou queijo suíço). Este tipo de soro contém menos ácido láctico (< 0,16%), percentual de lactose mais elevado e menor teor de cálcio em comparação ao soro ácido (LIU *et al.*, 2016).

Segundo Liu *et al.* (2016), o soro ácido é um subproduto obtido durante o processamento de tipos ácidos de produtos lácteos, como queijo cottage e iogurte coado. No caso da fabricação de queijo cottage, uma quantidade elevada da lactose é convertida em ácido láctico antes que o soro seja separado da massa.

### 2.2.1 Composição e características dos resíduos lácteos

Os resíduos das indústrias alimentares (lamas e efluentes), incluindo a indústria láctea contém um alto nível de matéria orgânica, óleo e graxa, ácidos graxos e considerável quantidade de compostos nitrogenados (PORWAL; MANE; VELHAL, 2014). A composição de um efluente lácteo bruto varia dependendo do tipo de produtos finais e operações envolvidas (CARVALHO; PRAZERES; RIVAS, 2013). Além de desinfetantes e detergentes utilizados na lavagem, os efluentes contém grande quantidade de constituintes do leite. Caseína, gordura e lactose são matéria orgânica valiosa presente no lodo do leite (SINGH *et al.*, 2013). A água residual do leite é branca, turva e com cheiro desagradável (soro tem cor verde amarelada)

(SLAVOV, 2017). Devido à boa coalhada encontrada no resíduo lácteo, a matéria-prima suspensa presente no resíduo é bastante relevante (SHINKAR, 2013).

A temperatura anual dos fluxos de resíduos de laticínio varia de 17-25 °C, sendo maior que a de um efluente municipal (10-20°C). Assim, uma degradação biológica mais rápida ocorre em águas residuais de produtos lácteos em comparação ao tratamento de esgoto de estações (AHMAD *et al.*, 2019). Segundo Slavov (2017), a temperatura do efluente lácteo no verão é mais elevada do que no inverno.

Um estudo recente avaliou parâmetros físico-químicos dos efluentes de uma indústria de laticínios e encontrou elevados parâmetros de poluição na água residual (AL-WASIFY; ALI; HAMED, 2018). Esses pesquisadores descobriram que a temperatura média do efluente era de 34 °C, o total teor de sólidos dissolvidos foi de 1222 mg/L e o pH foi de 9,8. Além disso, os valores de oxigênio dissolvido (OD), DBO e DQO foram de 1,2 mg/L, 650 mg/L e 1448 mg/L, respectivamente.

Um estudo semelhante avaliou as características físico-químicas de efluentes lácteos coletados nos meses de janeiro e julho de 2011. Os valores encontrados foram: temperatura ( $27 \pm 2,08$  °C), pH ( $6,8 \pm 0,64$ ), DBO ( $320 \pm 26,76$  mg/L) e DQO ( $954 \pm 86,18$  mg/L) para janeiro; e temperatura ( $31 \pm 1,53$  °C), pH ( $6,0 \pm 0,69$ ), BOD ( $355 \pm 78,99$  mg/L), COD ( $982 \pm 67,57$  mg/L) para julho (VERMA; SINGH, 2017). Isso mostra a variação que existe nos parâmetros físico-químicos de efluentes de laticínios entre diferentes indústrias de laticínios e períodos do ano.

### **2.2.2 Efeitos ambientais nocivos dos efluentes lácteos**

A presença de matéria orgânica, altamente concentrada no fluxo de resíduos lácteos, pode aumentar os problemas relacionados, especialmente no sistema municipal de esgoto local em termos de carga (AHMAD *et al.*, 2019). A poluição gerada pela indústria láctea afeta o ar, solo e a qualidade da água Chen *et al.* (2018), podendo ser causa de variações climáticas. Devido à presença de alta carga orgânica, os corpos de água da indústria láctea, tornam-se um ambiente ideal para a propagação de doenças (malária, dengue, febre amarela e galinha guinea) e mosquitos (AL-WASIFY; ALI; HAMED, 2018).

A alta concentração de resíduos lácteos é considerada tóxica para diversas espécies de peixe e algas (SHINKAR, 2013). O efluente de leite contribui para o aumento de algas e bactérias que causam o consumo de oxigênio na água, gerando sufocamento no rio. Este processo causa a morte gradual dos peixes (SHINKAR, 2013). Este resíduo, se descartado sem tratamento, poderia alterar as propriedades físicas e químicas do solo, resultando na redução produtiva das culturas e na disponibilidade de oxigênio na água (DE JESUS *et al.*, 2015).

### **2.2.3 Uso do resíduo lácteo na produção de biocombustíveis**

Os biocombustíveis liberam menos poluentes ao meio ambiente do que a queima de combustíveis fósseis (BHATIA; JOO; YANG, 2018). Pesquisadores como Liu *et al.* (2016), desenvolveram um processo para produção de etanol utilizando o rejeito lácteo. Esses autores concluíram que é possível alcançar a bioconversão sustentável do resíduo lácteo ao etanol e que o processo desenvolvido apresenta elevado potencial comercial.

Existem estudos que relatam que a utilização de águas residuais lácteas tem elevado potencial para a produção de biodiesel de alta qualidade (LU *et al.*, 2015). Estudos recentes, como o de Srikanth *et al.* (2019), revelaram que as propriedades do biodiesel produzido a partir desses resíduos estão dentro dos limites especificados dos padrões de biodiesel em normas vigentes (ASTM D6751-15C). Outra alternativa é a produção de hidrogênio fermentativo, pois é uma das fontes mais promissoras para resolver a questão futura de energia, pois apresenta-se como ambientalmente atraente (CHANDRA *et al.*, 2018; WONG *et al.*, 2019).

Devido às características do resíduo lácteo, a biodegradação anaeróbica deste rejeito, pode também ser uma maneira interessante de produzir biometano, como uma fonte de energia renovável (HAMAWAND *et al.*, 2016). Bila *et al.* (2016), realizaram vários ensaios para produzir biometano da digestão anaeróbica do resíduo obtido em uma indústria de laticínios. Esses ensaios foram realizados em um *Anaerobic Methane Potential Test System* (AMTPS), sendo possível verificar a produção de metano no curso de digestão.

Bila *et al.* (2016), estimaram após 63 dias de operação por meio da digestão anaeróbica a geração de energia de uma planta hipotética, considerando um resíduo gorduroso de 1.000 kg/dia, o biometano gerado seria suficiente para autossustentar todo o seu processamento.

Como descrito, o uso do resíduo lácteo para geração de biocombustíveis tem se mostrado uma estratégia útil para redução da poluição ambiental e o aumento da sustentabilidade do setor. Porém, mais estudos são necessários para otimizar tais metodologias, reduzindo custos, desde que sejam industrialmente aplicáveis (AHMAD *et al.*, 2019).

#### **2.2.4 Águas residuais oleosas**

As águas residuais oleosas industriais são ricas em carbono orgânico e tem elevado interesse na recuperação de energia com tratamento simultâneo (JIA *et al.*, 2013; KONDAVEETI *et al.*, 2019). A combinação do tratamento de águas residuais industriais e a produção de biocombustível é considerada uma excelente opção para a redução do impacto ambiental (XIN *et al.*, 2018).

Águas residuais oleosas são subprodutos gerados por diversas indústrias, incluindo petróleo e gás, alimentos e bebidas, transporte marítimo, curtimento, têxtil, metal e usinagem (MUELLER *et al.*, 1997; CHERYAN; RAJAGOPALAN, 1998). Essas águas residuais afetam o meio ambiente se não são tratadas adequadamente. Além disso, representam uma perda econômica substancial se não for recuperado o óleo presente (TANUDJAJA *et al.*, 2019).

A separação óleo-água recebeu um interesse renovado com os desenvolvimentos recentes no setor de combustíveis fósseis, particularmente para o tratamento de água produzida, que é um fluxo oleoso de águas residuais (CHERYAN; RAJAGOPALAN, 1998; DAUD *et al.*, 2015). A composição da água produzida, bem como suas propriedades físicas e químicas, geralmente são específicas do local (NEFF *et al.*, 2011).

Na indústria de alimentos, bebidas e leite, a água é um elemento importante na maioria dos produtos, sendo envolvida em várias etapas no processo produtivo, como lavar, enxaguar, misturar e pasteurizar (CASANI *et al.*, 2005). Como a

quantidade de águas residuais oleosas é expressiva, a implementação de meios de reutilização deve ser avaliada sob o aspecto econômico (VOURCH *et al.*, 2008). Além disso, as águas residuais oleosas das indústrias tendem a ser de composições complexas e variadas, dificultando a seleção de uma tecnologia de tratamento apropriada e exige soluções de tratamento específicas ao contexto (TANUDJAJA *et al.*, 2019).

### 2.2.5 Tecnologias de separação de águas residuais oleosas

A recuperação de recursos de águas residuais pode gerar ganhos ambientais e econômicos. A recuperação de substâncias com valor agregado das águas residuais pode gerar elevados lucros (CAO; ZHI; ZHANG, 2020). Existe uma gama de estudos relacionados à separação de resíduo gorduroso da água antes do descarte no meio ambiente, visando alcançar inovadoras tecnologias de separação, para usar este resíduo industrial para a cogeração de subprodutos (ALAYU; YIRGU, 2018). No Quadro 1 visualiza-se várias pesquisas utilizando diversas tecnologias de separação de resíduo gorduroso.

Quadro 1 - Métodos de Separação de Emulsão

PESQUISADORES	MÉTODOS DE SEPARAÇÃO USADO
Khatri; Shao (2017); Cambiella <i>et al.</i> (2006); Dhungana <i>et al.</i> (2017)	Centrifugação
Phan <i>et al.</i> (2016); Yang <i>et al.</i> (2006); Bungard; Hameyer; Metzelaars (1996)	Solvente
Goldblatt <i>et al.</i> (2014); Caplan; Melilli; Barbano (2013)	Por aquecimento/Decantação
Daaou; Bendedouch (2012)	Hidrólise ácida/aquosa
El-Naas <i>et al.</i> (2014); Mag <i>et al.</i> (1983)	Métodos combinados

Fonte: Elaborado pelo autor.

Khatri e Shao (2017), realizaram um estudo usando a separação por força centrífuga com objetivo de desenvolver um método simples, confiável, e econômico para a separação da fase aquosa das emulsões. Cambiella *et al.* (2006), realizaram um estudo sobre o uso da centrifugação com o intuito de separar um alto volume utilizando pouco espaço e tempo de operação.

Phan *et al.* (2016), fizeram um estudo comparando dois solventes diferentes, com objetivo de comparar a sua eficiência em consideração a cotícula da emulsão a

ser separada. Goldblatt *et al.* (2014), desenvolveram um novo método de aquecimento e decantação para realizar a quebra da emulsão. A justificativa do estudo foi porque os métodos utilizados até então eram vulneráveis ao risco de incêndio.

Nos métodos combinados, El-Nass *et al.* (2014), utilizaram o biorreator de leite e álcool polivinílico. O estudo foi um teste experimental com combinação de tecnologias para avaliar o desempenho das mesmas. Por outro lado, Mag *et al.* (1983), fizeram uma combinação com três operações consecutivas: acidulação contínua, separação por gravidade do óleo ácido da água ácida, seguida de decantação do óleo ácido. Nesse caso, foi realizado um estudo piloto no intuito de desenvolver um método compacto e simples de operar.

Contudo, é crucial que as tecnologias de tratamento sejam as mais eficientes em termos de energia, sendo economicamente viáveis (ANDERSON *et al.*, 2016). Embora exista uma gama de estudos sendo desenvolvidos para separar o óleo de sua forma emulsionada, ainda existe a falta de um processo de tratamento de baixo custo com 100% de eficiência de remoção (RASHTCHI *et al.*, 2013; DADA *et al.*, 2018).

Todos os estudos encontrados na literatura, utilizando técnicas de separação da gordura láctea foram abordagens experimentais com intuito de realizar testes para identificar os resultados obtidos com sua aplicação, visando identificar uma tecnologia adequada, eficiente e de baixo custo. Os estudos encontrados não tiveram amparo de um modelo eficiente para ajudar na escolha da tecnologia ideal.

O exposto apresenta amparo para o desenvolvimento do presente trabalho, mostrando a necessidade de um modelo para ajudar na tomada de decisão sobre a escolha melhor tecnologia de separação do resíduo lácteo, levando em consideração os parâmetros do efluente a ser avaliado. Além disso, é necessária uma avaliação econômica da tecnologia para identificar a agregação de valor da implantação.

Existem algumas vantagens e desvantagem das tecnologias, as quais podem ser visualizadas no Quadro2.

Quadro 2 – Vantagens e Desvantagens das Tecnologias

TECNOLOGIAS	VANTAGENS	DESvantagens	AUTOR
<b>CENTRIFUGAÇÃO</b>	Eficiência na separação, Baixo custo operacional, ocupa pouco espaço para locação, pode ser utilizado para fins alimentícios.	Manutenção com custo elevado.	McCabe <i>et al.</i> (2005)
<b>SOLVENTE</b>	Eficiência na separação, baixo custo devido a recuperação do solvente.	Não poderá ser utilizado para o setor alimentício após separação.	Yang <i>et al.</i> (2006).
<b>AQUECIMENTO DECANTAÇÃO</b>	Pode ser utilizado para fins alimentícios também, isso abre o leque de possibilidades de utilização deste resíduo pela empresa.	O processo pode ter um custo alto, por ter necessidade de calor para aquecer o resíduo. E os equipamentos dependendo do volume são enormes.	Putatunda <i>et al.</i> (2019).
<b>HIDRÓLISE ÁCIDA</b>	Baixo custo devido a dosagem do ácido ser de acordo com ph da amostra.	Restrição do uso do resíduo para determinados subprodutos, não podendo ser usado para consumo alimentício. Processo não é contínuo.	Daaou; Bendedouch (2012)
<b>MÉTODOS COMBINADOS</b>	Garante eficiência na separação.	Custo elevado, dependendo do método não poderá ser usado para o setor alimentício.	Mag <i>et al.</i> (1983).

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 2.3 MÉTODOS DE DECISÃO MULTICRITÉRIO

A tomada de decisão / Apoio à decisão de múltiplos critérios (MultiCriteria Decision Making / Aiding MCDM) se concentra na solução de problemas de decisão de múltiplos critérios, ou seja: situações de decisão complexas nas quais vários, muitas vezes contraditórios, pontos de vista devem ser levados em consideração (VINCKE, 1992). As abordagens usuais para selecionar a melhor alternativa do conjunto de possibilidades em relação aos atributos predefinidos é uma abordagem de tomada de decisão com múltiplos critérios (MCDM – *Multiple-criteria decision-making*), (ANOJKUMAR *et al.*, 2014). A aplicação do MCDM serve para representar diferentes abordagens em um contexto multicritério, incluindo tomada de decisão, apoio à decisão e análise de decisão (DE ALMEIDA *et al.*, 2017).

O MCDM, segundo Mardani *et al.* (2015), tem por função assinalar uma opção preferida, classificar alternativas em um número pequeno de categorias ou classificar as alternativas em uma ordem de preferência particular. De modo geral, a existência dos métodos MCDM ajudam as pessoas a tomarem decisões de acordo com suas preferências, quando se tem mais de uma alternativa com condições de atender aos requisitos.

Gavade (2014), descreve uma análise com relação aos principais métodos MCDMs, apontando as vantagens e desvantagens de cada método. Mardani *et al.* (2015), relaciona vários estudos em campos de aplicação distintos: gestão de resíduos (8,2%), energia renovável (6,1%), gestão ambiental (10,7%), avaliação de impacto ambiental (15,8%), gerenciamento de energia (10,7%), tópicos de gerenciamento verde (6,1%), construção e avaliação de sustentabilidade (9,2%), sustentabilidade energética (4,6%), gestão de recursos hídricos (5,1%), gestão de terras (4,1%), mudança climática (5,1%), avaliação ambiental estratégica (3,6%) e outras áreas ambientais (10,7%). Os autores ainda relataram os métodos mais conhecidos utilizados: AHP (25%); TOPSIS (5,1%); ELECTRE (4,6%); PROMETHEE (5,1%) e VIKOR (2,5%). Os métodos citados são considerados de aplicação pura, ou foram aplicados juntamente com abordagem *Fuzzy*.

No que diz respeito aos resultados encontrados por Mardani *et al.* (2015), sobre gestão de resíduos, foco desta dissertação, várias aplicações com vários resíduos distintos foram identificados, a saber: solução para vários resíduos sólidos, gerenciamento de resíduos de papel, eliminação de resíduos da saúde, gestão de resíduos municipais, classificação de tratamentos para resíduos municipais e sustentabilidade da gestão de resíduos.

Na literatura consultada, não foi identificado um trabalho que ajude na escolha da melhor tecnologia de separação da gordura láctea amparada por MCDM. Desta forma, esse é o principal escopo desta dissertação. A separação da gordura láctea é uma forma de energia renovável pois a mesma pode ser usada para este fim. Nesse contexto, existem vários estudos no campo de energias renováveis utilizando MCDM. Suganthi, Iniyar e Samuel (2015), trazem uma detalhada revisão dos mais variados métodos MCDM aplicados a sistemas de energia renováveis.

A revisão de Mardani *et al.* (2015), identificou 16 artigos relacionados a área de resíduos utilizando os MCDM, porém nenhum relacionado aos resíduos lácteos, escopo deste trabalho. As técnicas mais aplicadas à resíduos são: AHP, VIKOR e TOPSIS aliadas a outras ferramentas.

### **2.3.1 Métodos Multicritérios Aplicados na Indústria Láctea**

O objetivo desta seção é explanar sobre modelos multicritérios já aplicados na indústria láctea. Bathaei *et al.* (2019), aplicaram o método VIKOR para avaliar fatores e subfatores ágeis verdes em indústrias lácteas no Irã, a fim, de encontrar por intermédio da opinião dos especialistas quais são os fatores mais importantes.

Outro estudo de destaque, foi o desenvolvimento de um modelo padrão de otimização socioeconômica desenvolvido por Kocjančič *et al.* (2018), o qual foi aplicado na indústria láctea da Eslovênia, com o objetivo de investigar os efeitos de dois paradigmas de política agrícola. Rodrigues *et al.* (2019), desenvolveram um modelo de decisão de suporte espacial baseado em GIS (*Geographic Information Systems*), e *Analytic Hierarchy* (AHP) com o objetivo de identificar locais com condições apropriadas para a implementação de unidades de produção de biogás, utilizando efluentes e águas residuais produzido pela indústria leiteira do município de Barcelos (Portugal).

Wibowo, Yang e Ramsaran (2019), utilizaram o modelo multicritério VIKOR para avaliar o desempenho dos produtos lácteos da indústria leiteira da china. O objetivo principal foi ajudar a indústria leiteria a entender o nível de desempenho de seus produtos no mercado. No Brasil, Silva e Sobral (2017), recorreram ao auxílio da decisão multicritério aplicando o modelo *ELECTRE TRI* para classificar fornecedores na indústria de laticínios brasileira localizada na cidade de Serra Talhada em Pernambuco.

Como pode ser visto, o uso dos modelos multicritérios vêm sendo usado pela indústria láctea para ajudar o setor em diferentes áreas. Desta forma, fica evidente que os métodos multicritérios podem compor um modelo para ajudar a selecionar tecnologias para separação de gordura láctea.

## 2.4 INFORMAÇÃO COM INCERTEZA – VARIÁVEIS LINGUÍSTICAS

Para Zimmermann (2001), o conceito de variável linguística se faz útil para lidar com situações que são complexas ou não estão bem definidas para serem razoavelmente descritas com precisão. Para Zadeh (1975), variáveis linguísticas são palavras expressas em uma linguagem natural ou artificial. Esse autor complementa que um meio de processar esse tipo informação é a utilização da lógica *Fuzzy*, a qual é uma extensão da lógica booleana, transcrita como “verdadeiro e falso”.

Segundo Singh *et al.* (2018), por lidar com dúvidas, incertezas e imprecisões, o conjunto *Fuzzy* tem se tornado popular entre pesquisadores. A lógica *Fuzzy*, segundo Zadeh (2001), pode ser vista como uma tentativa de formalização de duas notáveis aptidões humanas. Primeiramente, a capacidade de falar, pensar e agir na tomada de decisão em um ambiente com informações imperfeitas, ou seja, imprecisão, incerteza, elementos incompletas e conflitantes, e ainda com subjeções de verdade e possibilidade. Segundo a competência de poder executar várias tarefas físicas e mentais sem qualquer medida ou cálculo.

Matematicamente, um conjunto *Fuzzy* ( $F$ ) é definido como na equação (1), (ZADEH, 1975).

$$X: F = (X, \mu_{(x)}) \quad (1)$$

Em que:

$X$  é o “universo de discurso” para o conjunto *Fuzzy*  $F$ ;

$F$  é o conjunto *Fuzzy* em  $X$ , expresso pelos pares ordenados  $[X, \mu_{(x)}]$ ;

$x \in X$ , é um elemento do conjunto  $X$  (primeiro elemento do par ordenado); e

$\mu_{(x)}$  é uma função que mapeia  $x$  em  $F$ , variando de 0 a 1 (segundo elemento do par ordenado).

A principal contribuição da lógica *Fuzzy* é seu alto poder de exatidão do que é duvidoso (ZADEH, 2008). Nesse sentido, uma forma estruturada de processar informações vagas e confusas é introduzida por meio do uso de uma função de associação *Fuzzy*, com conjunto parecido com as decisões humanas, de modo a transformar as preferências linguísticas qualitativas em formas quantitativas aceitáveis de processamento (BHATTACHARYA *et al.*, 2014).

Visando melhorar a precisão computacional, Herrera e Herrera-Viedma (2000), introduziram o Modelo de Variável linguística *2-Tuple*. Um modelo simbólico que estende o uso de índices que alteram a representação de aproximação linguística *Fuzzy*, ou seja, um parâmetro adicionado à representação linguística básica.

#### 2.4.1 Modelo de representação linguística *2-Tuple*

Seguem-se as definições de Herrera e Herrera-Viedma (2000) e Martínez e Herrera (2012), em que sendo uma variável linguística *2-Tuple* representada como em que é uma variável linguística e é um valor numérico com a conversão simbólica desse termo ampliando o *Fuzzy* linguístico. Seguem abaixo as definições.

