

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA**

GISLEY DA SILVA DE OLIVEIRA
LEONARDO SILVA PRADO DE OLIVEIRA
MARIA EDUARDA CAVALLARI
MATHEUS LUCIANO GOMES
VASSULA BELINATO PAIVA

**MDLGV – INDÚSTRIA LTDA: PROCESSO PRODUTIVO DE *WHEY*
*PROTEIN***

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

APUCARANA - PR
2018

GISLEY DA SILVA DE OLIVEIRA
LEONARDO SILVA PRADO DE OLIVEIRA
MARIA EDUARDA CAVALLARI
MATHEUS LUCIANO GOMES
VASSULA BELINATO PAIVA

**MDLGV – INDÚSTRIA LTDA: PROCESSO PRODUTIVO DE *WHEY*
*PROTEIN***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química, da Coordenação de Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Apucarana.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Rubiane Ganascim Marques.



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Apucarana
COENQ - Coordenação do Curso Superior de
Engenharia Química



TERMO DE APROVAÇÃO

MDLGV – INDÚSTRIA LDTA: *PROCESSO PRODUTIVO DE WHEY PROTEIN*

por

GISLEY DA SILVA DE OLIVEIRA
LEONARDO SILVA PRADO DE OLIVEIRA
MARIA EDUARDA CAVALLARI
MATHEUS LUCIANO GOMES
VASSULA BELINATO PAIVA

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 19 de junho de 2018 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Apucarana. Os candidatos foram arguidos pela banca examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a banca examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof.^a Dr.^a Rubiane Ganascim Marques
Prof.^a Orientadora

Prof.^a Dr.^a Fernanda Lini Seixas
Membro

Prof.^a Dr.^a Maraísa Lopes Menezes
Membro

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso –

Dedicamos este trabalho aos nossos pais, familiares, amigos e pessoas importantes em nossas vidas que, com muito carinho, apoio e compreensão, não mediram esforços para que pudéssemos chegar até esta etapa.

AGRADECIMENTOS

A Deus em primeiro lugar, por nos ter dado força e perseverança para a conclusão deste trabalho.

A nossas famílias, pela oportunidade que nos proporcionaram e por toda a paciência e compreensão.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná pela estrutura oferecida, especialmente a sala H003, local onde a maior parte deste trabalho foi pensado, estruturado e realizado.

A todos os professores do curso de Engenharia Química desta Universidade pelos conhecimentos transmitidos ao longo da vida acadêmica, em especial a nossa orientadora Professora Dr^a Rubiane Ganascim Marques pela disponibilidade, pelo incentivo e apoio constantes, e, também às Professoras Dr^a Fernanda Lini Seixas e Dr^a Maraísa Lopes Menezes por aceitarem ser nossa banca avaliadora e sugerir melhorias ao longo de todo o desenvolvimento.

Aos nossos amigos e colegas de graduação, pelo companheirismo e convivência.

“O futuro tem muitos nomes, para os fracos é o inalcançável, para os temerosos o desconhecido, para os valentes é a oportunidade.”

(Victor Hugo)

“Não deveis esquecer: estamos diante de um tempo que exige de todos nós, novas conquistas.”

(Pe. José Kentenich)

RESUMO

OLIVEIRA, Gisley da Silva de. *et al.* **MDLGV – Indústria Ltda: Processo Produtivo de Whey Protein**. 2018. 204 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Apucarana, 2018.

Os suplementos alimentares tiveram destaque há algumas décadas devido à dificuldade de algumas pessoas em suprir necessidades de nutrientes por intermédio da alimentação. O *Whey Protein* é um suplemento alimentar em pó que consiste em um concentrado de proteínas, do qual se utiliza como matéria-prima principal o soro do leite para sua produção. O processo é composto por equipamentos de evaporação, filtração utilizando membranas (microfiltração e ultrafiltração) utilizados para concentrar e retirar açúcares e gorduras presentes no soro e por fim é utilizado um sistema de secagem por atomização (*Spray Dryer*). A presente indústria tem dois principais produtos a serem comercializados, o *Whey Protein Concentrado* (WPC) e *Whey Protein Isolado* (WPI). No presente projeto realizou-se o balanço material com o intuito de se conhecer, a quantidade processada em cada equipamento com base na produção diária pré-estabelecida, bem como a quantidade de resíduos produzidos. O segundo balanço realizado no presente trabalho foi o energético, com o objetivo de quantificar as utilidades requeridas para o desenvolvimento de todo o setor de processamento. Os efluentes gerados no processo serão tratados através de lagoas de estabilização e um sistema de lodo ativado. Os resíduos sólidos gerados no processo serão encaminhados a um aterro sanitário industrial. Após os cálculos materiais e energéticos finalizados, foi possível cotar o preço dos equipamentos necessários na MDLGV, bem como realizar o estudo financeiro da indústria afim de verificar se é possível o desenvolvimento e faturamento pretendido pela empresa, além de indicar o nível de atratividade do negócio. Diante de todo o desenvolvimento foi possível observar que o processo de *payback* levaria cerca de 7 anos.

Palavras-chave: *Whey Protein*. Soro do leite. Proteína. Processo produtivo.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Gisley da Silva de. *et al.* **MDLGV – Industry Ltd: Whey Protein's Productive Process.** 2018. 204 p. Term Paper (Bachelor's Degree in Chemical Engineering) – Parana Federal Technological University. Apucarana, 2018.

The food supplements were highlighted few decades ago due to some people difficulties to supply their nutrients needs through their feeding. Whey Protein is a powdered food supplement that consists in a concentrated of proteins, whose is used as the main feedstock to produce whey. The process consists in an evaporation equipment, the filtration using membranes (microfiltration and ultrafiltration) to concentrate and remove sugars and fats present in the serum and finally a atomizer (Spray Dryer). The current industry will have two products being sold, the Concentrated Whey Protein (WPC) and Isolated Whey Protein (WPI). In the present project the material balance was made in order to know the amount processed in each equipment based on the daily production preset, as well as the amount of waste produced. The second balance in the present work was the energetic balance, with the purpose of quantifying the utilities required for the development of the entire processing sector. The effluents generated in the process will be treated through stabilization ponds and an activated sludge system. The solid waste generated in the process will be destined to an industrial landfill. After the final material and energy calculations, it was possible to quote the necessary equipments in the MDLGV company, as well as to do the financial study of the industry in order to verify if it is possible the development and billing intended by the company, besides indicating the level of attractiveness of the business. In the face of all the development it was possible to realize that the payback process would take about 7 years.

Keywords: Whey Protein. Whey. Protein. Productive process.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Panorama mundial de receita proveniente do Whey Protein.	28
Figura 2 - Logomarca da empresa MDLGV - Indústria Ltda.....	34
Figura 3 - Arte desenvolvida para a marca UTliFe PRotein.	35
Figura 4 - Arte desenvolvida para a marca UTliFe isoPRotein.....	35
Figura 5 - Evolução da produção de leite, segundo as Grandes Regiões.....	37
Figura 6 - Ranking e variação anual da quantidade de leite cru adquirido pelos laticínios no 1º trimestre de 2016 e 2017.	38
Figura 7 - Produção de leite, com destaque para os principais municípios produtores (2015).....	40
Figura 8 - Localização das instalações fabris da MDLGV a nível nacional.	42
Figura 9 - Localização das instalações fabris da MDLGV a nível estadual.	43
Figura 10 - Localização das instalações fabris da MDLGV a nível municipal.	44
Figura 11 - Área de aquisição para as instalações fabris da MDLGV.	45
Figura 12 - Instalações fabris da MDLGV disposta em duas dimensões.	47
Figura 13 - Visualização da planta industrial em três dimensões.....	49
Figura 14 - Visão da via de entrada da MDLGV.....	50
Figura 15 - Diagrama de obtenção da proteína do leite concentrada e isolada.	51
Figura 16 - Fluxograma para a concentração do soro do leite.	54
Figura 17 – Evaporador.....	55
Figura 18 – Sistema de microfiltração 1.	57
Figura 19 – Sistema de ultrafiltração 1.....	59
Figura 20 - Esquema do tanque de mistura 1.	61
Figura 21 - Fluxograma do processo produtivo do WPC.....	62
Figura 22 - Sistema de ultrafiltração 2.....	63
Figura 23 - Esquema do Spray Dryer para o WPC.	65
Figura 24 - Fluxograma do processo produtivo do WPI.	67
Figura 25 – Sistema de microfiltração 2.	67
Figura 26 - Esquema do sistema de ultrafiltração 3.	69
Figura 27 - Esquema do tanque de mistura 2.	71
Figura 28 - Esquema de membrana de ultrafiltração 4.	72
Figura 29 - Esquema do Spray Dryer para o WPI.....	74
Figura 30 - Fluxograma completo do processo produtivo da MDLGV.....	76