Definição 1: Seja  $\beta$  o resultado de uma agregação dos índices de um conjunto de rótulos, analisados em um conjunto de termos linguísticos  $S$ , ou seja, o resultado de alguma operação de agregação simbólica, sendo  $g + 1$  a cardinalidade de  $S$ . Para  $i = \text{round}(\beta)$  e  $\alpha = \beta - i$  sejam dois valores como  $i \in [0; g]$  e  $\alpha \in [-0,5; 0,5)$  então  $\alpha$  é denominado de tradução simbólica, onde *round* trata-se da habitual operação de harmonização.

Definição 2: Seja  $S = \{S_i | i = 0, 1, 2, \dots, g\}$  um conjunto de termos linguísticos e  $\beta \in [0; g]$  um valor que representa o resultado de uma operação de agregação simbólica, então a *2-Tuple* que demonstra a informação equivalente a  $\beta$  é adquirida com a função apresentada na equação (2).

$\Delta: [0; g] \rightarrow S \times [-0,5; 0,5)$

$$\Delta(\beta) = (S_i, \alpha) \text{ com } \begin{cases} S_i, & i = \text{round}(\beta) \\ \alpha = \beta - i, & \alpha \in [-0,5; 0,5), \end{cases} \quad (2)$$

Em que:

$S_i$  tem o rótulo de índice mais próximo de  $\beta$ ; e

$\alpha$  é o valor da tradução simbólica;

De modo a explicar a função  $\Delta$  um exemplo sugerido por Xu (2012) é apresentado.

Exemplo 1: Para  $S_1 = \{s_0, s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6\}$  e  $\beta = 5,5$  seja o valor da agregação simbólica. Então:  $\Delta(\beta) = \Delta(5,5) = (S_6, -0,5)$ .

Definição 3: Seja  $S = \{S_i | i = 0, 1, 2, \dots, g\}$  um conjunto de termos linguísticos e  $(S_i, \alpha)$  seja um *2-Tuple*. Há sempre uma função  $\Delta^{-1}$  tal que a partir de um *2-Tuple* ela voltará ao seu valor numérico equivalente  $\beta \in [0; g] \subset \mathfrak{R}$ , segundo equação (3).

$$\begin{aligned} \Delta^{-1}: S \times [-0,5; 0,5] &\rightarrow [0; g], \\ \Delta^{-1}(S_i, \alpha) &= i + \alpha = \beta \end{aligned} \quad (3)$$

Realizar a conversão de um termo linguístico em *2-Tuple* linguístico consiste em acrescentar um valor zero como translação simbólica, conforme equação (4).

$$\Delta(S_i) = (s_i, 0), i = 0, 1, 2, \dots, g \quad (4)$$

Exemplo 2: Para  $S = \{s_0, s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6\}$  seja um conjunto de termos linguísticos  $\beta_1 = 3,4$ ;  $\beta_2 = 4,5$  e  $\beta_3 = 5,9$ .

Então:  $\Delta(\beta_1) = (s_3, 0,4)$ ;  $\Delta(\beta_2) = (s_5, -0,5)$  e  $\Delta(\beta_3) = (s_6, -0,1)$ .

Por outro lado,  $\Delta^{-1}(s_3, 0,4) = 3,4$ ;  $\Delta^{-1}(s_5, -0,5) = 4,5$  e  $\Delta^{-1}(s_6, -0,1) = 5,9$

Definição 4: A comparação da informação linguística representada pelo *2-Tuple* é realizada de acordo com uma ordem lexicográfica ordinária. Deixe  $(s_k, \alpha_1)$  e  $(s_l, \alpha_2)$  sejam dois *2-Tuples*, cada um representa uma contagem de informação como se apresenta na equação (5).

$$(s_k, \alpha_1) = (s_l, \alpha_2) \quad (5)$$

Em que:

Se  $k < l$  então  $(s_k, \alpha_1)$  é menor que  $(s_l, \alpha_2)$ .

Se  $k = l$  então:

se  $\alpha_1 = \alpha_2$  então  $(s_k, \alpha_1), (s_l, \alpha_2)$  representa a mesma informação;

se  $\alpha_1 < \alpha_2$  então  $(s_k, \alpha_1)$  é menor que  $(s_l, \alpha_2)$ ;

se  $\alpha_1 > \alpha_2$  então  $(s_k, \alpha_1)$  é maior que  $(s_l, \alpha_2)$ .

Definição 5: É definido o operador de negação *2-Tuple* pela equação (6).

$$\text{Neg}((S_i, \alpha)) = \Delta \left( g - \left( \Delta^{-1}(S_j, \alpha) \right) \right) \quad (6)$$

Em que:

$g + 1$  é a cardinalidade de  $S$ ,  $S = \{S_i | i = 0, 1, 2, \dots, g\}$ .

Os passos de unificação de dados heterogêneos e conversão de escalas utilizam os operadores baseados em funções  $\Delta$  e  $\Delta^{-1}$  definidos no modelo computacional linguístico *2-Tuple* (HERRERA; HERRERA-VIEDMA; MARTINEZ, 2008; HERRERA; MARTINEZ, 2001; HERRERA; MARTÍNEZ; SÁNCHEZ, 2005), não estando no escopo deste trabalho.

Alguns pesquisadores como Chen e Tai (2005), propõem uma função de tradução para variável linguística generalizada *2-Tuple*. Já Setti *et al.* (2019), propuseram uma forma de converter os dados quantitativos na forma de informação linguística, podendo ser adaptado para atender essas especificidades que precisam ser analisadas em cada contexto de aplicação.

Uma das abordagens desenvolvidas para resolver problemas relacionados à tomada de decisões em métodos com vários critérios utilizando informações linguísticas é o modelo computacional linguístico *2-Tuple* (HERRERA; MARTÍNEZ, 2001). O modelo de representação linguística *2-Tuple*, apresentado na literatura por Girubha e Vinodh (2012), e Liu *et al.* (2014), baseia-se no conceito de tradução simbólica.

Nas abordagens linguísticas difusas, as variáveis linguísticas são utilizadas para denotar palavras ou frases de uma linguagem natural (JU; WANG, 2013). De modo a facilitar o cálculo e identificar a diversidade dos itens de avaliação, geralmente os termos linguísticos possuem um conjunto finito de características, cardinalidade ímpar, proporção semântica, nível ordinal e operação compensatória (HERRERA; MARTÍNEZ, 2000; TAI; CHEN, 2009; WANG, 2009).

As principais vantagens desta representação podem ser resumidas na tratativa contínua do domínio linguístico e na minimização de perdas de informações, portanto, minimização da falta de precisão (KARSAK; DURSUN, 2015). Estrella *et al.* (2014), complementam como vantagem a existência de diferentes extensões para poder realizar processos de computação com palavras de decisão complexas.

#### **2.4.2 Método TOPSIS 2-Tuple**

Os autores Hwang e Yoon (1981), propuseram o TOPSIS (*Technique for Order Preferences by a Similarity to an Ideal Solution*), método que objetiva selecionar as alternativas conforme a ordem de preferência. Nesse método, a alternativa que ficar melhor avaliada possui uma distância maior da solução negativa ideal e mais proximidade da solução positiva ideal.

Existem diversas aplicações do TOPSIS com a representação linguística 2-tuple. Para esta dissertação foi utilizado como referência o estudo de Wei (2010), o qual tem como etapas desde a escolha da escala linguística para processamento da informação. Além disso, realiza a verificação da solução positiva ideal e solução negativa ideal, verificando a distância entre as alternativas até abordar a classificação das alternativas em ordem de importância.

### **2.5 ANÁLISE DE PROJETOS DE INVESTIMENTO**

Para realizar qualquer tipo investimento, um estudo sobre o cenário esperado e a elaboração de um Projeto de Investimento (PI) são indispensáveis. Uma solução eficaz para uma decisão rentável com conhecimento e controle do nível de risco envolvido é de suma importância. Para isso, é fundamental possuir o domínio de indicadores para estruturar um modelo que proporcione resultados para subsidiar a tomada de decisão (MOTTA; CALÔBA, 2002).

De forma geral, a análise de PI deve começar com a coleta de dados, levando em consideração a estimativa inicial do investimento. Após, a projeção dos custos de produção é determinada. A próxima etapa, é o levantamento dos custos de

manutenção do projeto e a estimativa de receitas. Por fim, avalia-se a expectativa de retorno e os riscos associados ao projeto (RASOTO *et al.*, 2012; LIMA *et al.*, 2015).

Analisar a Viabilidade Econômica (VE) de um PI, é avaliar orçamentos de capital, para prever o retorno em um determinado período de tempo, em qual o projeto se paga ou qual será o tempo de retorno do mesmo (LEFLEY, 1996). Um PI pode ser definido como uma questão de escolha entre alternativas que envolvem algum tipo de preferência mediante um custo de oportunidade (HARZER, 2015).

### **2.5.1 Definição da Taxa Mínima de Atratividade – TMA**

Para que uma tomada de decisão seja segura é necessário conhecer o custo de capital com precisão. Para alcançar o objetivo de maximizar o valor presente líquido (VPL), o ganho oferecido pelas receitas líquidas em relação aos desembolsos, deve ser maior que o custo de capital dos recursos investidos. Desta forma, o VPL deve ser maior que o valor do capital investido aplicado a uma taxa representativa de custo de capital (ASSAF; LIMA; ARAÚJO, 2008).

A respeito de qual é a TMA mais adequada não existe um consenso na literatura e na prática de orçamento de capital. Ela pode ser a taxa utilizada em aplicações financeiras com baixo risco, denominada como taxa livre de risco, ou quase livre de risco, pode ser o custo médio ponderado do capital da organização, entre outras maneiras de se atribuir o que é denominada de TMA do investimento. A TMA é somente um dado na discussão teórica, já para cálculos de custo de capital a definição da TMA pode ser complexa e demandar tempo, especialmente nas grandes corporações (SOUZA; CLEMENTE; 2012; HARZER *et al.*, 2014).

Segundo Souza e Clemente (2012), a TMA deve ser a taxa com alta rentabilidade, alta liquidez e nível de risco baixo, disponível para aplicação do capital. De tal modo, o perfil do investidor deve ser compatível com essa escolha. Dessa forma, será estabelecida a rentabilidade com base no ganho além daquilo que já se tem. Esse conceito é denominado pelos economistas como lucro residual ou ganho adicional. Uma nova definição foi estabelecida para esse conceito: valor econômico adicionado (*Economic Value Added – EVA*) (KREUZ *et al.*, 2005).

Para definir a TMA, a metodologia clássica adiciona um *spread*<sup>1</sup> à taxa livre de risco para obter o nível de risco a ser respeitado em um PI. Incremento que deve ser proporcional ao risco, ou seja, quanto maior o risco de prejuízos financeiros de um PI, o adicional a ser considerado na taxa livre de risco deve ser maior. Essa definição, além de arbitrária, contém atributos determinísticos, no qual o risco continuará inalterado ao longo da vida útil do PI, o que não é verdadeiro, já que esse risco sofre variações ao longo do ciclo de vida do PI (HARZER *et al.*, 2014).

A opção do custo de capital pode ser a melhor TMA na avaliação de PI, embora tenha suas limitações. Dessa maneira, o investidor pode optar por obter o custo de capital como TMA (GITMAN, 2001). É possível assim, destacar algumas questões que devem ser observadas quando é adotado o custo de capital como TMA na análise de PI: (i) organizações com vários investimentos podem ter dificuldades para utilizar o Custo Médio Ponderado de Capital (CMPC) global, o ideal seria utilizar o CMPC do PI específico; (ii) quando é utilizado o CMPC global deve-se ponderar os riscos ajustados para cada projeto; (iii) o custo de agência ou conflito de interesses entre acionistas e diretores; (iv) limitações para identificar e mensurar o custo de capital; (v) os valores contábeis podem ser uma dificuldade, sendo que PI avaliam valores de mercado e não acontecimentos passados; e (vi) a definição de uma estrutura ótima ou alvo de capital (WESTON; BRIGHAM, 2000; SCHROEDER *et al.*, 2005; ANDERSON; BYERS; GROTH, 2000).

Para uma tomada de decisão eficiente em um PI uma seleção apropriada da TMA é fundamental. A importância da TMA deve-se ao fato de ser a decisão entre investir ou financiar (SCHROEDER *et al.*, 2005).

### **2.5.2 Métodos de Análise de Investimentos**

Para avaliar a viabilidade econômica de um PI em ativos reais, vários métodos, técnicas e metodologias são destacados pela literatura (CASAROTTO FILHO E KOPITKE, 2010; SOUZA E CLEMENTE, 2012; LIMA *et al.*, 2015; LIMA *et al.*, 2017a). Os principais métodos são: Valor Presente Líquido (VPL); Valor Presente

Líquido Anualizado (VPLA); Índice Benefício Custo (IBC); Retorno Adicional sobre Investimento (ROIA); índice ROIA/TMA, sendo TMA a Taxa Mínima de Atratividade apresentada no item 2.4.1; Taxa Interna de Retorno (TIR); Payback descontado; índice TMA/TIR, índice Payback/N, sendo N o horizonte de planejamento; Payback<sub>Fin</sub>, recomendado para PI com financiamento externo; Grau de Comprometimento da Receita (GCR), Risco do Negócio (RN) e Risco de Gestão (RG) (SOUZA; CLEMENTE, 2012; RASOTO *et al.*, 2012; LIMA *et al.*, 2013; LIMA *et al.*, 2015; LIMA *et al.*, 2017a; SILVA *et al.*, 2019; SOUZA *et al.*, 2020).

Porém por ser de fácil aplicação e interpretação dos resultados, o VPL é o método mais adotado por empresas e recomendado pela literatura. Ele considera e avalia, dentre alternativas disponíveis, quais são viáveis e qual a mais rentável, mas não permite a comparação entre investimentos com horizonte de planejamento diferentes (COPELAND; ANTIKAROV, 2002; SOUZA; CLEMENTE, 2012). O VPL pode ser calculado com a equação (7).

$$VPL = \sum_{j=0}^n \frac{FC_j}{(1+TMA)^j} - |FC_0| \quad (7)$$

Em que:  $j$ : período;  $n$ : Horizonte de planejamento;  $FC_0$ : Investimento Inicial;  $FC_j$ : FC estimado para o período  $j$ ; e  $TMA$ : Taxa Mínima de Atratividade.

Outro importante indicador é o VPLA, que proporciona uma solução para uma das fragilidades do VPL, seu resultado representa o ganho do PI distribuído em valores equivalentes, por período de tempo. É possível assim, comparar PI com horizontes de planejamento distintos. A carência tanto do VPL como do VPLA é que os resultados são apresentados em valores monetários absolutos e não como é usual no mercado (KREUZ *et al.*, 2005). Para o cálculo do VPLA pode-se utilizar a equação (8).

$$VPLA = VPL \cdot TMA \cdot \frac{(1+TMA)^n}{(1+TMA)^n - 1} \quad (8)$$

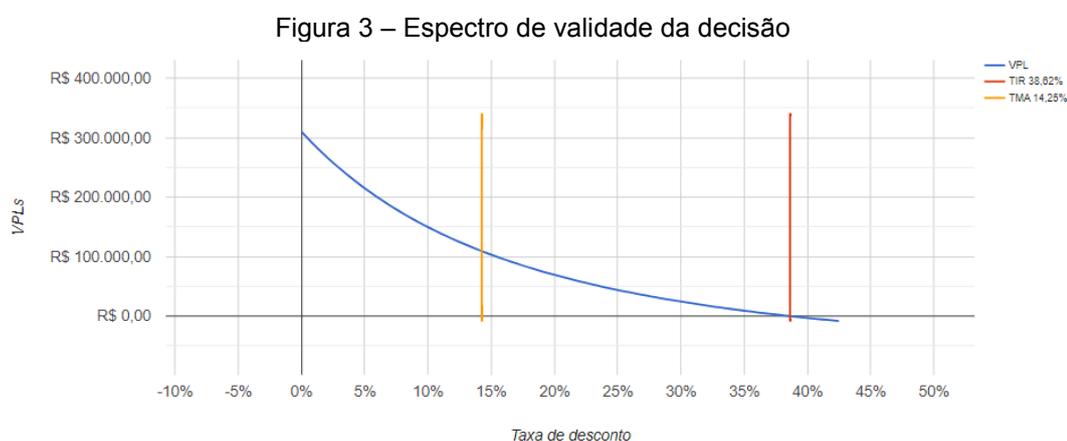
Em que:  $n$ : Horizonte de planejamento; VPL: Valor Presente Líquido; e  $TMA$ : Taxa Mínima de Atratividade.

Dentro os indicadores, tem-se a taxa interna de retorno (TIR), considerada por muitos autores como uma taxa de retorno. Para Souza e Clemente (2012), esse método é um indicador de risco. A TIR é a taxa que invalida o VPL, e define um limite para a variação da TMA. Enquanto a TIR continuar maior que a TMA pode-se esperar um retorno maior no PI do que se aplicado esse valor à remuneração pela TMA. Quanto mais próxima a TIR com a TMA, maior o risco do PI. Para Harzer (2015), a TIR demonstra apenas o retorno máximo que o projeto pode obter caso fosse possível reinvestir todos os Fluxos de caixa (FC) com taxas iguais à TIR do PI. A equação (9) apresenta a equação da TIR. O cálculo exige o uso de métodos numéricos, como o de Newton-Raphson (LIMA *et al.*, 2017b).

$$\sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+TMA)^j} - |FC_0| = 0 \quad (9)$$

Em que:  $j$ : período;  $n$ : Horizonte de planejamento;  $FC_0$ : Investimento Inicial; e  $FC_j$ : FC estimado para o período  $j$ .

A Figura 3 apresenta o impacto da taxa de desconto (TMA) no VPL de um PI. Em outras palavras, destaca o espectro de validade da decisão. Além disso, destaca-se a TIR, a TMA e a distância entre elas.



Fonte: Elaborada pelo autor no \$AVEPI® (2020).

O IBC é outro indicador que contribui na análise de investimento. Ele também é conhecido por Índice de Lucratividade (IL). O IBC é uma medida de quanto se espera ganhar por cada unidade de capital investido, em termos atuais. Ele tem como proposta calcular os recursos gerados ao longo da vida útil de um PI, reinvestidos à TMA estabelecida (CORREIA NETO, 2009; SOUZA; CLEMENTE, 2012).

Com o cálculo sobre todo o horizonte de planejamento ( $n$ ), o IBC prospecta as expectativas de ganho por cada unidade de capital investido com relação a mesma unidade investida na TMA. De forma similar ao VPL, o IBC tem a característica de expressar os ganhos obtidos em todo o período do PI (RASOTO *et al.*, 2012). O cálculo do IBC pode ser realizado a partir da equação (10).

$$IBC = \frac{\sum_{j=0}^n \frac{FC_j}{(1+TMA)^j}}{|FC_0|} \quad (10)$$

Em que:  $j$ : período;  $n$ : Horizonte de planejamento;  $FC_0$ : Investimento Inicial;  $FC_j$ : FC estimado para o período  $j$ ; e  $TMA$ : Taxa Mínima de Atratividade.

Para conhecer a estimativa de ganhos de um PI o melhor método é o ROIA, ele representa em percentual, a riqueza gerada pelo projeto, apresentando o ganho real esperado. O ROIA é correspondente percentual do conceito de Valor Econômico Agregado (EVA). O ROIA se origina da taxa que equivale o IBC em cada período do projeto. Ele representa a rentabilidade recorrente do projeto além da TMA, sendo o melhor indicador de rentabilidade de um PI (RASOTO *et al.*, 2012; SOUZA; CLEMENTE, 2012). O cálculo do ROIA é realizado com a equação (11).

$$ROIA = \sqrt[n]{IBC} - 1 \quad (11)$$

Em que:  $n$ : Horizonte de planejamento; e IBC: Índice Benefício Custo, analisando apenas o custo de implantação.

Para estimar o tempo de retorno de um PI, tem-se o *Payback*. Para Lima *et al.* (2013), o cálculo tradicional do *Payback* pode assinalar de forma incorreta a VE de

um PI, apontando o risco de não se pagar o projeto dentro do horizonte do planejamento (n). Os indicadores *Payback* Simples e o *Payback* descontado se distinguem entre si pelo fato de considerar o valor do dinheiro no tempo. Para Lima *et al.* (2013), a vantagem do *Payback* simples é a simplicidade no seu cálculo, pois não exige sofisticação de cálculo, apenas sucessivas subtrações. Segundo Rasoto *et al.* (2012), o *Payback* descontado apresenta o tempo necessário para que os benefícios do projeto devolvam o valor investido.

Souza e Clemente (2012), analisam o *Payback* como sendo um indicador de risco. A partir do cálculo do *Payback* pode-se calcular o índice *Payback/n*, sendo n o horizonte de planejamento do PI em estudo. Segundo Lima *et al.* (2013), para determinar o *Payback* descontado, necessita resolver a Inequação (12).

$$Payback = \min (j), tal\ que: \left\{ \sum_{k=1}^j \frac{FC_k}{(1+TMA)^k} \geq |FC_0| e FCDA_m > 0\ para\ j < m \leq N \right\} \quad (12)$$

Em que: *j*: período; *k*, *m*: índices; *FC*<sub>0</sub>: Investimento Inicial; *FC*<sub>*k*</sub>: FC estimado para o período *k*; *FCDA*<sub>*m*</sub>: FC Descapitalizado e Acumulado até o período *m*; *TMA*: Taxa Mínima de Atratividade; e *n*: Horizonte de planejamento.

Segundo Lima *et al.* (2013), o *Payback*<sub>Fin</sub> indica o tempo necessário para recuperar o investimento, considerando que os compromissos com os organismos externos à organização foram honrados. Dessa forma, o acumulado até o período “*j*” é suficiente para quitar o saldo devedor remanescente, constituído pelos juros e amortizações que ocorrerão até o fim do financiamento.

### 2.5.3 Técnicas de Análise de Investimentos

Podemos dizer que o risco de um PI é a variabilidade dos ganhos associados a determinado ativo, ou seja, a possibilidade de prejuízo financeiro. Deste modo, a relação entre risco e retorno é o carro chefe na determinação do destino de determinado capital, sendo que um dos principais atrativos para um investimento é uma semelhança coerente entre essas duas variáveis (GITMAN, 2010).

Atualmente, no cenário econômico mundial, faz parte de todos os setores da econômica a incerteza financeira. Por isso, avaliar o comportamento das variáveis de modo a identificar como elas podem afetar o resultado de projetos, torna-se decisivo para que haja sucesso e futuro dos mesmos (CARDOSO; AMARAL, 2000).

A incerteza a respeito de PI pode ser chamada de risco, e a análise quantitativa de risco, quando se faz uso da Simulação de Monte Carlo (SMC) oferece ao usuário um método preciso e consistente para abordar as mais diversas incertezas associadas ao PI (MENDES; SOUZA, 2007). Para Shimizu (1984), a SMC é uma ferramenta que permite a aproximação por meio de modelos da realidade, já as simulações por meios aleatórios permitem que seja possível lidar com situações cuja evolução, no transcorrer do tempo, não sejam previsíveis, trabalhando com acontecimentos probabilísticos quando a ocorrência envolve riscos e/ou certo grau de incerteza.

Um das desvantagens do uso da SMC para análise de PI é a dificuldade em definir os formatos das distribuições de probabilidades das variáveis que melhor representam a realidade (CARDOSO; AMARAL, 2000). Pode ocorrer essa definição com o auxílio de especialistas no assunto, que possuem conhecimento empírico sobre a situação. Souza (2001), ressalva que as distribuições triangulares e uniformes, na maioria das vezes são muito utilizadas nas ciências agrárias e estudos de VE pela apresentação simples e a não necessidade de muitos dados do evento.

A abordagem tradicional de análise de investimento pondera que as variáveis que compõem o FC do PI são determinísticas, ou seja, acontecerão exatamente da forma como foram orçadas. O uso de tecnologias para separação do resíduo lácteo, é composta por incertezas, necessitando realizar uma prévia dos valores de cada variável com o acompanhamento de uma equipe técnica especializada. Logo, os valores envolvidos são probabilísticos e assumem a característica de variáveis aleatórias. A SMC pode ser utilizada em ambientes duvidosos por meio da elaboração de centenas de milhares de cenários possíveis e suas respectivas distribuições de probabilidades (HARZER, 2015).

Para Correia Neto (2009), a SMC pode ser utilizada para apresentar resultados esperados em PI. A SMC diferente da abordagem determinística não calcula um valor único para cada indicador, mas uma série de valores, permitindo a

estimativa das probabilidades de ocorrência para cada indicador de análise, especialmente, a probabilidade do resultado do PI ser negativo, ou seja, o  $P(VPL < 0)$  ou  $P(TIR < TMA)$ , por exemplo (HARZER, 2015; LIMA *et al.*, 2017a).

A SMC é uma abordagem comportamental fundamentada em estatística. Ela ajuda em orçamento de capital na percepção do risco por meio da aplicação de distribuições probabilísticas pré-determinadas e números aleatórios, estimando os resultados esperados. Juntando os vários elementos do FC em um modelo matemático e computacional, fazendo o processo repetir milhares de vezes, o analista pode obter a distribuição probabilística dos prováveis retornos do projeto (GITMAN, 2010; LIMA *et al.*, 2017a).

#### **2.5.4 Metodologias para Análise de Investimentos**

Para analisar a VE de PI existem as metodologias tradicionais e as que foram propostas por Souza e Clemente (2012), e Lima *et al.* (2015), denominadas: Metodologia Multi-índice (MMI) e Metodologia Multi-índice Ampliada (MMIA). As abordagens para análise de VE de um PI podem ser divididas em três grupos, a saber: MMIA determinística, MMIA estocástica com o uso da SMC e Teoria das Opções Reais – TOR (COPELAND; ANTIKAROV, 2002; SOUZA; CLEMENTE, 2012; LIMA *et al.*, 2015; LIMA *et al.*, 2017a; DRANKA *et al.*, 2020).

##### **2.5.4.1 Metodologia Multi-índice (MMI) e Metodologia Multi-índice Ampliada (MMIA)**

Para Souza e Clemente (2012), a VE de um PI pode ocorrer via MMI, com o uso de vários indicadores de retorno e riscos, são eles: VPL, VPLA, IBC, ROIA, índice ROIA/TMA, *Payback*, TIR, Grau de Comprometimento da Receita (GCR), Risco do Negócio (RN) e Risco de Gestão (RG). O uso concomitante desses indicadores torna a análise de VE mais robusta e confiável.

Na MMI, o risco financeiro é calculado pela razão entre a TMA e a TIR, ou seja, via índice TMA/TIR. O resultado desse indicador, pode variar de próximo a zero, o que indica risco muito baixo; até o infinito, indicando risco extremo. Segundo Harzer

*et al.* (2014), os valores acima de 1 produzem um VPL negativo, ou seja, a relação TMA/TIR, como indicador de risco, compõe-se em uma escala no intervalo [0; 1].

Com a finalidade de melhorar a MMI proposta por Souza e Clemente (2012), Lima *et al.* (2015), ampliaram essa metodologia, passando a denominá-la de MMIA. Essa Ampliação (A), teve como finalidade a inclusão de índices para realizar uma Análise de Sensibilidade (AS), analisando a VE do PI também pelos Limites de Elasticidade (LE) e Valores-Limites (VL) (LIMA *et al.*, 2015; GULARTE *et al.*, 2020).

A AS quantifica a sensibilidade dos resultados econômicos do PI com relação às mudanças em uma variável, mantendo as demais inalteradas (CORREIA NETO, 2009). Quando uma pequena variação em um parâmetro muda drasticamente a lucratividade de um PI, diz-se que este é muito sensível a esse parâmetro. Logo, é importante concentrar esforços para obter menos dados incertos (LIMA *et al.*, 2015). O propósito principal da AS é aprofundar a percepção de riscos ao qual o PI estará submetido (CASAROTTO FILHO; KOPITTKKE, 2010; LIMA *et al.*, 2015).

Na MMI e MMIA existem várias etapas, mas determinar uma TMA adequada para a análise do projeto é fundamental (CATAPAN *et al.*, 2013). Para poder prosseguir com a análise outra etapa importante é identificar se o resultado do VPL é maior que zero. O VPLA é uma medida absoluta que expressa o quanto agrega de valor por unidade de tempo de análise o projeto em si.

O IBC se mede pela razão entre o Valor Presente (VP) dos fluxos líquidos dos benefícios e o VP dos fluxos de investimentos. O ROIA mede a rentabilidade obtida além da TMA, sendo utilizado como um indicador de retorno (HARZER, 2015; SOUZA; CLEMENTE, 2012). Segundo Souza e Clemente (2012), a TIR é utilizada no sentido de informar o máximo retorno que o projeto poderia produzir caso seus fluxos de benefícios pudessem ser reinvestidos a uma taxa igual a ela. Para Harzer (2015), a TIR é considerada um indicador de risco que limita o máximo que a TMA poderia alcançar para que ainda seja viável financeiramente investir no projeto. Para esse autor, o *Payback* é o indicador que apresenta o risco de não recuperar durante o período de duração do projeto o valor investido.

Souza e Clemente (2012), definem os RN como fatores conjunturais e não controláveis que afetam o ambiente do projeto. Harzer (2015), destaca que o RG está

relacionado com a experiência, conhecimento, habilidades e competência da equipe gestora na condução de negócios similares.

#### 2.5.4.2 Teoria das Opções Reais – TOR

Vários autores vêm criticando a forma tradicional de análise de investimentos amparada nos métodos VPL, TIR, IBC e *Payback*, por exemplo. Esses métodos são determinísticos, ou seja, avaliam o Fluxo de Caixa (FC) de forma estática, não incorporando na análise as incertezas e flexibilidades gerenciais (FGs) presentes em diversos PI (COPELAND; ANTIKAROV, 2002). Para Minardi (2000), o método do VPL necessita de uma reestruturação para avaliar projetos em que existam FG expressivas. A SMC pode auxiliar na análise de algumas incertezas, mas não avaliam as FGs (Dranka *et al.*, 2020).

Pela análise clássica, um PI é economicamente viável quando o VPL é maior que zero, sendo esse o ponto principal para apoiar a tomada de decisão sobre investir. Nesse caso, a decisão analisa somente as opções: aceitar ou não aceitar investir agora. Contudo, nessa abordagem não é possível mensurar os ganhos que se poderia ter com o PI, se a decisão fosse adiada para outro período. Alguns PIs podem aguardar determinado período para que o investidor obtenha novas informações. Nesse caso, o investidor possui uma opção financeira de compra, na qual tem o direito, mas não a obrigação de investir (COPELAND; TUFANO, 2004).

A TOR permite a elaboração de análises realistas, mesmo com um carácter dinâmico, consequência da sua característica que valora a tomada de decisão por período e proporciona uma visão detalhada do investimento e suas incertezas (COPELAND; ANTIKAROV, 2001; DRANKA *et al.*, 2020). Segundo Copeland e Antikarov (2002), a TOR pode ser considerada uma das ideias mais importantes em finanças empresariais dos últimos 30 anos. Quando o objetivo é avaliar investimentos com horizontes de mais de um período, a abordagem via TOR é superior a do VPL, desde que hajam FGs. O uso da TOR para avaliar PI na presença de FG é a melhor abordagem (MINARDI, 2000).

Assim, deve ser levado em consideração algumas variáveis importantes na hora de aplicar a TOR. Desta forma, foi elaborado o quadro 3 por meio da abordagem destaca por Monteiro (2003).

Quadro 3 - Variáveis básicas: Opções financeiras versus opções reais

<b>OPÇÃO FINANCEIRA</b>	<b>OPÇÃO REAL</b>
Preço do ativo subjacente (S)	Valor presente esperado de um investimento real
Preço de exercício	Valor do investimento pelo projeto
Taxa de dividendos da ação	Fluxo de caixa gerado pelo projeto
Tempo até o vencimento ou tempo de expiração da opção (t)	Tempo até o vencimento do projeto ou tempo de expiração da oportunidade de investimento
Taxa de juros (r)	Valor do dinheiro no tempo
Volatilidade dos retornos da ação ( $\sigma^2$ )	Incerteza (volatilidade) sobre o valor presente do projeto

Fonte: Monteiro (2003).

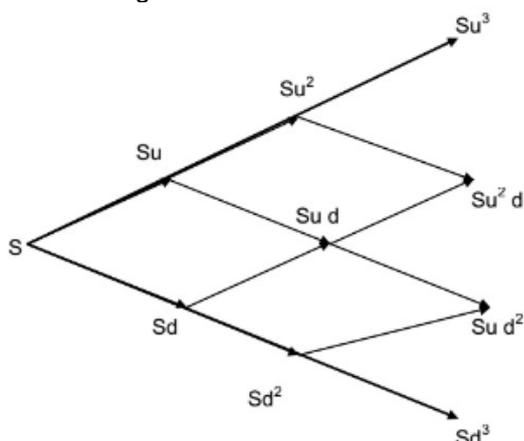
Segundo Copeland e Antikarov (2002), a avaliação pela TOR tende a substituir a abordagem do VPL na tomada de decisões PI. Não existem erros relevantes nos métodos clássicos de desconto de FC quando FG são menores e os valores de incertezas são baixos. Porém, quando a FG e as incertezas são elevadas, a decisão por esses métodos pode ser imprópria.

As organizações resistem em utilizar a TOR para avaliar e tomar suas decisões sobre oportunidades de crescimento. Isso se dá pelo motivo que modelos como Black-Sholes-Merton são usados na avaliação de opções financeiras, mas não são apropriados para avaliar OR, devido à complexidade da mesma. Copeland e Tufano (2004), sugerem o uso do modelo binomial, mais simples e flexível. O modelo binomial é o que mais se adequa para valoração de ativos via TOR, por ser de fácil aplicação com relação às decisões empíricas de PI (COPELAND; TUFANO, 2004).

Para Minardi (2000), a análise via TOR pode ser complexa, devido as abordagens que aproximam as Equações Diferenciais Parciais (EDP). Por outro lado, abordagens intuitivas como o modelo binomial, sendo aproximações do processo estocástico, são apresentadas como viáveis para aplicação em situações práticas.

Para a construção da árvore binomial, tem-se que o preço do ativo S, segue um processo multiplicativo. Segundo Copeland e antikarov (2002), o valor pode subir no próximo período para  $S.u$  com perspectiva  $p$  ou pode descer para  $S.d$  com perspectiva  $1-p$ . Na Figura 3, é apresentado o funcionamento para construção da árvore de binomial.

Figura 4 – Modelo binomial



Fonte: Iubel (2008)

O cálculo de alguns parâmetros é necessário para a precificação de uma OR. A definição da volatilidade, segundo Souza, Baldissera e Bertolini (2019), é o primeiro e o mais difícil de ser estimado. Segundo Copeland e Antikarov (2002), a volatilidade, também denominada de risco, é uma tentativa de medir a incerteza, porém, entre os fatores que alteram o valor da opção é o mais difícil de mensurar.

O valor de uma OR é diretamente influenciado pela volatilidade, pois a mesma está relacionada com a variabilidade do VPL dos FC. Segundo Evangelista (2006), pode-se determinar a volatilidade de um ativo pelo desvio-padrão da variação histórica dos retornos dos preços do ativo, apresentada na forma percentual. A partir da estimativa da volatilidade é possível calcular os demais parâmetros necessários para a construção da árvore binomial. Isso é apresentado nas equações (13, 14, 15, 16).

$$u = e^{\sigma \cdot \sqrt{\Delta t}} \quad (13)$$

Em que:  $u$ : movimento ascendente;  $e$ : número "e";  $\sigma$ : volatilidade; e  $\Delta t$ : Intervalo de tempo.

$$d = e^{-\sigma \cdot \sqrt{\Delta t}} \quad (14)$$

Em que:  $d$ : movimento descendente;  $e$ : número "e";  $\sigma$ : volatilidade; e  $\Delta t$ : Intervalo de tempo.

$$p = \frac{(1+R_f)-d}{(u-d)} \quad (15)$$

$$q = (1 - p) \quad (16)$$

Em que:  $p$ : probabilidade neutra ao risco;  $R_f$ : Taxa livre de riscos;  $u$ : movimento ascendente; e  $d$ : movimento descendente

A taxa de juros Livre de Riscos ( $R_f$ ) é um parâmetro necessários para realizar os cálculos dos movimentos da árvore binomial. Para Lubel (2008), a taxa SELIC pode ser utilizada como a taxa livre de juros riscos, quando não há ativos transacionados no mercado de capital.

### 3 METODOLOGIA

Neste capítulo é apresentada a metodologia de pesquisa, que está dividida nas seguintes seções: (i) classificação da pesquisa; (iii) modelo técnico-econômico para separação da gordura láctea; (iv) critérios e tecnologias para separação de gordura láctea; (v) aquisição da informação para desenvolvimento do modelo; (vi) aplicação do método multicritério TOPSIS *2-Tuple*; (vii) avaliação econômica da tecnologia para separação da gordura láctea; e (viii) aplicação do modelo técnico-econômico para separação de gordura a láctea.

#### 3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Esta pesquisa se define com uma abordagem quantitativa e qualitativa. O ato de mensurar variáveis de pesquisa é o atributo mais marcante da abordagem quantitativa. A mensurabilidade é uma das principais preocupações da abordagem quantitativa por exercer um papel central no processo de realização da pesquisa. Além disso, é qualitativa devido à busca por dados sobre a perspectiva dos indivíduos, bem como explicar o ambiente em que a problemática acontece (ARMSTRONG, 2001; FERRO *et al.*, 2020; CAUCHICK MIGUEL, 2002).

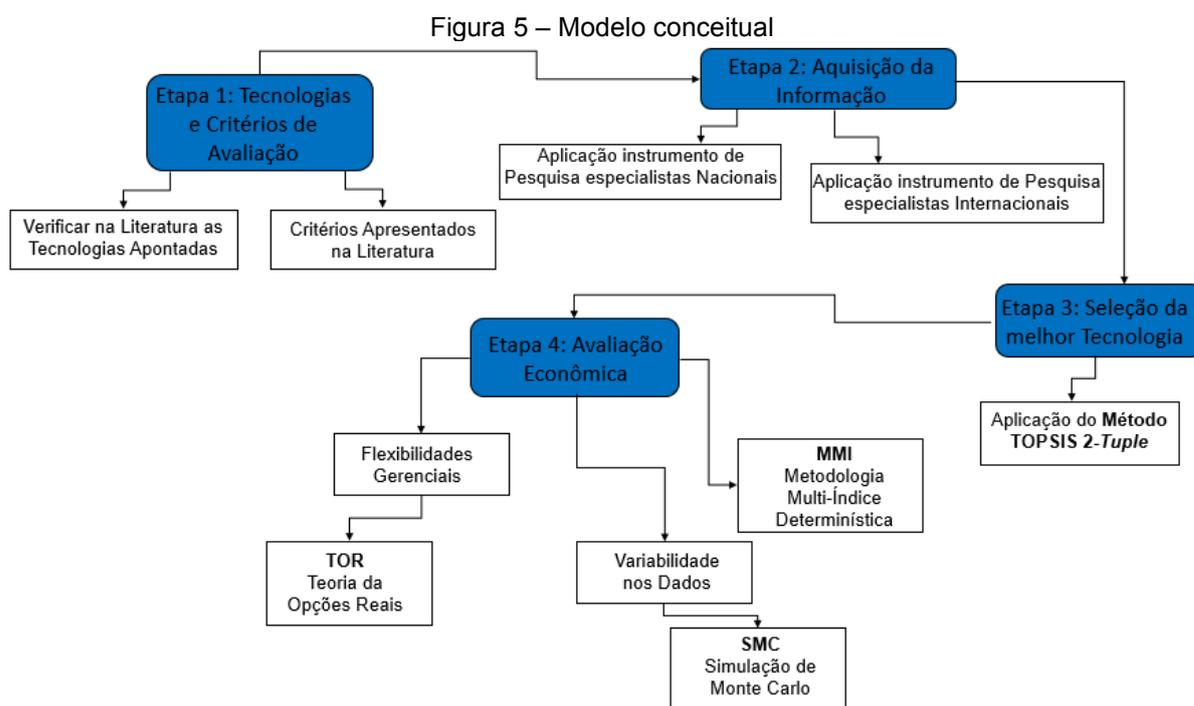
Em relação à natureza da pesquisa, classifica-se o estudo de atributo explicativo, visto que o objetivo é coletar dados para aplicação em uma sistemática de análise que faz o uso de várias ferramentas para alcance de resultados. De acordo com Cauchick (2012), na pesquisa em Engenharia de Produção, o pesquisador visita a organização estudada fazendo observações e, sempre que possível, coletando evidências.

A abordagem aplicada nesse estudo ocorre na forma de um estudo de caso, pois será aplicado o modelo desenvolvido em uma indústria láctea visando a validação e aplicabilidade do modelo estudado (YIN, 2015).

### 3.2 MODELO TÉCNICO-ECONÔMICO PARA SEPARAÇÃO DE GORDURA LÁCTEA

A partir da lacuna de pesquisa e da necessidade de estabelecer critérios para escolher a tecnologia adequada, o presente trabalho busca desenvolver um modelo conceitual para escolha da melhor tecnologia de separação da gordura láctea e propor uma análise de VE da mesma. A motivação prática para o desenvolvimento dessa pesquisa foi auxiliar as indústrias lácteas nessa tomada de decisão.

O ponto de partida desse estudo foi o desenvolvimento do modelo conceitual para a seleção de tecnologias de separação de material gorduroso presente no efluente em estudo. A Figura 5 mostra o modelo conceitual para avaliar as tecnologias para separação do resíduo lácteo. Para ilustrar a aplicabilidade do modelo desenvolvido, foi realizado um estudo de caso.



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.3 CRITÉRIOS E TECNOLOGIAS PARA SEPARAÇÃO DE GORDURA LÁCTEA

Na etapa 1 do modelo é apresentada as tecnologias de separação da gordura láctea encontradas na literatura atual. A Tabela 1 apresenta as tecnologias e autores que aplicaram as mesmas em seus estudos.

Tabela 1 – Tecnologias de separação da gordura láctea

<b>Tecnologias</b>	<b>Descrição da Tecnologia</b>	<b>Autores</b>
Tecnologia 1	Separação por força centrífuga	Khatri; Shao (2017); Cambiella <i>et al.</i> (2006); Dhungana <i>et al.</i> (2017)
Tecnologia 2	Separação por solvente	Phan <i>et al.</i> (2016); Yang <i>et al.</i> (2006); Bungard <i>et al.</i> (1996)
Tecnologia 3	Por aquecimento/Decantação	Goldblatt <i>et al.</i> (2014); Caplan <i>et al.</i> (2013)
Tecnologia 4	Hidrólise ácida/aquosa	Daaou; Bendedouch (2012)
Tecnologia 5	Métodos combinados	El-Naas <i>et al.</i> (2014); Mag <i>et al.</i> (1983)

Fonte: Elaborado pelo autor.

As Tecnologias empregadas para separar a gordura láctea do resíduo foram selecionadas a partir de outros trabalhos de pesquisa relatados na literatura, por meio de estudos que fizeram o uso dessas tecnologias (Tabela 1). Na etapa 1 se estabelece os critérios válidos e abrangentes, sendo uma etapa fundamental no processo de construção do modelo de decisão, pois influencia diretamente na qualidade da decisão a ser tomada.

Os critérios escolhidos nesse estudo estão amparados pela literatura, por outros pesquisadores que realizaram pesquisas utilizando diversos tipos de resíduos. Os critérios selecionados podem ser utilizados em diversos estudos, tais como: seleção de máquinas e seleção de materiais.

O critério Investimento Inicial (C1), busca retratar as subjetividades relacionadas as tecnologias em análise, ao setor e ao negócio Reck e Schultz, (2016). Critério Custo operação/Manutenção (C2), à manutenção é feita sob oportunidade, sendo assim, há um número finito de alternativas de tempos de substituição de peças e componentes, fator importantíssimo na hora de escolher uma tecnologia (CAVALCANTE; ALMEIDA, 2005).