Figura 31 - Sistema de armazenamento de soro do leite.....	78
Figura 32 - Evaporador de múltiplo efeito adquirido pela MDLGV.	80
Figura 33 - Imagem ilustrativa do filtro de carvão ativado adquirido pela MDLGV....	81
Figura 34 - Sistema de microfiltração adquirido pela MDLGV.....	83
Figura 35 - Sistema de ultrafiltração adquirido pela MDLGV.	84
Figura 36 - Imagem ilustrativa do modelo de membrana utilizada pela MDLGV.....	89
Figura 37 - Imagem ilustrativa da parte externa dos tanques pulmão adquiridos pela MDLGV.....	91
Figura 38 - Imagem ilustrativa do interior dos tanques pulmão adquiridos pela MDLGV.....	92
Figura 39 - Imagem ilustrativa do Spray Dryer adquirido pela MDLGV.....	94
Figura 40 - Imagem ilustrativa do sistema de empacotamento automático dos produtos MDLGV.....	96
Figura 41 - Imagem ilustrativa de bomba de deslocamento positivo adquirida pela MDLGV.....	98
Figura 42 - Imagem ilustrativa de bomba centrífuga adquirida pela MDLGV.	99
Figura 43 - Imagem ilustrativa do modelo de compressor utilizado na MDLGV.....	100
Figura 44 - Trocador de calor por resistência elétrica.	101
Figura 45 - Equipamentos de troca térmica (trocadores de calor).....	101
Figura 46 - Imagem ilustrativa da caldeira flamotubular adquirida pela MDLGV.....	105
Figura 47 - Diagrama de fluxo do processo produtivo da MDLGV.	108
Figura 48 - Evaporador de película descendente.....	117
Figura 49 - Esquematização do evaporador de triplo efeito.	120
Figura 50 - Diagrama de blocos do algoritmo de resolução do sistema de equações dos balanços de massa e energia e dimensionamento das áreas de trocas térmicas para cada efeito do evaporador.....	127
Figura 51 - Diagrama de temperatura.	137
Figura 52 - Diagrama cascata.	138
Figura 53 - Rede de trocadores de calor.....	139
Figura 54 - Embalagem de Whey Protein Concentrado da MDLGV.	141
Figura 55 - Embalagem de Whey Protein Isolado da MDLGV.	142
Figura 56 - Dados de remoção de DBO de acordo com o tipo de tratamento.....	147
Figura 57 - Esquema para o sistema de tratamento de efluente industrial.	147