Critério Eficiência (C3), garantir que a tecnologia selecionada permita realizar a separação de forma eficiente, podendo extrair ao máximo de sua eficácia Molinos *et al.* (2015). Critério Produtividade (C4), além de realizar uma separação com eficiência, deve-se escolher uma tecnologia que de fato atenda a demanda do processo de forma que a mesma seja produtiva (KARIMI *et al.*, 2011). Critério Confiabilidade (C5), garantir que a tecnologia realize uma separação confiável (RECK E SCHULTZ, 2016).

O critério Investimento Inicial (C1), foi escolhido pois em um projeto desta importância deve-se levar em consideração o seu custo de implementação. Já o

critério Custo operação/Manutenção (C2), para garantir que a tecnologia selecionada não tenha um valor elevado na hora de realizar as manutenções.

Já o critério Eficiência (C3) e o critério Produtividade (C4), para garantir que seja escolhida a tecnologia mais eficiente entre as analisadas e que seja a maior produtiva entre elas, garantindo atender a demanda desejada. O critério de Confiabilidade (C5), que garanta o máximo de confiança na hora de realizar a separação. A Tabela 2 apresenta esses critérios com os respectivos autores.

Tabela 2 – Critérios utilizados na seleção de tecnologias para separar gordura de resíduo com os respectivos autores

<b>Critérios</b>	<b>Autores</b>
Investimento Inicial (C1)	Liu <i>et al.</i> (2013)
Custo operação/Manutenção (C2)	Garfi <i>et al.</i> (2009)
Eficiência (C3)	Pires <i>et al.</i> (2011)
Produtividade (C4)	Tseng (2009)
Confiabilidade (C5)	Vego <i>et al.</i> (2008)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em seu trabalho Liu *et al.* (2013), usaram o critério (C1) para selecionar o melhor material para aplicação do seu estudo. Garfi *et al.* (2009) utilizaram o critério (C2) para identificar a melhor forma de realizar a coleta de resíduos sólidos em um campo de refugiados. Pires *et al.* (2011), usou o critério (C3) para seleção as melhores práticas de gestão de resíduos num ambiente incerto em Portugal.

O Critério (C4) foi utilizado no trabalho de Tseng (2009), onde se avalia a gestão de resíduos sólidos municipais. Vego *et al.* (2008), fizeram o uso do critério (C5) para fornecer um sistema de gestão de resíduo na Croácia.

A partir do levantamento dos critérios na literatura foi possível verificar que o Critério de investimento inicial foi usado por todos os pesquisadores, isso se dá devido a ser um fator importantíssimo na hora da tomada de decisão com relação aos custos envolvidos. Por isso é importante após a aplicação dos MCDM para gerenciamento de resíduos como um todo, ser avaliada a viabilidade econômica do procedimento selecionado, para verificar qual o custo envolvido.

Com isso, os critérios selecionados para esta dissertação estão amparados em estudos anteriores. Cinco critérios  $C_j$  ( $j = 1, 2, \dots, 5$ ), foram selecionados para selecionar a melhor tecnologia de separação do resíduo gorduroso lácteo são eles: custo inicial (investimento inicial: aquisição, transporte e instalação) (C1), Custos de

operação e de manutenção (C2), Eficiência (C3), Produtividade (C4) e Confiabilidade (C5).

### 3.4 AQUISIÇÃO DA INFORMAÇÃO PARA DESENVOLVIMENTO DO MODELO MULTICRITÉRIO

A determinação da importância dos critérios apontados pela literatura e a avaliação do desempenho dos critérios em relação às alternativas foram baseadas na opinião de especialistas. Todos os especialistas são da área de Química, com conhecimentos específicos sobre resíduos lácteos gordurosos.

Devido às incertezas presentes no processo de decisão, e como forma de extrair ao máximo o conhecimento dos especialistas na área a Tabela 3 representa as variáveis linguísticas para captação das informações.

Tabela 3 – Variáveis Linguísticas

Escala de Preferência Linguística		Classificação do Desempenho das alternativas em relação aos critérios	
Classificação	2-tuple	Classificação	2-tuple
Muito Baixo (MB)	$(S_0, 0)$	Muito Baixa (MB)	$(S_0, 0)$
Baixo (B)	$(S_1, 0)$	Baixa (B)	$(S_1, 0)$
Razoavelmente Baixo (RB)	$(S_2, 0)$	Razoavelmente Baixa (RB)	$(S_2, 0)$
Razoável (R)	$(S_3, 0)$	Razoável (R)	$(S_3, 0)$
Razoavelmente Alto (RA)	$(S_4, 0)$	Razoavelmente Alta (RA)	$(S_4, 0)$
Alto (A)	$(S_5, 0)$	Alta (A)	$(S_5, 0)$
Muito Alto (MA)	$(S_6, 0)$	Muito Alta (MA)	$(S_6, 0)$

Fonte: Elaborado pelo autor.

A coleta de informações foi dividida em dois instrumentos de pesquisa, aplicados via Google Forms®. No primeiro momento, um instrumento de pesquisa foi aplicado para determinar a importância dos critérios, o qual está apresentado no Apêndice A. O segundo instrumento buscou obter informações sobre o desempenho das tecnologias selecionadas com relação aos critérios definidos (Apêndice B). Esses dois instrumentos de pesquisa foram aplicados a especialistas nacionais e internacionais. O objetivo foi dar maior robustez para o estudo. As versões em inglês desses instrumentos estão nos (Apêndices C e D).

Devido a taxa de sucesso com aplicações internacionais, os instrumentos de coleta de informações foram enviados para 158 pesquisadores internacionais, onde apenas quatro responderam na íntegra os instrumentos, sendo da China, Argentina,

Itália e Espanha. Outros cinco deram retorno, porém justificaram não participação devido à alta carga de durante a pandemia. Por outro lado, todos os especialistas nacionais responderam os instrumentos de pesquisa.

### 3.5 APLICAÇÃO DO MÉTODO MULTICRITÉRIO TOPSIS 2-TUPLE

O método proposto nesta dissertação é um método compensatório de múltiplos critérios. Segundo Hwang e Yoon (1981), nesse tipo de método o baixo desempenho da alternativa em relação a um critério pode ser compensado por um melhor desempenho dessa mesma alternativa em relação aos demais critérios. No método TOPSIS a alternativa melhor classificada é aquela mais próxima da solução ideal positiva e mais distante da solução ideal negativa em relação a cada um dos critérios utilizados na avaliação.

O método de seleção das Tecnologias empregadas para separar a gordura láctea do resíduo foi o método TOPSIS-2-tuple, desenvolvido por (WEI, 2010). Este método garante mais confiabilidade nos dados.

Inicialmente se deve estabelecer o conjunto de termos linguísticos utilizados para processar as informações e converter as variáveis linguísticas no seu equivalente de informação 2-tuple. Para isso, foi utilizada a escala linguística apresentada na Tabela 3. As demais etapas de processamento da informação no método TOPSIS 2-tuple são apresentadas a seguir.

*Etapa 1:* Preferências do tomador de decisão (pesos de critérios). Os tomadores de decisão determinam a importância de cada critério, ou seja, os pesos dos critérios por meio de um conjunto de variáveis linguísticas. O peso linguístico agregado dos critérios é obtido pela equação (17) e o peso dos critérios na forma de um vetor de números reais é obtido pela equação (18) conforme proposto por (SETTI *et al.*, 2019).

$$(w_j, \alpha_j) = \Delta \left( \frac{1}{k} \sum_l^k = \Delta^{-1}(w_{kj}, \alpha_{kj}) \right) \quad (17)$$

$$w_j = \frac{\Delta^{-1}(w_j, \alpha_{wj})}{\sum_{j=1}^n \Delta^{-1}(w_j, \alpha_{wj})} \quad (18)$$

Em que:

$(w_j, \alpha_j)$  = peso linguístico agregado do critério  $j$  na forma de variável linguística *2-tuple*.

$w_j$  = peso do critério  $j$ , na forma de número real.

**Etapa 2:** Transformar a matriz de decisão linguística de cada um dos decisores  $R_k = (r_{ij}^{(k)})_{m \times n}$ , em uma única matriz de decisão na forma de variável linguística *2-tuple* agregada por meio da equação (19).

$$(r_{ij}, a_{ij}) = \Delta \left( \frac{1}{t} \sum_{k=1}^t \Delta^{-1} (r_{ij}^{(k)}, a_{ij}) \right), \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (19)$$

Em que:

$(r_{ij}^{(k)}, a_{ij})$  = é o desempenho da alternativa  $i$  em relação ao critério  $j$  para o decisor  $k$  na forma de variável linguística *2-tuple*.

$(r_{ij}, a_{ij})$  = é o desempenho da alternativa  $i$  em relação ao critério  $j$  após agregação na forma de variável linguística *2-tuple*.

**Etapa 3:** Deve-se verificar a solução positiva ideal ( $A^*$ ) e a solução negativa Ideal ( $A^-$ ), bem como a distância entre elas. Para isso se utiliza as equações (20) e (21) que são referentes à identificação.

$$(r_j^+, a_j^+) = \max_i \{(r_{ij}, a_{ij})\}, \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (21)$$

$$(r_j^-, a_j^-) = \min_i \{(r_{ij}, a_{ij})\}, \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (22)$$

Em que:

$(r_j^+, a_j^+)$  = solução positiva ideal para o critério  $j$  na forma de variável linguística *2-tuple*.

$(r_j^-, a_j^-)$  = solução negativa ideal para o critério  $j$  na forma de variável linguística 2-tuple.

*Etapa 4:* Nesta etapa se calcula as distâncias da alternativa  $i$  em relação a solução positiva ideal e a solução negativa ideal de cada um dos critérios  $j$ , por meio das equações (23) e (24).

$$(\delta_i^+, n_i^+) = \Delta \left( \sum_{j=0}^n |\Delta^{-1}(r_{ij}, a_{ij}) - \Delta^{-1}(r_j^+, a_j^+)| w_j \right) \quad (23)$$

$$(\delta_i^-, n_i^-) = \Delta \left( \sum_{j=0}^n |\Delta^{-1}(r_{ij}, a_{ij}) - \Delta^{-1}(r_j^-, a_j^-)| w_j \right) \quad (24)$$

Em que:

$(\delta_i^+, n_i^+)$  = é a distância total da alternativa  $i$  em relação a solução positiva ideal de cada um dos critérios  $j$  na forma de variável linguística 2-tuple;

$(\delta_i^-, n_i^-)$  = é a distância total da alternativa  $i$  em relação a solução negativa ideal de cada um dos critérios  $j$  na forma de variável linguística 2-tuple.

*Etapa 5:* Calcular o índice de proximidade com a solução ideal da alternativa  $i$  por meio da equação (26).

$$(\delta_i, n_i) = \Delta \left( \frac{\Delta^{-1}(\delta_i^-, n_i^-)}{\Delta^{-1}(\delta_i^+, n_i^+) + \Delta^{-1}(\delta_i^-, n_i^-)} \right), \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (26)$$

Em que:

$(\delta_i, n_i)$  = é o índice de proximidade com a solução ideal da alternativa  $i$  na forma de variável linguística 2-tuple.

Quanto maior a variável linguística 2-tuple da alternativa  $i$  melhor a classificação da referida alternativa.

### 3.6 AVALIAÇÃO ECONÔMICA DA TECNOLOGIA PARA SEPARAÇÃO DE GORDURA LÁCTEA

Nessa etapa, após identificar a melhor tecnologia de separação para o efluente, avalia-se a viabilidade econômica dessa tecnologia, a fim de auxiliar a empresa na valoração econômica da implementação do projeto.

Nessa etapa, aplica-se a abordagem determinística via MMIA e a abordagem estocástica via MMIA com SMC ou a TOR, ambas com suporte do aplicativo web \$AVEPI® (LIMA *et al.*, 2017b). Caso exista flexibilidades gerenciais, utiliza-se a TOR para avaliação econômica. Por outro lado, existindo variabilidade nos dados utiliza-se a SMC. Por fim, na ausência de flexibilidade gerencial e incerteza, utiliza-se MMIA (LIMA *et al.*, 2015; LIMA *et al.*, 2017a).

### 3.7 APLICAÇÃO DO MODELO TÉCNICO-ECONÔMICO PARA SEPARAÇÃO DE GORDURA LÁCTEA

Para ilustrar a aplicabilidade do modelo desenvolvido, foi realizado um estudo de caso para seleção e avaliação da melhor tecnologia de separação de resíduo graxo lácteo. A empresa foco do estudo é a quarta maior processadora de leite do país, situada na região Oeste de Santa Catarina. Trata-se de uma cooperativa central, formada por 13 cooperativas singulares, as quais contribuem com agregação de valor aos produtos oriundos de mais de 70.000 produtores cooperados. Nessa organização, o volume gerado de efluente é de aproximadamente 3.000 m<sup>3</sup>/dia, com um teor de gordura de 3%.

Essa indústria processa aproximadamente 1.500.000 litros de leite/dia em um parque fabril dividido em três plantas industriais altamente automatizadas e que geram um mix de produção com mais de 50 itens em processos rigorosamente padronizados e controlados. A escolha dessa unidade industrial se justifica pelo amplo acesso aos dados, assim como manifestação de interesse da alta gerência em efetivamente intervir em uma tecnologia de separação do resíduo lácteo que possa ser utilizado como venda de um subproduto gerado a partir da gordura láctea separada.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente capítulo são apresentados os resultados obtidos no desenvolvimento do modelo de seleção da melhor tecnologia de separação do resíduo lácteo. Os resultados serão apresentados em duas seções. A primeira corresponde aos resultados da aplicação do modelo MCDM, construído com o suporte de especialistas nacionais e internacionais. Apresenta-se de forma separada no intuito de poder comparar os resultados. A segunda seção apresenta os resultados da viabilidade econômica da tecnologia selecionada.

### 4.1 APLICAÇÃO DO MODELO MCDM PROPOSTO

Nesta seção é apresentada a aplicação do modelo proposto, detalhando o resultado da determinação dos pesos dos critérios. Também os resultados do desempenho das alternativas são relatados. A partir dessas informações se apresenta os resultados da aplicação do método TOPSIS *2-tuple*. Por último, mostra-se o *ranking* formado pelo instrumento de pesquisa aplicado.

#### 4.1.1 Peso dos Critérios

Os critérios descritos na Tabela 2 abrangem diversos aspectos relacionados às disciplinas de Engenharia Mecânica, Engenharia de Materiais e Engenharia Econômica. Assim, com o objetivo de verificar a importância de cada critério, conforme cada uma das áreas integradas, oito especialistas da área foram entrevistados. Quatro deles nacionais, profissionais com larga experiência sobre o uso e reutilização do resíduo em estudo, especialistas no desenvolvimento de novos produtos e projetos, gerentes de unidade processadora de lácteos e um pesquisador. Os outros quatro especialistas são pesquisadores internacionais, com larga experiência nas áreas de projetos, sendo pesquisadores do meio acadêmico. Os instrumentos de pesquisa (Apêndices A e C) foram utilizados para identificar a preferência de cada especialista em relação a importância dos critérios. Na sequência, define-se os pesos dos critérios por meio equações (17) e (18), propostas por (SETTI *et al.*, 2019).

A Tabela 4 apresenta as informações fornecidas pelos especialistas nacionais na forma de variáveis linguísticas, as quais foram obtidas a partir do instrumento de pesquisa exposto no (Apêndice B). Na Tabela 4 também são apresentados os resultados obtidos pela aplicação das equações (17) e (18), os pesos dos critérios como variáveis linguísticas *2-tuple* e os pesos dos critérios na forma de número real, respectivamente.

Tabela 4 – Peso dos critérios linguísticos *2-Tuple* transformado em números reais: pesquisadores nacionais

Pesos	Critérios				
	C1	C2	C3	C4	C5
D1	A	A	A	A	MA
D2	A	MA	MA	A	MA
D3	R	A	A	RA	A
D4	RA	MA	MA	RA	A
Equação (17)	$(S_4, 0,25)$	$(S_6, -0,50)$	$(S_6, -0,50)$	$(S_5, -0,50)$	$(S_6, -0,50)$
Equação (18)	0,168	0,218	0,218	0,178	0,218

Fonte: Elaborada pelo autor.

Os especialistas nacionais classificaram o critério Investimento Inicial (C1) atribuindo um peso igual (0,168). Isso o torna menos importante na avaliação dentre os critérios de custo, pois para o critério Custo operação/Manutenção (C2) recebeu o peso igual a (0,218). Com relação aos critérios Eficiência (C3) e Confiabilidade (C5) apresentaram o mesmo valor igual a 0,218. O critério Produtividade (C4) por sua vez, apresentou o peso de 0,178. Todos esses três critérios, são considerados de benefício em que quanto maior o desempenho valor da alternativa em relação ao critério melhor.

A Tabela 5 apresenta as informações fornecidas pelos especialistas internacionais na forma de variáveis linguísticas, as quais foram obtidas a partir do instrumento de pesquisa exposto no (Apêndice C). Esta Tabela, apresenta os resultados obtidos pela aplicação das equações (17) e (18), os pesos dos critérios como variáveis linguísticas *2-tuple* e os pesos dos critérios na forma de número real, respectivamente.

Um confronto entre os resultados apresentados nas Tabelas 4 e 5 permite depreender que houve uma pequena diferença entre os pesos dos critérios construídos a partir das informações obtidas dos especialistas nacionais e internacionais.

Tabela 5 – Peso dos critérios linguísticos *2-Tuple* transformado em números reais: pesquisadores Internacionais

Pesos	Critérios				
	C1	C2	C3	C4	C5
D1	A	A	A	A	MA
D2	A	MA	MA	A	MA
D3	R	A	A	RA	A
D4	RA	MA	MA	RA	A
Equação (17)	(S <sub>4</sub> , 0,25)	(S <sub>5</sub> , 0,00)	(S <sub>5</sub> , -0,25)	(S <sub>5</sub> , 0,00)	(S <sub>5</sub> , 0,00)
Equação (18)	0,190	0,200	0,210	0,200	0,200

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para os especialistas internacionais, o critério Investimento Inicial (C1) obteve um peso menor que o critério Custo operação/Manutenção (C2) mesmo comportamento em relação aos especialistas nacionais. Assim, se observa que o custo operação/manutenção é o critério de custo mais importante neste tipo de aplicação. Já o (C3) ficou em primeiro com relação aos critérios de benefício com peso de (0,210) valor muito parecido com o valor dos especialistas nacionais com relação ao mesmo critério, já (C4) e (C5) os mesmos ficaram com peso de (0,200), na visão dos especialistas internacionais estes critérios tem o mesmo peso na tomada de decisão, podemos verificar uma diferença relativamente alta com relação ao mesmo critério nas respostas dos especialistas nacional.

Com relação aos critérios de custo, no trabalho de Liu *et al.* (2013), o fator investimento foi o terceiro critério mais importante, isso se dá por conta da aplicação do estudo realizado. Já no trabalho de Tseng (2000), o critério investimento foi o mais importante entre os critérios definidos pelo autor, diferente do trabalho de (LIU *et al.*, 2013).

Por conta de seu estudo ser voltado a encontrar uma solução eficaz e de baixo custo para o resíduo municipal de Metro Manila nas Filipinas, já o estudo de Liu *et al.* (2013), o objetivo da pesquisa era seleção de um material, deste modo a critérios mais importantes como: condutividade térmica, resistência, limite de temperatura, todos podendo variar de acordo com a aplicação do material.

Pires *et al.* (2011), em seu trabalho identificou um sistema de gestão de resíduo em Portugal. O critério de custo investimento também foi o mais importante entre os demais critérios, isso porque a ideia do estudo e automatizar a planta de reciclagem deste resíduo, onde quanto menor for o investimento para este sistema

melhor. Em seu trabalho, o critério de custo operacional ficou em terceiro lugar. Já o critério de eficiência também foi o mais importante entre os critérios de benefícios em seu estudo.

Como podemos verificar o (C2) foi o mais importante dentre os critérios de custo, para os dois grupos de especialistas seguindo de (C1). Para os critérios de benefício o (C3) também foi considerado mais importante para ambos, somente para os especialistas nacionais o (C5) ficou na mesma posição que o (C3). O (C4) ficou na mesma posição para ambos os grupos, mudando somente na pesquisa internacional onde o (C5) se mantém na mesma posição que o (C4).

Na visão dos dois grupos de especialistas fica explícito que os mesmos tiveram a mesma linha de raciocínio/preferência, em definir com relação aos critérios de custo que o critério Custo operação/Manutenção (C2) é mais importante que o (C1) tendo em vista que o mesmo teve um peso maior que o (C1). Os pesos do (C2) mantiveram-se bem próximos para ambos os grupos, o (C1) que ficou um pouco mais distante entre a relação definida por cada grupo de especialistas.

#### **4.1.2 Desempenho das Alternativas**

Após obter as informações que determinam a importância dos critérios, conforme descrito em 3.4, foi aplicado o segundo instrumento de pesquisa, o qual determina o desempenho das tecnologias com relação aos critérios por um conjunto de variáveis linguísticas conforme a Tabela 3. A Tabela 6 apresenta a matriz de decisão formada pelas respostas dos especialistas

Tabela 6– Matriz de decisão: especialistas nacionais

	Critérios	Tecnologias				
		T1	T2	T3	T4	T5
D1	C1	R	B	R	R	R
	C2	R	RB	R	RB	R
	C3	A	A	RB	RB	R
	C4	A	A	RA	RA	RA
	C5	RA	MA	R	A	A
D2	C1	A	A	RB	A	A
	C2	RA	MA	RB	RA	A
	C3	A	RA	RA	RA	A
	C4	A	RB	R	B	RA
	C5	A	RA	A	RA	A
D3	C1	B	RB	R	RB	R
	C2	RB	RB	R	RB	R
	C3	A	RA	RA	RB	A
	C4	A	RB	R	B	RA
	C5	A	RA	RA	RA	A
D4	C1	B	R	R	RB	R
	C2	RB	RB	R	RB	R
	C3	RB	RA	R	RA	A
	C4	A	A	R	RA	A
	C5	A	R	R	R	A

Fonte: Elaborada pelo autor.

Enquanto a Tabela 7 apresenta às variáveis linguísticas na forma de variáveis linguísticas *2-tuple* agregadas obtidas por meio da aplicação da equação (19), a partir das informações da Tabela 6.

Tabela 7 – Matriz de decisão agregada *2-Tuple*: nacional

Critérios	Tecnologias				
	T1	T2	T3	T4	T5
C1	(S <sub>3</sub> , -0,50)	(S <sub>3</sub> , -0,25)	(S <sub>3</sub> , -0,25)	(S <sub>3</sub> , 0,00)	(S <sub>4</sub> , -0,50)
C2	(S <sub>3</sub> , -0,25)	(S <sub>3</sub> , 0,00)	(S <sub>3</sub> , -0,25)	(S <sub>3</sub> , -0,50)	(S <sub>4</sub> , -0,50)
C3	(S <sub>4</sub> , 0,25)	(S <sub>4</sub> , 0,25)	(S <sub>3</sub> , 0,25)	(S <sub>3</sub> , 0,00)	(S <sub>5</sub> , -0,50)
C4	(S <sub>5</sub> , 0,00)	(S <sub>4</sub> , -0,50)	(S <sub>3</sub> , -0,25)	(S <sub>3</sub> , -0,50)	(S <sub>4</sub> , 0,25)
C5	(S <sub>5</sub> , -0,25)	(S <sub>4</sub> , 0,25)	(S <sub>4</sub> , -0,25)	(S <sub>4</sub> , 0,00)	(S <sub>5</sub> , 0,00)

Fonte: Elaborada pelo autor.

Os valores da agregação *2-tuple*, apresentados na Tabela 7, são dados linguísticos obtidos dos especialistas nacionais.

De forma semelhante, a partir do instrumento de pesquisa aplicado com os especialistas internacionais (Apêndice D) foram obtidos o desempenho das tecnologias em relação aos critérios. A Tabela 8 apresenta a matriz de decisão formada pelas respostas desses especialistas.

Tabela 8 – Matriz de decisão: especialistas internacionais

	Critérios	Tecnologias				
		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
D <sub>1</sub>	C1	RA	A	R	A	A
	C2	R	MA	A	A	RA
	C3	A	R	RA	RA	R
	C4	MA	R	R	R	R
	C5	MA	R	R	R	RB
D <sub>2</sub>	C1	RA	RB	R	RA	R
	C2	R	RA	R	RB	R
	C3	RA	R	RB	RB	R
	C4	A	RB	R	RB	R
	C5	A	RB	RB	RB	R
D <sub>3</sub>	C1	RA	RA	RA	A	R
	C2	RB	RA	RA	R	R
	C3	A	RB	RB	RB	R
	C4	MA	RB	RB	RB	RB
	C5	A	RB	RB	RB	A
D <sub>4</sub>	C1	A	RA	R	RB	RA
	C2	R	RA	RA	RA	A
	C3	MA	RA	R	R	RB
	C4	MA	RA	RB	RB	RB
	C5	A	A	RA	R	RA

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Tabela 9 mostra as variáveis linguísticas *2-tuple* agregadas por meio da aplicação da equação (19), com a opinião dos quatro especialistas internacionais.

Um comparativo entre as matrizes de decisão apresentada pelos dois grupos de especialistas (Tabelas 6 e 8) mostra que, para os especialistas nacionais, a variável linguística que mais aparece como resposta é alto (A), com vinte e oito respostas entre esses especialistas. Já para os especialistas internacionais, a variável linguística que mais aparece como resposta é razoável (R), aparecendo vinte e nove vezes. A variável linguística muito alta (MA) é empregada por ambos os grupos de especialistas.

Tabela 9– Matriz de decisão agregada 2-Tuple Internacional

Critérios	Tecnologias				
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
<b>C1</b>	(S <sub>4</sub> , 0,25)	(S <sub>3</sub> , -0,25)	(S <sub>5</sub> , 0,00)	(S <sub>5</sub> , -0,25)	(S <sub>5</sub> , -0,25)
<b>C2</b>	(S <sub>4</sub> , -0,25)	(S <sub>4</sub> , -0,50)	(S <sub>3</sub> , 0,00)	(S <sub>3</sub> , -0,25)	(S <sub>3</sub> , 0,00)
<b>C3</b>	(S <sub>4</sub> , 0,25)	(S <sub>4</sub> , 0,00)	(S <sub>3</sub> , -0,25)	(S <sub>3</sub> , -0,50)	(S <sub>3</sub> , -0,25)
<b>C4</b>	(S <sub>4</sub> , 0,00)	(S <sub>4</sub> , -0,50)	(S <sub>3</sub> , -0,25)	(S <sub>3</sub> , -0,50)	(S <sub>2</sub> , -0,25)
<b>C5</b>	(S <sub>4</sub> , -0,25)	(S <sub>4</sub> , 0,25)	(S <sub>3</sub> , -0,25)	(S <sub>3</sub> , -0,50)	(S <sub>3</sub> , -0,50)

Fonte: Elaborada pelo autor.

Em relação as Tabelas 7 e 9, resultados da matriz agregada de desempenho das alternativas em relação aos critérios, se pode observar que para os especialistas nacionais o desempenho variou entre (S<sub>3</sub>, -0,50) e (S<sub>5</sub>, 0,00), enquanto que para os especialistas internacionais a variação foi um pouco maior (S<sub>2</sub>, -0,25) e (S<sub>5</sub>, 0,00).

#### 4.1.3 Resultados da Aplicação do Método TOPSIS 2-Tuple

Esta seção apresenta o resultado geral do modelo proposto, no qual a melhor tecnologia para separação da gordura láctea foi encontrada. A Tabela 10 apresenta a classificação e identifica a melhor tecnologia, segundo os especialistas nacionais consultados e o método TOPSIS 2-tuple.

Tabela 10 – Classificação das tecnologias de separação de gordura de resíduo lácteo com o método TOPSIS 2-tuple com informação dos especialistas nacionais

Tecnologias	2-tuple	Classificação
T <sub>1</sub>	(S <sub>5</sub> , 0,314)	1º
T <sub>2</sub>	(S <sub>3</sub> , 0,332)	3º
T <sub>3</sub>	(S <sub>2</sub> , 0,003)	4º
T <sub>4</sub>	(S <sub>1</sub> , 0,495)	5º
T <sub>5</sub>	(S <sub>4</sub> , -0,179)	2º

Fonte: Elaborada pelo autor.

A partir dos resultados apresentados na Tabela 10, verifica-se que a tecnologia separação por força centrífuga (T<sub>1</sub>) foi classificada como sendo a mais indicada para separar o resíduo lácteo. O método TOPSIS 2-tuple classifica as alternativas por meio de um resultado linguístico, sendo a tecnologia T1 a que obteve a maior variável linguística 2-tuple (S<sub>5</sub>, 0,314), ou seja, desempenho geral dessa

alternativa é pouco acima de alto devido a preservação da informação que é a principal característica do modelo linguístico *2-tuple*.

Na sequência, aparece a tecnologia métodos combinados ( $T_5$ ), seguida das tecnologias separação por solvente ( $T_2$ ), aquecimento/decantação ( $T_3$ ) e hidrólise ácida/aquosa ( $T_4$ ). A Tabela 11 apresenta a classificação e identifica a melhor tecnologia, segundo os especialistas internacionais e com a aplicação do método TOPSIS *2-tuple*.

Tabela 11 – Classificação das tecnologias de separação de gordura de resíduo lácteo com o método TOPSIS *2-tuple* com informação dos especialistas internacionais

<b>Tecnologias</b>	<b>2-tuple</b>	<b>Classificação</b>
$T_1$	$(S_5, 0,496)$	1º
$T_2$	$(S_1, -0,078)$	4º
$T_3$	$(S_1, 0,034)$	3º
$T_4$	$(S_1, -0,344)$	5º
$T_5$	$(S_1, 0,313)$	2º

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir dos resultados apresentados na Tabela 11, verifica-se que a tecnologia separação por força centrífuga ( $T_1$ ) também foi classificada como sendo a mais indicada para separar o resíduo lácteo, perante o grupo de especialistas internacionais, com o resultado de  $(S_5, 0,496)$ , ou seja, o desempenho geral dessa alternativa é pouco alto quase atingindo o muito alto. A interpretação é análoga à da Tabela 10, sendo omitida.

Na sequência, aparece a tecnologia métodos combinados ( $T_5$ ), seguida das tecnologias separação por solvente ( $T_2$ ), hidrólise ácida/aquosa ( $T_4$ ) e aquecimento/decantação ( $T_3$ ). Observa-se que houve uma mudança de posição entre as tecnologias  $T_3$  e  $T_4$  na comparação entre os resultados obtidos pelos especialistas nacionais em relação aos internacionais, as demais posições na classificação foram similares.

Conforme destacam os resultados apresentados nas Tabelas 10 e 11, a tecnologia força centrífuga ( $T_1$ ) foi a mais bem classificada em ambos os grupos de especialistas. O desempenho da alternativa  $T_1$  em relação aos dois grupos de especialistas, foi pequena,  $(S_5, 0,314)$  e  $(S_5, 0,496)$  para os especialistas nacionais e internacionais respectivamente. A tecnologia hidrólise ácida/aquosa ( $T_4$ ) ficou em último lugar para ambos os grupos de especialistas. Apesar disso, houve uma maior diferença entre os especialistas nacionais  $(S_1, 0,495)$  e internacionais  $(S_1, -0,344)$ .

Diante do exposto, o método TOPSIS *2-tuple* com suporte dos especialistas nacionais e internacionais apontou a tecnologia recomendada para a organização em estudo. Contudo, antes da efetivação de um projeto de investimento (PI) é necessário realizar um adequado estudo de viabilidade econômica, incorporando na análise as especificidades do empreendimento (Lima *et al.*, 2015; Lima *et al.*, 2017a).

#### 4.2 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA TECNOLOGIA SELECIONADA

Nessa seção, a tecnologia força centrífuga ( $T_1$ ), selecionada pelo método TOPSIS *2-tuple*, foi submetida à análise de viabilidade econômica (AVE). O projeto de investimento (PI) foi dimensionado para atender a demanda atual da organização em relação ao seu efluente gerado.

A partir do resíduo separado, a empresa pode destiná-lo para vários fins comerciais, tais como: vendê-lo para outras empresas para a produção de biodiesel, biofertilizantes, hidrogênio fermentativo ou biometano ou, a empresa pode produzir biodiesel *in company* (LU *et al.*, 2015; CHANDRA *et al.*, 2018; WONG *et al.*, 2019; HAMAWAND *et al.*, 2016; BILA *et al.*, 2016). Atualmente, a empresa faz a doação do resíduo para os cooperados utilizarem na cobertura de solo.

Para que a empresa utilize o resíduo na produção de biodiesel é necessário adquirir uma usina para processar e gerar o biocombustível. Porém, para o projeto em questão, foi considerado que a empresa realize somente a separação e venda este subproduto para uma indústria de transformação, a qual gerará o biocombustível. Essa foi a opção estratégica adotada pela empresa, cujo objetivo atual é resolver o problema do resíduo. Assim, na sequência, é promovido uma análise da viabilidade econômica desse empreendimento.

Para atender a atual demanda de 3.000 m<sup>3</sup>/dia de resíduos, os quais necessitam ser separados via tecnologia selecionada, é necessário adquirir duas centrifugas, as quais foram orçadas em aproximadamente R\$ 4.125.000,00. Além disso, foi considerada a aquisição de três tanques por R\$ 2.750.000,00, os quais têm capacidade total de armazenamento de 150 m<sup>3</sup> desse subproduto.

Nessa etapa, também foi previsto um custo de treinamento de funcionários, estimado em R\$ 46.750,00. Além disso, para o transporte desse subproduto é

necessário a aquisição de dois caminhões, totalizando R\$ 1.100.000,00. A empresa optou por considerar uma vida útil de 5 anos para esses veículos. Esses dados estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 – Fluxo de caixa inicial do empreendimento

Item	Descrição	Custo total
1	Sistema de separação	R\$ 4.125.000,00
2	Armazenamento	R\$ 2.750.000,00
4	Caminhões	R\$ 1.100.000,00
5	Treinamentos	R\$ 46.750,00
<b>Total</b>		<b>R\$ 8.021.750,00</b>

Fonte: Elaborada pelo autor.

Assim, o investimento inicial ou fluxo de caixa zero ( $FC_0$ ) foi orçado em R\$ 8.021.750,00. Esse investimento contempla todo o processo de separação e armazenamento do subproduto, ou seja, a bomba de alimentação, os encanamentos, as válvulas, as conexões necessárias e o painel de controle dos equipamentos. Foi considerado a modalidade de execução via recursos próprios.

O horizonte de planejamento (N) desse PI é de 5 anos. A vida útil dos equipamentos foi estimada pelos fabricantes em 10 anos. Contudo, foi considerado um horizonte de análise de apenas 5 anos, dado que este é um novo empreendimento na organização (Dornelas 2018). O valor de revenda (VR), ao fim de 5 anos, não foi considerado pois os equipamentos são específicos para empresa, dificultando a revenda.

O resíduo gorduroso do processo adotado pela empresa é de cerca de 3% do valor do efluente gerado. Atualmente, a empresa gera 3.000 m<sup>3</sup>/dia de resíduo. Dessa forma, foi estimado em 90 m<sup>3</sup>/dia de gordura separada. Foi considerado que a empresa realize a venda do resíduo por 0,67 R\$/L, para um índice de impureza de 8%. Caso o percentual de impurezas fique abaixo de 3%, o valor de mercado é de 1,45 R\$/L. Assim, para a AVE desse PI foi considerado o valor de 0,67 R\$/L, pois para a determinação do real grau das impurezas deve-se avaliar diversas amostras em vários períodos do ano, fora do escopo desse trabalho. Portanto, estima-se um aumento de receita de R\$ 21.708.000,00/ano.

A mão de obra necessária para o novo processo foi estimada em R\$ 315.000,00/ano, pois os atuais funcionários que trabalham na estação de tratamento de efluentes (ETE) não têm disponibilidade para realizar essas novas operações.

Além disso, a empresa estima um custo anual de R\$ 121.704,00 para a contratação de funcionários para realizar o transporte do subproduto. Nesse custo, estão inclusos os encargos trabalhistas (férias, 13º, INSS e FGTS). Foi considerado como base, um salário de R\$ 3.300,00/mês, valor atual pago pela organização para a função de motorista. Portanto, a mão de obra total foi estimada em R\$ 436.704,00.

Para a entrega deste subproduto à indústria transformadora é necessário um deslocamento diário de 114 km/dia para cada um dos caminhões. Em média, um caminhão faz 2,5 km/L e com o valor médio do diesel em 3,29 R\$/L, a empresa estima gastar R\$ 108.017,28 R\$/ano com o transporte, valor estimado para 30 dias/mês.

O consumo de energia elétrica no projeto está estimado em 65 kWh. Com a implementação desse PI foi previsto um aumento de 263.952,00 R\$/ano. Para essa estimativa, foi utilizada o valor da energia no estado de Santa Catarina (0,470 R\$/kWh). Para a análise, considerou-se 30 dias/mês de operação.

O custo de manutenção dos equipamentos foi estimado em 115.000,00 R\$/ano. Vale ressaltar que nos primeiros anos esse valor tende a ser um pouco menor e com o passar dos anos aumenta, devido à necessidade de substituição de peças. Diante disso, considerou-se uma média do custo total com manutenção para o período de 5 anos. O custo com manutenção da frota de transporte foi estimado, com base no histórico da empresa, em 25.000,00 R\$/ano.

Assim, a organização estima um custo de operação e manutenção (CO&M) do empreendimento de aproximadamente R\$ 840.656,00/ano. Por outro, como já detalhado, a receita anual esperada (R) é de R\$ 21.708.000,00. Portanto, o fluxo de caixa (FC) anual projetado é de R\$ 20.867.344,00 (Tabela 13).

Tabela 13 – Fluxo de caixa anual do empreendimento

<b>Descrição</b>	<b>Valor anual</b>
Custo com manutenção da tecnologia	R\$ 115.000,00
Custo com manutenção da frota de veículos	R\$ 25.000,00
Custo total de mão de obra	R\$ 436.704,00
Custo total de energia elétrica	R\$ 263.952,00
Custo de Operação e Manutenção estimado ( <b>CO&amp;M</b> )	<b>R\$ 840.656,00</b>
Receita estimada ( <b>R</b> )	R\$ 21.708.000,00
Fluxo de Caixa projetado ( <b>FC</b> )	<b>R\$ 20.867.344,00</b>

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a realização da AVE desse PI foi utilizado como referência uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 8% ao ano, definida pela política interna da empresa, a qual não pode ser detalhada por restrição imposta pela organização. A alíquota de tributos utilizada foi de 24%, sendo de 15% para o Imposto de Renda (IR) e 9% para a Contribuição Social sobre o Lucro Líquido (CSLL) sobre a base tributável, conforme prevê a legislação vigente. Além disso, foi considerado o método de depreciação linear como recomendado pela Secretaria da Receita Federal do Brasil, respeitando as taxas e prazos preconizados (SRF, 2020).

A análise desse empreendimento, em conjunto com os decisores da organização, permitiu depreender que esse PI não apresenta flexibilidade gerencial expressiva que justifique a aplicação da Teoria das Opções Reais – TOR (COPELAND; ANTIKAROV, 2002; MINARDI, 2000; DRANKA *et al.*, 2020). Dessa forma, foi aplicada a Metodologia Multi-índice Ampliada – MMIA (Lima *et al.*, 2015) e, avaliada a necessidade de uso da Simulação de Monte Carlo – SMC (LIMA *et al.*, 2017a; DRANKA *et al.*, 2018). Para a AVE desse PI foi utilizado a ferramenta computacional de acesso livre \$AVEPI® (LIMA *et al.*, 2017b).

A Figura 6 apresenta a tela de entrada no aplicativo web \$AVEPI®. Por outro lado, os resultados da aplicação da MMIA determinística estão apresentados na Figura 7. Observa-se que a expectativa da empresa é recuperar o investimento no primeiro ano. Além disso, pode ser observado o retorno esperado, os riscos associados e as sensibilidades dos principais parâmetros que interferem no desempenho econômico desse empreendimento.

Figura 6 – Tela de entrada dos dados do empreendimento no aplicativo \$AVEPI®

**\$AVEPI** Recursos Didáticos Projetos e Informações Módulos Reportar Erro English Créditos Logout

Abordagem Determinística - Recursos Próprios, Financiamento e Leasing - Fluxo de Caixa ou Custos e Receitas

Taxa Mínima de Atratividade (TMA, %) 8 Impostos + Contribuições (IR+CSLL,%) 24 Horizonte de Planejamento (N) 5

Projeto A Recursos Próprios  Financiamento  Leasing

Investimento Inicial (FC<sub>0</sub>) 8021750 Valor Residual (VR) 0 Fluxo de Caixa (FC<sub>j</sub>) Depreciação Linear (DL<sub>j</sub>) Prazo Depreciação (P<sub>d</sub>) 5

FC constante?  Depreciação constante?

Limpar Calcular

Período (j)	Receita Total (RT <sub>j</sub> )	Custo Total (CT <sub>j</sub> )	Fluxo de Caixa (FC <sub>j</sub> )	Depreciação Linear (DL <sub>j</sub> )	Base do IR	Imposto de Renda (IR <sub>j</sub> )	Fluxo de Caixa após IR (FC <sub>2j</sub> )	FC Descapitalizado para a data zero (FCD <sub>j</sub> )	Acumulado (FCDA <sub>j</sub> )	Payback (min j)
0	-	-8.021.750,00	-8.021.750,00	-	-	-	-8.021.750,00	-8.021.750,00	-8.021.750,00	-
1	21708000,00	840656,00	20867344,00	1650000	20.867.344,00	5.008.162,56	15.859.181,44	14.684.427,26	6.662.677,26	1
2	21708000,00	840656,00	20867344,00	1650000	20.867.344,00	5.008.162,56	15.859.181,44	13.596.691,91	20.259.369,17	2
3	21708000,00	840656,00	20867344,00	1650000	20.867.344,00	5.008.162,56	15.859.181,44	12.589.529,54	32.848.898,71	3
4	21708000,00	840656,00	20867344,00	1650000	20.867.344,00	5.008.162,56	15.859.181,44	11.656.971,80	44.505.870,51	4
5	21708000,00	840656,00	20867344,00	1375000	20.867.344,00	5.008.162,56	15.859.181,44	10.793.492,41	55.299.362,92	5

Fonte: Elaborado pelo autor no aplicativo \$AVEPI® (2020).

Figura 7 – Dimensões e indicadores da MMIA

DIMENSÃO	INDICADOR	VALOR ESPERADO
RETORNO	VPL (R\$)	55.299.362,92
	VPLA (R\$)	13.850.082,38
	IBC	7,8937
	ROIA (%)	51,17
	Índice ROIA/TMA (%)	639,58
RISCOS	Payback (anos)	1
	TIR (%)	196,84
	Índice Payback/N (%)	20,00
	Índice TMA/TIR (%)	4,06
SENSIBILIDADES Limites de Elasticidades (LEs)	Δ%TMA	2.360,56
	Δ%FC <sub>0</sub>	689,37
	Δ%FC <sub>j</sub>	87,33
SENSIBILIDADES Valores-Limite (VLs)	TMA (%)	196,84
	FC <sub>0</sub> (R\$)	63.321.112,92
	FC <sub>j</sub>	2.009.099,06

Elaborada pelo autor no \$AVEPI® (2020).

Se a empresa optar por investir nesse projeto, espera-se um lucro de aproximadamente R\$ 55.299.362,92 (VPL) durante todo o ciclo de vida do empreendimento, ou seja, terá um retorno de R\$ 13.850.082,38 ao ano (VPLA). Esse é o ganho adicional ao exigido pela empresa, nesse caso, 8% ao ano.

Com esse investimento, espera-se que cada unidade monetária investida retorne 7,8937. Isso representa um ROIA de 51,17% ao ano, além da TMA. De acordo

com Souza e Clemente (2009), para melhor medir o desempenho do projeto é indicado analisar o índice ROIA/TMA, o qual nesse projeto é de 639,58%. Conforme escala proposta por Lima *et al.* (2015), o índice ROIA/TMA sinaliza que o investimento tem expectativa de alto grau de retorno, conforme pode ser observado na Figura 8.