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição média do leite de vaca.....	23
Tabela 2 - Composição percentual do soro do leite doce.	23
Tabela 3 - Propriedades e benefícios do Whey Protein.	25
Tabela 4 - Identificação das edificações e pavimentações da MDLGV.....	48
Tabela 5 - Composição do soro de alimentação.	55
Tabela 6 - Resultados do balanço de massa para o evaporador.	56
Tabela 7 - Resultados do balanço de massa para o sistema de microfiltração 1.....	58
Tabela 8 - Resultados do balanço de massa para o sistema de ultrafiltração 1.....	60
Tabela 9 - Resultados do balanço de massa para o tanque de mistura 1.....	61
Tabela 10 - Resultados do balanço de massa para o sistema de ultrafiltração 2.....	64
Tabela 11 - Resultados do balanço de massa para o Spray Dryer 1.	66
Tabela 12 - Resultados do balanço de massa para sistema de microfiltração 2.....	68
Tabela 13 - Resultados do balanço de massa para o sistema de ultrafiltração 3.....	70
Tabela 14 - Resultados do balanço de massa para o tanque de mistura 2.....	71
Tabela 15 - Resultados do balanço de massa para o sistema de ultrafiltração 4.....	73
Tabela 16 - Resultados do balanço de massa para o Spray Dryer 2.	75
Tabela 17 - Fluxo volumétrico, em litros por hora, para cada sistema de filtração da MDLGV.....	84
Tabela 18 - Valores típicos da taxa de produção da membrana.	85
Tabela 19 - Estimativa da área de membrana necessária para a filtração e número de módulos requeridos pelo sistema.	86
Tabela 20 - Relação entre tipo de membrana, custo por m ² e energia requerida pelo sistema de filtração.	87
Tabela 21 - Informações complementares das correntes apresentadas no PFD da MDLGV anteriormente apresentado.....	109
Tabela 22 - Calor específico e pressões das substâncias utilizadas para os balanços energéticos.....	115
Tabela 23 - Composição do soro de alimentação em termos de teor de sólidos totais.	118
Tabela 24 - Parâmetros e considerações utilizadas para o balanço de energia e de massa.....	119

Tabela 25 - Vazões mássicas para todas as correntes do sistema de evaporação.	128
Tabela 26 - Composição do soro de leite antes (corrente C ₂) e após (corrente C ₉) o processamento no sistema de evaporação.....	128
Tabela 27 - Resultados para as variações de temperaturas em cada efeito do evaporador.	129
Tabela 28 - Temperaturas obtidas numericamente para o segundo efeito do evaporador e das correntes de vapor utilizadas.....	129
Tabela 29 - Calores específicos e variações de temperaturas das correntes de alimentação e concentradas ao longo do evaporador.....	129
Tabela 30 – Entalpias dos vapores determinadas após a convergência da solução numérica e interpolação.	130
Tabela 31 – Calor latente das correntes contidas no sistema de evaporação de três estágios da MDLGV.	130
Tabela 32 - Dados de temperatura de ebulição e pressão (vácuo) para cada efeito do evaporador.	130
Tabela 33 – Calores cedidos pelo vapor em cada efeito do evaporador.....	130
Tabela 34 – Áreas de troca térmica determinadas para cada efeito do evaporador.	131
Tabela 35 - Dados obtidos com o balanço de energia para os trocadores de calor.	132
Tabela 36 - Dados obtidos com o balanço de energia para os trocadores de calor por resistência elétrica.....	133
Tabela 37 - Balanço energético realizado para a caldeira.	133
Tabela 38 - Balanço de energia no Spray Dryer para a linha de produção do WPC.	134
Tabela 39 - Balanço de energia no Spray Dryer para a linha de produção do WPI.	134
Tabela 40 - Parâmetros utilizados para o desenvolvimento da integração energética.	136
Tabela 41 - Parâmetros do soro do leite doce.....	144
Tabela 42 - Resultados do balanço de massa para estação de tratamento de efluente.	148
Tabela 43 - Investimentos fixos e pré-operacionais.	149

Tabela 44 - Valor referente às parcelas do financiamento pelo SAC.....	151
Tabela 45 - Estimativa de gastos com energia elétrica.....	152
Tabela 46 - Custo diário para produção de WPC e WPI.....	152
Tabela 47 - Depreciação dos equipamentos.....	154