Figura 8 - Escala de indicadores da MMIA

Dimensão	Índice	Baixo < 33,33%	Médio de 33,33% a 66,66%	Alto > 66,66%
Retorno	ROIA/TMA			639,58%
Riscos	Payback/N	20,00%		
	TMA/TIR	4,06%		
Dimensão	Índice	Alta < 33,33%	Média de 33,33% a 66,66%	Baixa > 66,66%
Sensibilidades	%TMA			2.360,56
	%FC <sub>0</sub>			689,37
	%FC <sub>i</sub>			87,33

Elaborada pelo autor no \$AVEPI® (2020).

O PI em estudo apresenta retorno do investimento (*Payback*) no primeiro ano de implantação. Assim, o índice *Payback*/N é de 20,00% da vida estimada. Além disso, existe uma distância expressiva entre a TIR (196,84%) e a TMA (8%). Esses resultados apontam para um baixo nível de risco do PI (LIMA *et al.*, 2015).

A dimensão sensibilidades analisa a incerteza relacionada aos parâmetros do PI. Esse empreendimento mantém-se economicamente viável enquanto a TMA anual for menor ou igual a 196,84%. Por outro lado, o investimento inicial (FC<sub>0</sub>) suporta um acréscimo de quase 700%, desde que as estimativas de TMA e Fluxos de Caixa (FC) sejam mantidos. Por fim, o FC permite uma redução máxima 87,33%, ou seja, deve estar acima de R\$ 2.000.000,00. Esses resultados permitem enquadrar o empreendimento como de baixa sensibilidade (LIMA *et al.*, 2015), ou seja, pequenas variações nas estimativas não inviabilizam a implantação da tecnologia.

A variável mais sensível é o FC, o qual deve ser monitorada para a manutenção da viabilidade econômica desse empreendimento. Contudo, essa variável apresenta uma variação percentual maior que 33,33%, ou seja, não há a necessidade de aplicação da SMC (LIMA *et al.*, 2015; DRANKA *et al.*, 2020).

Outro ponto importante a ser considerado pela organização é o controle do índice de impurezas do resíduo. Esse fator impacta fortemente o retorno do empreendimento, pois o preço é baseado nesse índice.

Com base na análise realizada, foi possível concluir que a implantação dessa tecnologia é economicamente viável, pois espera-se alto grau de retorno e baixos níveis de riscos e sensibilidades, conforme a escala da MMIA proposta por Lima *et al.*

(2015). Nesse contexto, recomenda-se a implantação da tecnologia “separação por força centrífuga” na organização foco do estudo.

## 5 CONCLUSÕES

Estima-se que aproximadamente 11 bilhões de litros de resíduos lácteos produzidos pela indústria láctea mundial são descartados sem tratamento adequado (AHMAD *et al.*, 2019). Assim, o setor lácteo contribui para a poluição do meio ambiente e mudança climática. O Brasil é o 5º maior produtor mundial de leite de vaca. A produção anual de cerca de 34 bilhões de toneladas, deve-se elevar em função da pandemia do COVID-19. Dessa forma, a redução do impacto pode ser alcançada pelo uso de tecnologias modernas e economicamente viáveis.

Nesse contexto, essa dissertação foi desenvolvida com a proposta de apresentar um modelo multicritério para auxiliar a indústria leiteira na escolha de uma tecnologia de separação de seu principal resíduo gerado. Além disso, foi feita uma proposta de análise de viabilidade econômica (VE) por meio de uma abordagem adequadas às especificidades do empreendimento.

O objetivo geral desta dissertação consistiu em desenvolver um modelo multicritério para identificar a melhor tecnologia de separação da gordura láctea e avaliar a VE da implantação desta tecnologia, incorporando na análise as especificidades do projeto. Portanto, a principal contribuição do presente estudo foi a aplicação de um modelo MCDM para auxiliar as empresas lácteas na tomada de decisão, perante seus efluentes gerados.

Para elaborar o modelo multicritério foi utilizado o método TOPSIS *2-Tuple* com suporte de dois grupos de especialistas. Para a análise de VE adotou-se uma metodologia adequada ao projeto. Além disso, para avaliar o modelo desenvolvido, confirmando sua aplicabilidade e funcionalidade foi realizado um estudo de caso em uma indústria localizada na região Oeste de Santa Catarina.

Com a aplicação do modelo foi selecionada a tecnologia “separação por força centrífuga”. Na sequência, promoveu-se a AVE por meio da aplicação da MMIA determinística e avaliou-se a necessidade de uso da SMC.

Com base na análise realizada, foi possível concluir que a implantação dessa tecnologia é economicamente viável, pois espera-se alto grau de retorno e baixos níveis de riscos e sensibilidades, conforme a escala da MMIA proposta por (LIMA *et al.*, 2015). Com a implantação desse PI, espera-se um lucro total de R\$ 55 milhões, equivalente a R\$ 13 milhões por ano. Nesse contexto, recomenda-se a implantação da tecnologia força centrífuga na organização foco do estudo.

## 5.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Devido ao pouco uso de MCDM para esta aplicação na indústria leiteira sugere-se em pesquisa futuras estender a abordagem proposta, incorporando outros MCDM tais como: AHP, VIKOR, com o intuito de contribuir neste contexto.

Explorar novas aplicações no setor lácteo seria de muita importância pois permitiria observar novas limitações do método, além disso, estes novos estudos permitiriam a validação do método proposto. Ainda, podem-se explorar outras formas de agregação e unificação das opiniões linguísticas com aplicação de outras metodologias para captar a importância e influência. Estes seriam alguns dos caminhos possíveis para contribuir com a robustez e desenvolvimento do método proposto.

Em pesquisas futuras na área da análise de investimentos, fica como sugestões futuras avaliar a VE de todas as tecnologias apresentadas neste trabalho e confrontar o resultado da VE com os do método MCDM proposto. Contudo, é necessário que se tenha um tempo hábil para toda a coleta de informações para que seja feita uma análise adequada. O \$AVEPI<sup>®</sup> já está estruturado para realizar a análise concomitante de vários PIs.

Uma outra proposta é a aplicação da ROA nesse empreendimento, analisando, por exemplo, a possibilidade de a organização desenvolver um projeto mais amplo, o qual permita, se for adequado, começar a produzir o seu próprio biodiesel. Esta sugestão pode se estender para a empresa avaliar outras aplicações com a reutilização deste resíduo além do biodiesel, tais como: hidrogênio fermentativo, uma fonte de energia limpa e promissora, biometano e biofertilizantes.

## 6 REFERÊNCIAS

AHMAD, T.; AADIL, R. M.; AHMED, H.; RAHMAN, U. U.; SOARES, B. C. V.; SOUZA, S. L. Q.; PIMENTEL, T. C.; SCUDINO, H.; GUIMARÃES, J. T.; ESMERINO, E. A.; FREITAS, M. Q.; ALMADA, R. B.; VENDRAMEL, S. M. R.; SILVA, M. C.; CRUZ, A. G. Treatment and utilization of dairy industrial waste: A review. **Trends in Food Science and Technology**, v. 88, p. 361–372, 2019.

ARMSTRONG, J. S. **Principles of Forecasting**: A handbook for Researchers and Practitioners. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2001.

AL-WASIFY, R. S.; ALI, M. N.; HAMED, S. R. Application of different magnetic intensities for the treatment of landfill leachate in Egypt. **Cogent Engineering**, v. 5, n. 1, p. 1–13, 2018.

ALAYU, E.; YIRGU, Z. Advanced technologies for the treatment of wastewaters from agro-processing industries and cogeneration of by-products: a case of slaughterhouse, dairy and beverage industries. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 15, n. 7, p. 1581–1596, 2018.

ANDERSON, R. C.; BYERS, S. S.; GROTH, J. C. The cost of capital for projects: conceptual and practical issues. **Management Decision**, v. 38, n. 6, p. 384, 2000.

ANDERSON, E., ADDY, M., MA, H., CHEN, P., RUAN, R. Economic screening of renewable energy technologies: Incineration, anaerobic digestion, and biodiesel as applied to waste water scum. **Bioresource Technology**, v. 222, p. 202–209, 2016.

ATASOY, M.; EYICE, Ö.; CETECIOGLU, Z. Volatile fatty acid production from semi-synthetic milk processing wastewater under alkali pH: The pearls and pitfalls of microbial culture. **Bioresource Technology**, v. 297, p. 122415, 2020.

ANVARI, A., ZULKIFLI, N., & ARGHISH, O. Application of a modified VIKOR method for decision-making problems in lean tool selection. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 71, n. 5, p. 829–841, 2014.

ASSAF NETO, A.; LIMA, F. G.; ARAÚJO, A. M. P. Uma proposta metodológica para o cálculo do custo de capital no Brasil. **Revista Administração**, v.43, n.1, p.72-83, 2008.

BATHAEI, A.; MARDANI, A.; BALEŽENTIS, T.; AWANG, S. R.; STREIMIKIENE, D.;

FEI, G. C.; ZAKUAN, N. Application of fuzzy analytical network process (ANP) and VIKOR for the assessment of green agility critical success factors in dairy companies. **Symmetry**, v. 11, n. 2, 2019.

BHATIA, S. K.; JOO, H. S.; YANG, Y. H. Biowaste-to-bioenergy using biological methods – A mini-review. **Energy Conversion and Management**, v. 177, n. July, p. 640–660, 2018.

BILA, D. M. ET AL.; VENDRAMEL, S. M. R.; LIPPPEL, G.; ANNA, S. Traitement enzymatique et digestion anaérobie d ' une mousse de flottation Enzymatic treatment and anaerobic digestion of a flotation froth. p. 6–8, 2016.

BUNGARD, A.; HAMEYER, P.; METZELAARS, J. W/O emulsions: Solvent phase separation for pH determination. **International Journal of Cosmetic Science**, v. 18, n. 6, p. 249–259, 1996.

BHATTACHARYA, A.; MOHAPATRA, P.; KUMAR, V.; DEY, P. K.; BRADY, M.; TIWARI, M.K.; NUDURUPATI, S.S. Green supply chain performance measurement using fuzzy ANP-based balanced scorecard: A collaborative decision-making approach. **Production Planning and Control**, v. 25, n. 8, p. 698–714, 2014.

BBC News - **Climate change: Pledge to cut emissions from dairy farms**. Disponível de forma livre em: <http://www.bbc.co.uk/news/science-environment-47499656>. Acesso em: agosto de 2020.

CAO, K.; ZHI, R.; ZHANG, G. Photosynthetic bacteria wastewater treatment with the production of value-added products: A review. **Bioresource Technology**, v. 299, n. October, p. 122648, 2020.

CASANI, S., ROUHANY, M., KNØCHEL, S. A discussion paper on challenges and limitations to water reuse and hygiene in the food industry. **Water Research**. 39 (6), 1134-1146, 2005.

COPELAND, T.; ANTIKAROV, V. **Opções Reais: Um Novo Paradigma para Reinventar a Avaliação de Investimentos**, Rio de Janeiro, Campus, 2002.

CHERYAN, M., RAJAGOPALAN, N. Membrane processing of oily streams. Waste-water treatment and waste reduction. **Journal of Membrane Science**. 151 (1), 13-28, 1998.

COPELAND, T.; TRUFANO, P. A real-world way to manage real options. **Harvard Business Review**, v. 82, n. 3, p. 90-99, 2004.

CAPLAN, Z.; MELILLI, C.; BARBANO, D. M. Gravity separation of fat, somatic cells, and bacteria in raw and pasteurized milks<sup>1</sup>. **Journal of Dairy Science**, v. 96, n. 4, p. 2011–2019, 2013.

CARVALHO, F.; PRAZERES, A. R.; RIVAS, J. Cheese whey wastewater: Characterization and treatment. **Science of the Total Environment**, v. 445–446, p. 385–396, 2013.

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

CHANDRA, R., CASTILHO-ZACARIAS, C., DELGADO, P., PARRA-SALVÍDAR, R. A biorefinery approach for dairy wastewater treatment and product recovery towards establishing a biorefinery complexity index. **Journal of Cleaner Production**, v. 183, p. 1184–1196, 2018.

CHEN, C.-T.; TAI, W.-S. **Measuring the Intellectual Capital Performance Based on 2-tuple Fuzzy Linguistic Information**. The 10th Annual Meeting of APDSI, Asia Pacific Region of Decision Sciences Institute, 2005

CHEN, G. Q.; TALEBI, S.; GRAS, S. L.; WEEKS, M.; KENTISH, S. E. A review of salty waste stream management in the Australian dairy industry. **Journal of Environmental Management**, v. 224, p. 406–413, 2018.

CATAPAN, A.; SOUZA, A.; CATAPAN, D. C.; HARZER, J. H. **Utilização de Biodigestores Para Geração de Energia Elétrica a Partir de Dejetos de Suínos e Equinos: Uma Análise da Viabilidade Financeira Com o Uso da Simulação de Monte Carlo**. XX Congresso Brasileiro de Custos. Uberlândia, MG, Brasil, 2013.

CHOKSHI, K., PANCHA, I., GHOSH, A., MISHRA, S. Microalgal biomass generation by phycoremediation of dairy industry wastewater: An integrated approach towards sustainable biofuel production. **Bioresource Technology**, 2016.

CORREIA NETO, J. F. **Elaboração e avaliação de projetos de investimento**. São Paulo: Campus. 2009.

CARDOSO, D.; AMARAL, H. F. O uso da simulação de Monte Carlo na elaboração do fluxo de caixa empresarial: uma proposta para quantificação das incertezas ambientais. In: Encontro nacional de engenharia de produção, **Anais**. 2000.

CAMBIELLA, A.; BENITO, J. M.; PAZOS, C. J. Centrifugal separation efficiency in the treatment of waste emulsified oils. **Chem Eng Res Des** 84:69–76, 2006.

CHANG, C. L.; HSU, C. H. Multi-criteria analysis via the VIKOR method for prioritizing land-use restraint strategies in the Tseng-Wen reservoir watershed. **Journal of Environmental Management**, v. 90, n. 11, p. 3226–3230, 2009.

CHANG, C. L.; HSU, C. H. Applying a modified VIKOR method to classify land subdivisions according to watershed vulnerability. **Water Resources Management**, v. 25, n. 1, p. 301–309, 2011.

CASAROTTO FILHO, N., KOPITCKE, B.H. (2010) **Análise de Investimentos: Matemática Financeira, Engenharia Econômica, Tomada de Decisão, Estratégia Empresarial**. 11. ed. São Paulo: Atlas. 411 p.

CAVALCANTE, C. A. V.; de ALMEIDA. Modelo multicritério de apoio a decisão para o planejamento de manutenção preventiva utilizando PROMETHEE II em situações de incerteza. **Pesquisa Operacional**, 25 (2005) 279–296.

DAMERT, M.; PAUL, A.; BAUMGARTNER, R. J. Exploring the determinants and long-term performance outcomes of corporate carbon strategies. **Journal of Cleaner Production**, v. 160, p. 123–138, 2017.

DHUNGANA, P.; TRUONG, T.; PALMER, M.; BANSAL, N.; BHANDARI, B. Size-based fractionation of native milk fat globules by two-stage centrifugal separation. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 41, p. 235–243, 2017.

DAUD, N.M., SHEIKH ABDULLAH, S.R., ABU HASAN, H., YAAKOB, Z. Production of biodiesel and its wastewater treatment technologies: a review. **Process Safety and Environmental Protection**. 94, 487-508, 2015.

DORNELAS, J. C. A.; Dornelas, **Empreendedorismo: transformando ideias em negócios**. 7. ed. - Rio de Janeiro: Atlas, 2018.

DAAOU M, BENDEDOUCH D. Water pH and surfactant addition effects on the stability of an Algerian crude oil emulsion. **J Saudi Chem Soc King Saud Univ** v. 16, n. 3, p.

333–337, 2012.

DE JESUS, C.-S. A., C. S. A., ELBA RUTH, V. G., DANIEL, S. F. R., SHARMA, A. Biotechnological Alternatives for the Utilization of Dairy Industry Waste Products. **Advances in Bioscience and Biotechnology**, v. 06, n. 03, p. 223–235, 2015.

DADA E, AKINOLA M, HARUNA R (2018) Physico-chemical and genotoxicity assessments of palm oil mill effluent generated by a corporate refinery in Nigeria. **Pollution**, v. 4, n. 1, p. 83–92, 2018.

DE ALMEIDA, A. T. *et al.* A systematic literature review of multicriteria and multi-objective models applied in risk management. **IMA Journal of Management Mathematics**, v. 28, n. 2, p. 153–184, 2017.

DRANKA, G. G., CUNHA, J., LIMA, J. D. D., FERREIRA, P. Economic evaluation methodologies for renewable energy projects. **AIMS Energy**, v. 8, n. April, p. 339–364, 2020.

DUCKSTEIN, L., OPRICOVIC, S. (1980). *Multiobjective optimization in river basin development*. **Water Resources Research**, v. 16, n. 1, p. 14-20.

EL-NAAS, M. H.; ALHAIJA, M. A.; AL-ZUHAIR, S. Evaluation of a three-step process for the treatment of petroleum refinery wastewater. **J Environ Chem Eng**, v. 2, n. 1, p. 56–62, 2014.

EVANGELISTA, M. L. S. Estudo Comparativo de Análise de Investimentos em Projetos entre o Método VPL e o de Opções Reais: O Caso Cooperativa de Crédito - Sicredi Noroeste (**Tese de doutorado**). UFSC, Florianópolis, 2006.

ESTRELLA, F. J.; ESPINILLA, M.; HERRERA, F.; MARTÍNEZ, L. FLINTSTONES: A fuzzy linguistic decision tools enhancement suite based on the 2-tuple linguistic model and extensions. **Information Sciences**, v. 280, p. 152–170, out. 2014.

ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R.; LACERDA, R. T. D. O.; TASCA, J. E. **ProKnow-C, knowledge development process-constructivist**, 2010.

EPAGRI (Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina). **Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina 2018 - 2019**.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Notícias** Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/>

/noticia/52063930/pandemia-provoca-mudanca-de-habitos-de-consumo-de-produtos-lacteos-aponta-pesquisa . Acesso em 06 de agosto de 2020.

FINNEGAN, W.; GOGGINS, J.; CLIFFORD, E.; ZHAN, X. Global warming potential associated with dairy products in the Republic of Ireland. **Journal of Cleaner Production**, v. 163, p. 262–273, 2017.

GANJU, S.; GOGATE, P. R. A review on approaches for efficient recovery of whey proteins from dairy industry effluents. **Journal of Food Engineering**, v. 215, p. 84–96, 2017.

GIRUBHA, R. J.; VINODH, S. Aplicação de VIKOR fuzzy e análise de impacto ambiental para seleção de material de um componente automotivo. **Materiais e Design**, v. 37, p. 478-486, 2012.

GONZÁLEZ-GARCÍA, S. HOSPIDO, A., MOREIRA, M. T., FEIJOO, G., ARROJA, L. Environmental life cycle assessment of a galician cheese: San Simon da Costa. **Journal of Cleaner Production**, v. 52, p. 253–262, 2013.

GOVINDAN, K. Sustainable consumption and production in the food supply chain: A conceptual framework. **International Journal of Production Economics**, v. 195, p. 419–431, 2018.

GOLDBLATT, A. M. E.; GUCCIARDI, J. M.; HUBAN, C. M.; VASCONCELLOS, S. R.; LIAO, W. P. (2014) New polyelectrolyte emulsion breaker improves oily waste- water cleanup at lower usage rates. GE Power & Water—**Water & Process Technologies**, p. 1–6, 2014.

GUIMARÃES, P. M. R.; TEIXEIRA, J. A.; DOMINGUES, L. Fermentation of lactose to bio-ethanol by yeasts as part of integrated solutions for the valorisation of cheese whey. **Biotechnology Advances**, v. 28, n. 3, p. 375–384, 2010.

GITMAN, L. J. **Princípios de administração financeira**. 12. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

GITMAN, L. J. **Princípios de administração financeira**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman. 2001.

GAVADE, R. K. Multi-Criteria Decision Making : An overview of different selection problems and methods. **International Journal of Computer Science and**

**Information Technologies**, v. 5, n. 4, p. 5643–5646, 2014.

GUERRERO-BOTE, V. P.; MOYA-ANEGÓN, F. A further step forward in measuring journals scientific prestige: The SJR2 indicator. **Journal of Informetrics**, v. 6, p. 674–688. 2012.

GARFI, M., TONDELLI S., BONOLI, A. Multi-criteria decision analysis for waste management in Saharawi refugee camps. **Waste Management**, v. 29, p. 29–39, 2009.

HAMAWAND, I.; SANDELL, G.; PITTAWAY, P.; CHAKRABARTY, S.; YUSAF, T.; CHEN, G.; SENEWEERA, S.; AL-LWAYZY, S.; BENNETT, J.; HOPF, J. Bioenergy from Cotton Industry Wastes: A review and potential. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 66, p. 435–448, 2016.

HERRERA, F.; HERRERA-VIDEIRA, E.; MARTINEZ, L. A Fuzzy Linguistic Methodology to Deal With Unbalanced Linguistic Term Sets. **IEEE Transactions on Fuzzy Systems**, v. 16, n. 2, p. 354–370, abr. 2008.

HERRERA, F.; MARTÍNEZ, L. A 2-tuple fuzzy linguistic representation model for computing with words. **IEEE Transactions on Fuzzy Systems**, v. 8, n. 6, p. 746–752, 2000.

HERRERA, F.; MARTINEZ, L. A model based on linguistic 2-tuples for dealing with multigranular hierarchical linguistic contexts in multi-expert decision-making. **IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part B (Cybernetics)**, v. 31, n. 2, p. 227–234, abr. 2001.

HERRERA, F.; MARTÍNEZ, L.; SÁNCHEZ, P. J. Managing non-homogeneous information in group decision making. **European Journal of Operational Research**, v. 166, n. 1 SPEC. ISS., p. 115–132, 2005.

HARZER, J. H. Risco financeiro em projetos de investimentos: Uma contribuição à metodologia multi-índice. **Tese (doutorado) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná**, Curitiba, 2015.

HARZER, J. H.; SOUZA, A.; SILVA, W. V. D.; CRUZ, J. A. W. Abordagem probabilística do indicador TMA/TIR para avaliação do risco financeiro em projetos de investimentos. XXI Congresso Brasileiro de Custos, **Anais**. Natal, RN, Brasil, 2014.

HWANG, C. L.; YOON, K. P. **Multiple attribute decision making: Methods and applications**. Berlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag, 1981.

JIA, J., TANG, Y., LIU, B., WU, D., REN, N., XING, D. Electricity generation from food wastes and microbial community structure in microbial fuel cells. **Bioresource Technology**, v. 144, p. 94–99, 2013.

JU, Y., WANG, A. Extension of VIKOR method for multi-criteria group decision making problem with linguistic information. **Applied Mathematical Modelling**, v. 37, n. 5, p. 3112–3125, 2013.

JAHAN, A.; MUSTAPHA, F.; ISMAIL, M. Y.; SAPUAN, S. M.; BAHRAMINASAB, M. A comprehensive VIKOR method for material selection. **Materials & Design**, v. 32, n. 3, p. 1215–1221, 2011.

KIM, D., THOMA, G., NUTTER, D., MILANI, F., ULRICH, R., NORRIS, G. Life cycle assessment of cheese and whey production in the USA. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 18, n. 5, p. 1019–1035, 2013.

KARIMI, A. R.; MEHRDADI, S. J.; HASHEMIAN, G. R.; NABI BIDHENDI, M. R.; Tavakkoli Selection of wastewater treatment process based on the analytical hierarchy process and fuzzy analytical hierarchy process methods. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 8 (2011) 267–280.

KHATRI, P.; SHAO, J. Separation of external aqueous phase from o/w nanoemulsions. **European Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 96, p. 171–175, 2017.

KOCJANČIČ, T.; DEBELJAK, M.; ŽGAJNAR, J.; JUVANČIČ, L. Incorporation of emergy into multiple-criteria decision analysis for sustainable and resilient structure of dairy farms in Slovenia. **Agricultural Systems**, v. 164, n. March, p. 71–83, 2018.

KARSAK, E. E.; DURSUN, M. An integrated fuzzy MCDM approach for supplier evaluation and selection. **Computers and Industrial Engineering**, v. 82, p. 82–93, 2015.

KREUZ, C. L.; SOUZA, A.; PETRI, J. L. Impacto Da Intensificação Da Densidade De Plantio Na Rentabilidade Em Duas Cultivares De Macieira Em Fraiburgo-Sc. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.28, p. 240–243. 2006.

KONDAVEETI, S., ABU-REESH, I. M., MOHANAKRISHNA, G., PANT, D., HE, Z.

Utilization of residual organics of Labaneh whey for renewable energy generation through bioelectrochemical processes: Strategies for enhanced substrate conversion and energy generation. **Bioresource Technology**, v. 286, n. March, p. 121409, 2019.

LACERDA, R. T. D. O.; ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R.; Research opportunities in strategic management field: a performance measurement approach. **International Journal of Business Performance Management**, v. 15, p. 158-174. 2014.

LIU, H. -C., YOU, J. -X., ZHEN, L., FAN, X. -J. A novel hybrid multiple criteria decision making model for material selection with target-based criteria. **Materials and Design**, v. 60, p. 380–390, 2014.

LIU, J., DANTOFT, S. H., WÜRTZ, A., JENSEN, P. R., SOLEM, C. A novel cell factory for efficient production of ethanol from dairy waste. **Biotechnology for Biofuels**, v. 9, n. 1, p. 1–11, 2016.

LU, W., WANG, Z., WANG, X., YUAN, Z. Cultivation of *Chlorella* sp. using raw dairy wastewater for nutrient removal and biodiesel production: Characteristics comparison of indoor bench-scale and outdoor pilot-scale cultures. **Bioresource Technology**, v. 192, p. 382–388, 2015.

LIU, H. C., WU, J., LI, P. Assessment of health-care waste disposal methods using a VIKOR-based fuzzy multi-criteria decision making method. **Waste Management**, v. 33, p. 44-51, 2013.

LIMA, J. D. de; TRENTIN, M. G.; OLIVEIRA, G. A.; BATISTUS, D. R.; SETTI, D. A systematic approach for the analysis of the economic viability of investment projects. *Int. J. Engineering Management and Economics*. v. 5, n. 1/2. p. 19-34. 2015.

LIMA, J.D. DE., SCHEITT, L.C., BOSCHI, T.F., SILVA, N.J., MEIRA, A.A., DIAS, G.H. (2013) Propostas de ajuste no cálculo do payback de projetos de investimentos financiados. **Custos e @gronegocio on line**, v. 9, n. 4. p. 162-180.

LIMA, J.D. DE., BENNMANN, M., SOUTHER, L.F.P., BATISTUS, D.R., OLIVEIRA, G.A. (2017) \$AVEPI - Web System to Support the Teaching and Learning Process in Engineering Economics. **Brazilian Journal of Operations and Production Management**, v. 14, n. 4, p. 469-485.

LEFLEY, F. The *payback* method of investment appraisal: A review and synthesis. **International Journal of Production Economics**. v. 44 p.207-224. 1996.

MANNINA, G.; REBOUÇAS, T. F.; COSENZA, A.; SÀNCHEZ-MARRÈ, M.; GIBERT, K. Decision support systems (DSS) for wastewater treatment plants – A review of the state of the art. **Bioresource Technology**, v. 290, n. July, p. 121814, 2019.

MUELLER, J., CEN, Y., DAVIS, R.H. Crossflow microfiltration of oily water. **Journal of Membrane Science**. 129 (2), 221-235, 1998.

MAG, T. K.; GREEN, D. H.; KWONG, A. T. Continuous acidulation of soapstock and recovery of acid oil. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 60, n. 5 , p. 1008–1011, 1983.

MONTEIRO, R. C, Contribuições da Abordagem de Avaliação de Opções Reais em Ambientes Econômicos de Grande Volatilidade - Uma Ênfase no Cenário Latino-Americano. **Dissertação de mestrado**. Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, USP, 2003.

MARDANI, A.; JUSOH, A.; ZAVADSKAS, E. K. Fuzzy multiple criteria decision-making techniques and applications - Two decades review from 1994 to 2014. **Expert Systems with Applications**, v. 42, n. 8, p. 4126–4148, 2015.

MARTÍNEZ, L.; HERRERA, F. An overview on the 2-tuple linguistic model for computing with words in decision making: Extensions, applications and challenges. **Information Sciences**, v. 207, p. 1–18, 2012.

MENDES, M. H.; SOUZA, R. C. **Análise quantitativa de risco: um guia para modelagem pela simulação de Monte Carlo**. Rio de Janeiro: PUC-RJ, p. 35, 2007.

MOTTA, R. DA R.; CALÔBA, G. M. **Análise de Investimento: tomada de decisão em projetos industriais**. São Paulo: Atlas, 2002.

MOLINOS-SENANTE, M.; GARRIDO, B.M.; REIF, R.; HERNÁNDEZ-SANCHO, F.; POCH, M. Assessment of wastewater treatment plant design for small communities: Environmental and economic aspects. **Sci. Total Environ**, v. 427–428 (2012) 11–18.

MCCABE, W. L.; SMITH, J. C.; HARRIOTT, P. **Unit operations of chemical engineering**, 7th edn. McGraw-Hill, Boston, 2005.

MINARDI, A. M. A. F.; Teoria de opções aplicada a projetos de investimento. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 40, n. 2, p. 74-79, 2000.

NEFF, J., LEE, K., DEBLOIS, E.M., LEE, K., NEFF, J. Produced Water: Environmental

Risks and Advances in Mitigation Technologies. **Springer** New York, New York, NY, pp. 3-54, 2011.

NADABAN, S.; DZITAC, S.; DZITAC, I. Fuzzy TOPSIS: A General View. (J. Lee, H and Shi, Y and Lee, J and Cordova, F and Dzitac, I and Kou, G and Li, Ed.)Promoting Business Analytics and Quantitative Management of Technology: 4th International Conference on Information Technology and Quantitative Management (ITQM 2016). Anais...: **Procedia Computer Science**.2016

OPRICOVIC, S. Multicriteria optimization of civil engineering systems, Belgrade, 1998.

OPRICOVIC, S.; TZENG, G. H. Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. **European Journal of Operational Research**, v. 156, n. 2, p. 445–455, 2004.

OPRICOVIC, S.; TZENG, G. H. Extended VIKOR method in comparison with outranking methods. **European Journal of Operational Research**, v. 178, n. 2, p. 514–529, 2007.

PAPATHANASIOU, J.; PLOSKAS, N. VIKOR. **Springer Optimization and Its Applications**, v. 136, p. 31–55, 2018.

PAPATHANASIOU, J.; PLOSKAS, N.; BOURNARIS, T.; MANOS, B. A decision support system for multiple criteria alternative ranking using TOPSIS and VIKOR: A case study on social sustainability in agriculture. Decision support systems vi – decision support systems addressing sustainability & societal challenges. Lecture notes in business information processing. New York: **Springer**, v. 250, p. 3–15, 2016.

PENZ, E.; POLSA, P. How do companies reduce their carbon footprint and how do they communicate these measures to stakeholders? **Journal of Cleaner Production**, v. 195, p. 1125–1138, 2018.

PHAN, T. T. Q. LE, T. T., VAN DER MEEREN, P., DEWETTINCK, K. Combined effects of milk fat globule membrane polar lipids and protein concentrate on the stability of oil-in-water emulsions. **International Dairy Journal**, v. 52, p. 42–49, 2016.

PIRES, A., CHANG, N. B., MARTINHO, G. An AHP-based fuzzy interval TOPSIS assessment for sustainable expansion of the solid waste management system in Setúbal Peninsula, Portugal. **Resour Conserv Recycl**, v. 56, p. 7-21, 2011.

PORWAL, H. J., MANE, A. V., VELHAL, S. G. Biodegradation of dairy effluent by using microbial Isolates obtained from activated sludge, **Water Resources and Industry**, v. 9 , p. 1-15, 2014.

PUTATUNDA, S.; BHATTACHARYA, S.; SEND, D.; BHATTACHARJEE, C. A review on the application of different treatment processes for emulsified oily wastewater. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 16, n. 5, p. 2525–2536, 2019.

PIRES, A.; CHANG, N. BIN; MARTINHO, G. An AHP-based fuzzy interval TOPSIS assessment for sustainable expansion of the solid waste management system in Setúbal Peninsula, Portugal. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 56, n. 1, p. 7–21, 2011.

RODRIGUES, C.; RODRIGUES, A. C.; VILARINHO, C.; ALVES, M.; ALONSO, J. M. Spatial multicriteria gis-based analysis to anaerobic biogas plant location for dairy waste and wastewater treatment and energy recovery (Barcelos, NW Portugal). **Lecture Notes in Electrical Engineering**, v. 505, p. 626–632, 2019.

Rojas-Downing, M. M., Nejadhashemi, A. P., Elahi, B., Cassida, K. A., Daneshvar, F., Hernandez-Suarez, J. S., Abouali, M., Herman, M. R., Dawood Al Masraf, S. A., Harrigan, T. Food Footprint as a Measure of Sustainability for Grazing Dairy Farms. **Environmental Management**, v. 62, n. 6, p. 1073–1088, 2018.

ROSA, D. R. DUARTE, IOLANDA C.S., KATIA SAAVEDRA, N., VARESCHE, M. B., ZAIAT, M., CAMMAROTA, M. C., FREIRE, D. M .G. Performance and molecular evaluation of an anaerobic system with suspended biomass for treating wastewater with high fat content after enzymatic hydrolysis. **Bioresource Technology**, v. 100, n. 24, p. 6170–6176, 2009.

RASHTCHI, R.; KARBASSI, A. R.; MOZAFARI, H.; MORADPOUR, T. E. Investigation of polluting industries and oil waste reception facility in Khark Island in Persian Gulf. **Tech J Eng Appl Sci**, v. 3, n. 14, p. 1346–1349, 2013.

RASOTO, A.; GNOATTO, A. A.; OLIVEIRA, A. G. D.; ROSA, C. F. DA; ISHIKAWA, G.; CARVALHO, H. A. de; LIMA, I. A. de; LIMA, J. D. de; TRENTIN, M. G.; RASOTO, V. I. **Gestão Financeira: enfoque em inovação**. Curitiba: Aymará, 2012.

- RFB. Receita Federal do Brasil. **Depreciação**. 2020. Disponível em: <<http://www.receita.fazenda.gov.br>>. Acesso em: dez. 2020.
- RECK, Â.B.; SCHULTZ, G. Aplicação da Metodologia Multicritério de Apoio à Decisão no Relacionamento Inter organizacional na Cadeia da Avicultura de Corte. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, 54 (2016) 709–728.
- SETTI, D.; VERONA, M.N.; MEDEIROS, B.B.; RESTELLI, A. Materials selection using a 2-tuple linguistic multi-criteria method. **Materials Research**, 2020.
- SHINKAR, B. S. S. AND N. P. Dairy Industry Wastewater Sources , Characteristics & its Effects on Environment. **International Journal of Current Engineering and Technology**, v. Vol.3, No., n. January 2013, p. 1611–1615, 2013.
- SHIMIZU, T. **Pesquisa operacional em engenharia, economia e administração: modelos básicos e métodos computacionais**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1984.
- SILVA, A. M. R.; SOBRAL, M. F. F. Multicriteria model to sort suppliers in a Brazilian dairy industry. **International Journal of Decision Support System Technology**, v. 9, n. 3, p. 42–53, 2017.
- SINGH, A. K.; SINGH, G.; GAUTAM, D.; BEDI, M. K. Optimization of Dairy Sludge for Growth of Rhizobium Cells . **BioMed Research International**, v. 2013, p. 1–5, 2013.
- SLAVOV, A. K. General characteristics and treatment possibilities of dairy wastewater -a review. **Food Technology and Biotechnology**, v. 55, n. 1, p. 14–28, 2017.
- SRIKANTH, H. V., VENKATESH, J., GODIGANUR, S., MANNE, B. Acetone and Diethyl ether: Improve cold flow properties of Dairy Washed Milkscum biodiesel. **Renewable Energy**, v. 130, p. 446–451, 2019.
- SUGANTHI, L.; INIYAN, S.; SAMUEL, A. A. Applications of fuzzy logic in renewable energy systems -A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 48, p. 585–607, 2015.
- SINGH, A.; KUMARI, S.; MALEKPOOR, H.; MISHRA, N. Big data cloud computing framework for low carbon supplier selection in the beef supply chain. **Journal of Cleaner Production**, v. 202, p. 139–149, 2018.
- SOUZA, A., CLEMENTE, A. **Decisões Financeiras e Análises de Investimentos: Conceitos, técnicas e aplicações**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2012.

\$AVEPI – **Sistema de Análise da Viabilidade Econômica de Projetos de Investimento**. Disponível de forma livre em: <<http://pb.utfpr.edu.br/savepi>>. Acesso em: julho de 2020.

SOUZA, J. L. M. de. Modelo para a análise de risco econômico aplicado ao planejamento de projetos de irrigação para cultura do cafeeiro. **Tese (Doutorado em Agronomia)** Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2001.

SCHROEDER, J. T.; SCHROEDER, I.; COSTA, R. P. DA; SHINODA, C. O custo de capital como taxa mínima de atratividade na avaliação de projetos de investimento. **Revista Gestão Industrial**, v. 01, n. 02: p. 033-042, 2005.

SOUZA, W. D. J.; BALDISSERA, J. F.; BERTOLINI, G. R. F. Análise de opções reais aplicada na diversificação da produção rural no estado do Paraná. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 57, p. 253-269, 2020.

TANUDJAJA, H. J., HEJASE, C. A., TARABARA, V. V., FANE, A. G., Chew, J. W. Membrane-based separation for oily wastewater: A practical perspective. **Water Research**, v. 156, p. 347–365, 2019.

TOMASZEWSKA, M.; BIAŁOŃCZYK, L. Ethanol production from whey in a bioreactor coupled with direct contact membrane distillation. **Catalysis Today**, v. 268, p. 156–163, 2016.

TAI, W. S., CHEN, C. T. A new evaluation model for intellectual capital based on computing with linguistic variable. **Expert Systems with Applications**, v. 36, n. 2 PART 2, p. 3483–3488, 2009.

TAN, S. T., LEE, C. T., HASHIM, H., HO, W. S., LIM, J. S. Optimal process network for municipal solid waste management in Iskandar Malaysia. **Journal of Cleaner Production**, v. 71, p. 48–58, 2014.

TZENG, G. H.; TENG, M. H.; CHEN, J. J.; OPRICOVIC, S. Multicriteria selection for a restaurant location in Taipei. **International Journal of Hospitality Management**, v. 21, n. 2, p. 171–187, 2002.

TSENG, M. L. Application of ANP and DEMATEL to evaluate the decision-making of municipal solid waste management in metro manila. **Environ Monit Assess**, v. 156, p. 81-91, 2009.

VAN MIDDELAAR, C. E. BERENTSEN, P. B. M., DOLMAN, M. A. DE BOER, I. J.M. Eco-efficiency in the production chain of Dutch semi-hard cheese. **Livestock Science**, v. 139, n. 1–2, p. 91–99, 2011.

VERMA, A.; SINGH, A. Physico-Chemical Analysis of Dairy Industrial Effluent. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 6, n. 7, p. 1769–1775, 2017.

VILELA, L. DE O. Aplicação Do Proknow-C Para Seleção De Um Portifólio Bibliográfico E Análise Bibliométrica Sobre Avaliação De Desempenho Da Gestão Do Conhecimento Application of Proknow-C To Select Bibliography Portfolio and Bibliometric Analysis. **Revista Gestão Industrial**, p. 76–92, 2012.

VEGO, G., KUČAR-DRAGIČEVIĆ, S., KOPRIVANAC, N. Application of multi-criteria decision-making on strategic municipal solid waste management in Dalmatia, Croatia. **Waste Management**, 2008;28:2192–201.

VOURCH, M., BALANNEC, B., CHAUFER, B., DORANGE, G. Treatment of dairy industry wastewater by reverse osmosis for water reuse. **Desalination** 219 (1), 190–202, 2008.

VINCKE, P. **Multicriteria decision-aid**. Chichester: John Wiley & Sons, 1992.

WERNER, L. B.; FLYSJÖ, A.; THOLSTRUP, T. Greenhouse gas emissions of realistic dietary choices in Denmark: The carbon footprint and nutritional value of dairy products. **Food and Nutrition Research**, v. 58, n. September, 2014.

WIBOWO, S.; YANG, R.; RAMSARAN, R. Benchmarking the performance of dairy products in Chinese dairy industry. **Benchmarking**, v. 26, n. 2, p. 714–731, 2019.

WONG, Y. M. SHOW, P. L., WU, T. Y., L, H. Y., IBRAHIM, S., JUAN, J. C. Production of bio-hydrogen from dairy wastewater using pretreated landfill leachate sludge as an inoculum. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, v. 127, n. 2, p. 150–159, 2019.

WEI, G. W. Extension of TOPSIS method for 2-tuple linguistic multiple attribute group decision making with incomplete weight information. **Knowledge and Information Systems**, v. 25, n. 3, p. 623–634, 2010.

WESTON, J. F.; BRIGHAM, E. F. **Fundamentos da administração financeira**. 10. ed. São Paulo: Makron Books, 2000

- WANG, W. P. Evaluating new product development performance by fuzzy linguistic computing. **Expert Systems with Applications**, v. 36, n. 6, p. 9759–9766, 2009.
- XIN, C. ADDY, M. M., ZHAO, J., CHENG, Y., MA, Y., LIU, S., MU, D., LIU, Y., CHEN, P., RUAN, R. Waste-to-biofuel integrated system and its comprehensive techno-economic assessment in wastewater treatment plants. **Bioresource Technology**, v. 250, p. 523–531, 2018
- XU, Z. Linguistic Aggregation Operators. In: XU, Z. (Ed.). . **Linguistic Decision Making**. Berlin, Heidelberg: Springer; 2012, 2012. p. 15–85.
- YANG, C.; QIAN, Y.; ZHANG, L.; FENG, J. Solvent extraction process development and on-site trial-plant for phenol removal from industrial coal-gasification wastewater. *Chem. Eng. J.*, v. 117, n. 2, p.179-185, 2006.
- ZIMMERMANN, H.-J. **Fuzzy Set Theory—and Its Applications**. Dordrecht, London: Kluwer Academic Publishers, Boston, 2001.
- ZADEH, L. A.; JOSE, S. The Concept of a Linguistic Variable II. **Electrical Engineering**, v. 357, p. 301–357, 1975.
- ZADEH, L. A. A new direction in AI: Toward a computational theory of perceptions. **AI Magazine**, v. 22, n. 1, p. 73–84, 2001.
- ZADEH, L. A. Is there a need for fuzzy logic? **Information Sciences**, v. 178, n. 13, p. 2751–2779, 2008.
- ZENG, Q. L.; LI, D. D.; YANG, Y. B. VIKOR method with enhanced accuracy for multiple criteria decision making in healthcare management. **Journal of Medical Systems**, v. 37, n. 2, p. 1–9, 2013.
- YIN, R. K. **Estudo de Caso - Planejamento e Métodos**. 5. ed. Bookman. 2015.

## Apendice A

**Mestrando:** Guilherme Bolico Pletsch

**Professor:** Dr. Dalmarino Setti

**Objetivo do nosso estudo:** Selecionar uma tecnologia para separação da gordura presente em um resíduo lácteo com objetivo de usá-la na produção de biodiesel. A tecnologia de separação deve ser capaz de processar um volume diário de aproximadamente 3.000 m<sup>3</sup>, sendo que o teor de gordura é da ordem de 3%.

### INSTRUMENTO PARA AVALIAÇÃO DE TECNOLOGIAS DE SEPARAÇÃO DA GORDURA DE RESÍDUOS LÁCTEOS

1.1) Na sua opinião, qual a importância do critério **custo de implementação** para escolher uma tecnologia para a separação de resíduo graxo de efluente industrial lácteo (3.000 m<sup>3</sup>/dia com 3% de teor de gordura)?

( ) Muito Baixa, ( ) Baixa, ( ) Razoavelmente Baixa, ( ) Razoável, ( ) Razoavelmente Alta;  
( ) Alta, ( ) Muito Alta.

2.1) Na sua opinião, qual a importância do critério **custo de operação** para escolher uma tecnologia para a separação de resíduo graxo de efluente industrial lácteo (3.000 m<sup>3</sup>/dia com 3% de teor de gordura)?

( ) Muito Baixa, ( ) Baixa, ( ) Razoavelmente Baixa, ( ) Razoável, ( ) Razoavelmente Alta;  
( ) Alta, ( ) Muito Alta.

3.1) Na sua opinião, qual a importância do critério de **eficiência** para escolher uma tecnologia para separação de resíduo graxo de efluente industrial lácteo (3.000 m<sup>3</sup>/dia com 3% de teor de gordura)?

( ) Muito Baixa, ( ) Baixa, ( ) Razoavelmente Baixa, ( ) Razoável, ( ) Razoavelmente Alta;  
( ) Alta, ( ) Muito Alta.

4.1) Na sua opinião, qual a importância do critério da **produtividade** para escolher uma tecnologia para separação de resíduo graxo de efluente industrial lácteo (3.000 m<sup>3</sup>/dia com 3% de teor de gordura)?

( ) Muito Baixa, ( ) Baixa, ( ) Razoavelmente Baixa, ( ) Razoável, ( ) Razoavelmente Alta;  
( ) Alta, ( ) Muito Alta.

5.1) Na sua opinião, qual a importância do critério de **confiabilidade** para escolher uma tecnologia para separação de resíduo graxo de efluente industrial lácteo (3.000 m<sup>3</sup>/dia com 3% de teor de gordura)?

( ) Muito Baixa, ( ) Baixa, ( ) Razoavelmente Baixa, ( ) Razoável, ( ) Razoavelmente Alta;  
( ) Alta, ( ) Muito Alta.

## Apendice B

**Mestrando:** Guilherme Bolico Pletsch

**Professor:** Dr. Dalmarino Setti

**Objetivo do nosso estudo:** Avaliar uma tecnologia de separação do resíduo lácteo por meio do método *2-Tuple* para realizar a separação da gordura presente nesta “emulsão” e usar a mesma na produção de biodiesel.

**Volume do resíduo dia:** A tecnologia avaliada deve atender uma demanda diária de aproximadamente 3.000m<sup>3</sup>, onde este volume contém aproximadamente 3% de gordura.

### INSTRUMENTO PARA AVALIAÇÃO DE TECNOLOGIAS DE SEPARAÇÃO DA GORDURA DE RESÍDUOS LÁCTEOS

1.1) Qual a sua avaliação do custo de implementação da Tecnologia de Separação por força centrífuga para a separação de resíduo graxo de efluente industrial lácteo (3.000 m<sup>3</sup>/dia)?

( ) Muito Baixo, ( ) Baixo, ( ) Razoavelmente Baixo, ( ) Razoável, ( ) Razoavelmente Alto; ( ) Alto, ( ) Muito Alto.

1.2) Qual a sua avaliação do custo de implementação da Tecnologia de Separação por solvente para a separação de resíduo graxo de efluente industrial lácteo (3.000 m<sup>3</sup>/dia)?

( ) Muito Baixo, ( ) Baixo, ( ) Razoavelmente Baixo, ( ) Razoável, ( ) Razoavelmente Alto; ( ) Alto, ( ) Muito Alto.

1.3) Qual a sua avaliação do custo de implementação da Tecnologia de Separação Por aquecimento/Decantação para a separação de resíduo graxo de efluente industrial lácteo (3.000 m<sup>3</sup>/dia)?

( ) Muito Baixo, ( ) Baixo, ( ) Razoavelmente Baixo, ( ) Razoável, ( ) Razoavelmente Alto; ( ) Alto, ( ) Muito Alto.

1.4) Qual a sua avaliação do custo de implementação da Tecnologia de separação Por **Hidrólise ácida/aquosa** para a separação de resíduo graxo de efluente industrial lácteo (3.000 m<sup>3</sup>/dia)?

( ) Muito Baixo, ( ) Baixo, ( ) Razoavelmente Baixo, ( ) Razoável, ( ) Razoavelmente Alto;  
( ) Alto, ( ) Muito Alto.

1.5) Qual a sua avaliação do custo de implementação da Tecnologia de separação Por **Métodos combinados** para a separação de resíduo graxo de efluente industrial lácteo (3.000 m<sup>3</sup>/dia)?

( ) Muito Baixo, ( ) Baixo, ( ) Razoavelmente Baixo, ( ) Razoável, ( ) Razoavelmente Alto;  
( ) Alto, ( ) Muito Alto.

2.1) Qual a sua avaliação do custo de operação da Tecnologia de Separação por força **centrifuga** para a separação de resíduo graxo de efluente industrial lácteo (3.000 m<sup>3</sup>/dia)?

( ) Muito Baixo, ( ) Baixo, ( ) Razoavelmente Baixo, ( ) Razoável, ( ) Razoavelmente Alto;  
( ) Alto, ( ) Muito Alto.

2.2) Qual a sua avaliação do custo de operação da Tecnologia de Separação por solvente para a separação de resíduo graxo de efluente industrial lácteo (3.000 m<sup>3</sup>/dia)?

( ) Muito Baixo, ( ) Baixo, ( ) Razoavelmente Baixo, ( ) Razoável, ( ) Razoavelmente Alto;  
( ) Alto, ( ) Muito Alto.

2.3) Qual a sua avaliação do custo de operação da Tecnologia de Separação Por **aquecimento/Decantação** para a separação de resíduo graxo de efluente industrial lácteo (3.000 m<sup>3</sup>/dia)?

( ) Muito Baixo, ( ) Baixo, ( ) Razoavelmente Baixo, ( ) Razoável, ( ) Razoavelmente Alto;  
( ) Alto, ( ) Muito Alto.

2.4) Qual a sua avaliação do custo de operação da Tecnologia de Separação Por **Hidrólise ácida/aquosa** para a separação de resíduo graxo de efluente industrial lácteo (3.000 m<sup>3</sup>/dia)?

Muito Baixo,  Baixo,  Razoavelmente Baixo,  Razoável,  Razoavelmente Alto;  
 Alto,  Muito Alto.

2.5) Qual a sua avaliação do custo de operação da Tecnologia de Separação Métodos combinados para a separação de resíduo graxo de efluente industrial lácteo (3.000 m<sup>3</sup>/dia)?

Muito Baixo,  Baixo,  Razoavelmente Baixo,  Razoável,  Razoavelmente Alto;  
 Alto,  Muito Alto.

3.1) Qual a sua avaliação do desempenho da Tecnologia de Separação por força centrífuga em relação a eficiência na separação de resíduo graxo de efluente industrial lácteo (3.000 m<sup>3</sup>/dia)?

Muito Baixo,  Baixo,  Razoavelmente Baixo,  Razoável,  Razoavelmente Alto;  
 Alto,  Muito Alto.

3.2) Qual a sua avaliação do desempenho da Tecnologia de Separação por solvente em relação a eficiência na separação de resíduo graxo de efluente industrial lácteo (3.000 m<sup>3</sup>/dia)?

Muito Baixo,  Baixo,  Razoavelmente Baixo,  Razoável,  Razoavelmente Alto;  
 Alto,  Muito Alto.

3.3) Qual a sua avaliação do desempenho da Tecnologia de Separação Por aquecimento/Decantação em relação a eficiência na separação de resíduo graxo de efluente industrial lácteo (3.000 m<sup>3</sup>/dia)?

Muito Baixo,  Baixo,  Razoavelmente Baixo,  Razoável,  Razoavelmente Alto;  
 Alto,  Muito Alto.

3.4) Qual a sua avaliação do desempenho da Tecnologia de Separação Por Hidrólise ácida/aquosa em relação a eficiência na separação de resíduo graxo de efluente industrial lácteo (3.000 m<sup>3</sup>/dia)?

Muito Baixo,  Baixo,  Razoavelmente Baixo,  Razoável,  Razoavelmente Alto;  
 Alto,  Muito Alto.

3.5) Qual a sua avaliação do desempenho da Tecnologia de Separação Métodos combinados em relação a eficiência na separação de resíduo graxo de efluente industrial lácteo (3.000 m<sup>3</sup>/dia)?

Muito Baixo,  Baixo,  Razoavelmente Baixo,  Razoável,  Razoavelmente Alto;  
 Alto,  Muito Alto.

4.1) Qual a sua avaliação do desempenho da Tecnologia de Separação por força centrífuga em relação a produtividade na separação de resíduo graxo de efluente industrial lácteo (3.000 m<sup>3</sup>/dia)?

Muito Baixo,  Baixo,  Razoavelmente Baixo,  Razoável,  Razoavelmente Alto;  
 Alto,  Muito Alto.

4.2) Qual a sua avaliação do desempenho da Tecnologia de Separação por solvente em relação a produtividade na separação de resíduo graxo de efluente industrial lácteo (3.000 m<sup>3</sup>/dia)?

Muito Baixo,  Baixo,  Razoavelmente Baixo,  Razoável,  Razoavelmente Alto;  
 Alto,  Muito Alto.

4.3) Qual a sua avaliação do desempenho da Tecnologia de Separação Por aquecimento/Decantação em relação a produtividade na separação de resíduo graxo de efluente industrial lácteo (3.000 m<sup>3</sup>/dia)?

Muito Baixo,  Baixo,  Razoavelmente Baixo,  Razoável,  Razoavelmente Alto;  
 Alto,  Muito Alto.

4.4) Qual a sua avaliação do desempenho da Tecnologia de Separação Por Hidrólise ácida/aquosa em relação a produtividade na separação de resíduo graxo de efluente industrial lácteo (3.000 m<sup>3</sup>/dia)?

Muito Baixo,  Baixo,  Razoavelmente Baixo,  Razoável,  Razoavelmente Alto;  
 Alto,  Muito Alto.

4.5) Qual a sua avaliação do desempenho da Tecnologia de Separação por Métodos combinados em relação a produtividade na separação de resíduo graxo de efluente industrial lácteo (3.000 m<sup>3</sup>/dia)?

Muito Baixo,  Baixo,  Razoavelmente Baixo,  Razoável,  Razoavelmente Alto;  
 Alto,  Muito Alto.

5.1) Qual a sua avaliação do desempenho da Tecnologia de Separação por força centrífuga em relação a confiabilidade do sistema na separação de resíduo graxo de efluente industrial lácteo (3.000 m<sup>3</sup>/dia)?

Muito Baixo,  Baixo,  Razoavelmente Baixo,  Razoável,  Razoavelmente Alto;  
 Alto,  Muito Alto.

5.2) Qual a sua avaliação do desempenho da Tecnologia de Separação por solvente em relação a confiabilidade do sistema na separação de resíduo graxo de efluente industrial lácteo (3.000 m<sup>3</sup>/dia)?

Muito Baixo,  Baixo,  Razoavelmente Baixo,  Razoável,  Razoavelmente Alto;  
 Alto,  Muito Alto.

5.3) Qual a sua avaliação do desempenho da Tecnologia de Separação por aquecimento/Decantação em relação a confiabilidade do sistema na separação de resíduo graxo de efluente industrial lácteo (3.000 m<sup>3</sup>/dia)?

Muito Baixo,  Baixo,  Razoavelmente Baixo,  Razoável,  Razoavelmente Alto;  
 Alto,  Muito Alto.

5.4) Qual a sua avaliação do desempenho da Tecnologia de Separação por Hidrólise ácida/aquosa em relação a confiabilidade do sistema na separação de resíduo graxo de efluente industrial lácteo (3.000 m<sup>3</sup>/dia)?

Muito Baixo,  Baixo,  Razoavelmente Baixo,  Razoável,  Razoavelmente Alto;  
 Alto,  Muito Alto.

5.5) Qual a sua avaliação do desempenho da Tecnologia de Separação por Métodos combinados em relação a confiabilidade do sistema na separação de resíduo graxo de efluente industrial lácteo (3.000 m<sup>3</sup>/dia)?

( ) Muito Baixo, ( ) Baixo, ( ) Razoavelmente Baixo, ( ) Razoável, ( ) Razoavelmente Alto;  
( ) Alto, ( ) Muito Alto.

## Apendice C

**Mastering:** Guilherme Bolico Pletsch

**Teacher:** Dr. Dalmarino Setti

**Purpose of our study:** Evaluate a technology for separating milk residue using the VIKOR method to perform the separation of the fat present in this "emulsion" to use it for the generation of biofuel.

**Volume of waste day:** The evaluated technology must meet a daily demand of approximately 3.000m<sup>3</sup>, where this volume contains approximately 3% fat.

### INSTRUMENT FOR THE EVALUATION OF TECHNOLOGIES FOR SEPARATING LACTEO RESIDUE FOR THE PRODUCTION OF BIOFUEL (BIODIESEL).

1.1) In your opinion, what is the importance of the implementation cost criterion to choose a technology for the separation of fatty waste from industrial dairy effluent (3.000 m<sup>3</sup> / day with 3% fat content)?

( ) Very low, ( ) Low, ( ) Fairly Low, ( ) Reasonable, ( ) Fairly High, ( ) High, ( ) Very high.

2.1) In your opinion, what is the importance of the operating cost criterion to choose a technology for the separation of fatty waste from industrial dairy effluent (3.000 m<sup>3</sup> / day with 3% fat content)?

( ) Very low, ( ) Low, ( ) Fairly Low, ( ) Reasonable, ( ) Fairly High, ( ) High, ( ) Very high.

3.1) In your opinion, what is the importance of the efficiency criterion to choose a technology for the separation of fatty waste from industrial dairy effluent (3.000 m<sup>3</sup> / day with 3% fat content)?

( ) Very low, ( ) Low, ( ) Fairly Low, ( ) Reasonable, ( ) Fairly High, ( ) High, ( ) Very high.

4.1) In your opinion, what is the importance of the productivity criterion to choose a technology for the separation of fatty waste from industrial dairy effluent (3.000 m<sup>3</sup> / day with 3% fat content)?

Very low,  Low,  Fairly Low,  Reasonable,  Fairly High,  High,  Very high.

5.1) In your opinion, what is the importance of the reliability criterion to choose a technology for the separation of fatty waste from industrial dairy effluent (3.000 m<sup>3</sup> / day with 3% fat content)?

Very low,  Low,  Fairly Low,  Reasonable,  Fairly High,  High,  Very high.

## Apendice D

**Mastering:** Guilherme Bolico Pletsch

**Teacher:** Dr. Dalmarino Setti

**Purpose of our study:** Evaluate a technology for separating milk residue using the VIKOR method to perform the separation of the fat present in this "emulsion" to use it for the generation of biofuel.

**Volume of waste day:** The evaluated technology must meet a daily demand of approximately 3.000m<sup>3</sup>, where this volume contains approximately 3% fat.

### **INSTRUMENT FOR THE EVALUATION OF TECHNOLOGIES FOR SEPARATING LACTEO RESIDUE FOR THE PRODUCTION OF BIOFUEL (BIODIESEL).**

1.1) What is your assessment of the cost of implementing the Separation Technology by centrifugal force for the separation of fatty waste from industrial dairy products (30.00 m<sup>3</sup> / day)?

( ) Very Low, ( ) Low, ( ) Fairly low, ( ) Reasonable, ( ) Reasonable high, ( ) High, ( ) Very high.

1.2) What is your assessment of the cost of implementing the Solvent Separation Technology for the separation of fatty waste from industrial dairy effluent (3.000 m<sup>3</sup> / day)?

( ) Very low, ( ) Low, ( ) Fairly low, ( ) Reasonable, ( ) Reasonable high, ( ) High, ( ) Very high.

1.3) What is your assessment of the cost of implementing the Separation By Heating / Decanting Technology for the separation of fatty waste from industrial dairy effluent (3.000 m<sup>3</sup> / day)?

( ) Very low, ( ) Low, ( ) Fairly low, ( ) Reasonable, ( ) Reasonable high, ( ) High, ( ) Very high.

1.4) What is your assessment of the cost of implementing the separation technology by acidic / aqueous hydrolysis for the separation of fatty waste from industrial dairy effluent (3.000 m<sup>3</sup> / day)?

Very low,  Low,  Fairly low,  Reasonable,  Reasonable high,  High,  Very high.

1.5) What is your assessment of the cost of implementing the Separation Technology By Combined Methods for the separation of fatty waste from industrial dairy products (3.000 m<sup>3</sup> / day)?

Very low,  Low,  Fairly low,  Reasonable,  Reasonable high,  High,  Very high.

2.1) What is your assessment of the operating cost of Separation Technology by centrifugal force for the separation of fatty waste from industrial dairy effluent (3.000 m<sup>3</sup> / day)?

Very low,  Low,  Fairly low,  Reasonable,  Reasonable high,  High,  Very high.

2.2) What is your assessment of the operating cost of the Solvent Separation Technology for the separation of fatty waste from industrial dairy products (3.000 m<sup>3</sup> / day)?

Very low,  Low,  Fairly low,  Reasonable,  Reasonable high,  High,  Very high.

2.3) What is your assessment of the operating cost of the Separation Technology by heating / decanting for the separation of fatty waste from industrial dairy milk (3.000 m<sup>3</sup> / day)?

Very low,  Low,  Fairly low,  Reasonable,  Reasonable high,  High,  Very high.

2.4) What is your assessment of the operating cost of the Separation Technology by acidic / aqueous Hydrolysis for the separation of fatty waste from industrial dairy products (3.000 m<sup>3</sup> / day)?

Very low,  Low,  Fairly low,  Reasonable,  Reasonable high,  High,  Very high.

2.5) What is your assessment of the operation cost of the Separation Technology Combined methods for the separation of fatty waste from industrial dairy effluent (3.000 m<sup>3</sup> / day)?

Very low,  Low,  Fairly low,  Reasonable,  Reasonable high,  High,  Very high.

3.1) What is your assessment of the performance of the Separation Technology by centrifugal force in relation to the efficiency in the separation of fatty waste from industrial dairy products (3.000 m<sup>3</sup> / day)?

Very low,  Low,  Fairly low,  Reasonable,  Reasonable high,  High,  Very high.

3.2) What is your evaluation of the performance of the Solvent Separation Technology in relation to the efficiency in the separation of fatty waste from industrial dairy products (3.000 m<sup>3</sup> / day)?

Very low,  Low,  Fairly Low,  Reasonable,  Reasonable high,  High,  Very high.

3.3) What is your assessment of the performance of the Separation by Heating / Decantation Technology in relation to the efficiency in the separation of fatty waste from industrial dairy effluent (3.000 m<sup>3</sup> / day)?

Very low,  Low,  Fairly Low,  Reasonable,  Reasonable high,  High,  Very high.

3.4) What is your assessment of the performance of the Separation Technology by acidic / aqueous Hydrolysis in relation to the efficiency in the separation of fatty waste from industrial dairy effluent (3.000 m<sup>3</sup> / day)?

Very low,  Low,  Fairly Low,  Reasonable,  Reasonable high,  High,  Very high.

3.5) What is your assessment of the performance of the Separation Technology? Combined methods in relation to the efficiency in the separation of fatty waste from industrial dairy products (3.000 m<sup>3</sup> / day)?

Very low,  Low,  Fairly Low,  Reasonable,  Reasonable high,  High,  Very high.

4.1) What is your assessment of the performance of the Separation Technology by centrifugal force in relation to the productivity in the separation of fatty waste from industrial dairy products (3.000 m<sup>3</sup> / day)?

Very low,  Low,  Fairly low,  Reasonable,  Reasonable high,  High,  Very high.

4.2) What is your evaluation of the performance of the Solvent Separation Technology in relation to the productivity in the separation of fatty waste from industrial dairy products (3.000 m<sup>3</sup> / day)?

Very low,  Low,  Fairly low,  Reasonable,  Reasonable high,  High,  Very high.

4.3) What is your assessment of the performance of the Separation Technology by heating / decanting in relation to the productivity in the separation of fatty waste from industrial dairy products (3.000 m<sup>3</sup> / day)?

Very low,  Low,  Fairly low,  Reasonable,  Reasonable high,  High,  Very high.

4.4) What is your assessment of the performance of the Separation Technology by acidic / aqueous Hydrolysis in relation to the productivity in the separation of fatty waste from industrial dairy effluent (3.000 m<sup>3</sup> / day)?

Very low,  Low,  Fairly low,  Reasonable,  Reasonable high,  High,  Very high.

4.5) What is your assessment of the performance of the Separation Technology by Combined Methods in relation to the productivity in the separation of fatty waste from industrial dairy products (3.000 m<sup>3</sup> / day)?

Very low,  Low,  Fairly low,  Reasonable,  Reasonable high,  High,  Very high.

5.1) What is your assessment of the performance of the Separation Technology by centrifugal force in relation to the reliability of the system in the separation of fatty waste from industrial dairy effluent (3.000 m<sup>3</sup> / day)?

Very low,  Low,  Fairly low,  Reasonable,  Reasonable high,  High,  Very high.

5.2) What is your assessment of the performance of the Solvent Separation Technology in relation to the reliability of the system in the separation of fatty waste from industrial dairy products (3.000 m<sup>3</sup> / day)?

Very low,  Low,  Fairly low,  Reasonable,  Reasonable high,  High,  Very high.

5.3) What is your assessment of the performance of the Separation Technology by heating / Decanting in relation to the reliability of the system in the separation of fatty waste from industrial dairy effluent (3.000 m<sup>3</sup> / day)?

Very low,  Low,  Fairly low,  Reasonable,  Reasonable high,  High,  Very high.

5.4) What is your assessment of the performance of the Separation Technology by acidic / aqueous Hydrolysis in relation to the reliability of the system in the separation of fatty waste from industrial dairy effluent (3.000 m<sup>3</sup> / day)?

Very low,  Low,  Fairly low,  Reasonable,  Reasonable high,  High,  Very high.

5.5) What is your evaluation of the performance of the Separation Technology by Combined Methods in relation to the reliability of the system in the separation of fatty waste from industrial dairy effluent (3.000 m<sup>3</sup> / day)?

Very low,  Low,  Fairly low,  Reasonable,  Reasonable high,  High,  Very high.