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Especificações do tanque de armazenamento (unitário).....	78
Quadro 2 - Especificações técnicas evaporador de três efeitos adquirido pela MDLGV.....	79
Quadro 3 - Especificações da torre de filtração.....	82
Quadro 4 - Especificações técnicas para o sistema de microfiltração utilizado na MDLGV.....	88
Quadro 5 - Especificações técnicas para o sistema de ultrafiltração utilizado na MDLGV.....	88
Quadro 6 - Especificações de cada tanque pulmão.....	90
Quadro 7 - Especificações do Spray Dryer.....	93
Quadro 8 - Especificações técnicas da empacotadora automática.....	95
Quadro 9 - Especificações da bomba de deslocamento positivo.....	97
Quadro 10 - Especificações da bomba centrífuga.....	98
Quadro 11 - Especificações do compressor.....	99
Quadro 12 - Especificações do Trocador de Calor – TC201.....	102
Quadro 13 - Especificações do Trocador de Calor – TC202.....	102
Quadro 14 - Especificações do Trocador de Calor – TC203.....	102
Quadro 15 - Especificações do Trocador de Calor – TC204.....	102
Quadro 16 - Especificações do Trocador de Calor – TC205.....	103
Quadro 17 - Especificações do Trocador de Calor – TC301.....	103
Quadro 18 - Especificações do Trocador de Calor – TC401.....	103
Quadro 19 - Especificações do Trocador de Calor – TC402.....	103
Quadro 20- Especificações do Trocador de Calor – TC501.....	104
Quadro 21 - Especificações do Trocador de Calor – TC502.....	104
Quadro 22 - Especificações do Trocador de Calor – TC601.....	104
Quadro 23 - Especificações do Trocador de Calor – TC602.....	104
Quadro 24 - Especificações da caldeira flamotubular da MDLGV.....	106

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIAD	Associação Brasileira da Indústria de Alimentos Para Fins Especiais e Congêneres
Abiq	Associação Brasileira das Indústrias de Queijo
a.C.	Antes de Cristo
ASME	<i>American Society of Mechanical Engineers</i> - Sociedade Norte-americana de Engenheiros Mecânicos
BCAA	<i>Branched-Chain Amino Acids</i> – Aminoácidos de Cadeia Ramificada
BNDES	Banco Nacional do Desenvolvimento
CCJC	Comissão de Constituição e Justiça e de Cidadania
CE	<i>Conformité Européenne</i> – Conformidade Européia
CIP	<i>Clean In Place</i> – Limpeza no Local
CNAE	Classificação Nacional de Atividades Econômicas
COBRAPE	Companhia Brasileira de Projetos e Empreendimentos
COFINS	Contribuição para Financiamento da Seguridade Social
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda Biológica de Oxigênio
DCI	Diário Comércio & Indústria
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EPE	Elevação do Ponto de Ebulição
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
FA	Filtro anaeróbio
FC	Fluxo de Caixa
FDA	<i>Food and Drug Administration</i> – Departamento de Saúde e Serviços Humanos dos Estados Unidos
FINEM	Financiamento a Empreendimentos

FGTS	Fundo de Garantia do Tempo de Serviço
FS	Fossa séptica
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
INSS	Instituto Nacional do Seguro Social
IPI	Imposto sobre Produto Industrializado
IPTU	Imposto Predial e Territorial Urbano
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> - Organização Internacional para Padronização
ISS	Imposto sobre serviço de qualquer natureza
LA	Lodo ativado
LAN	Lagoa anaeróbia
LF	Lagoa facultativa
Ltda	Limitada
Mercosul	Mercado Comum do Sul
MF	Microfiltração
MG	Minas Gerais
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i> – Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço
OD	Oxigênio dissolvido
PIS	Programa de Integração Social
PFD	<i>Process Flow Diagram</i> – Diagrama de Fluxo do Processo
PR	Paraná
RAT	Risco Ambiental do Trabalho
RH	Recursos Humanos
SAC	Sistema de Amortização Constante
SABESP	Companhia de Abastecimento Básico do Estado de São Paulo

SELIC	Sistema Especial de Liquidação e de Custódia
Sindileite	Sindicato das Indústrias de Laticínios de São Paulo
SGS	Société Générale de Surveillance – Sociedade Geral de Superintendência
TIPI	Tabela de Incidência do Imposto sobre Produtos Industrializados
TIR	Taxa Interna de Retorno
TLP	Taxa de Longo Prazo
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
TST	Teor de Sólidos Totais
UASA	Reatores UASB sem pós-tratamento
UASB	<i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i> – Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo
UF	Ultrafiltração
UNT	Unidades Nefelométricas de Turbidez
vcf	Volumetric concentration factor – Fator de concentração volumétrica
VPL	Valor Presente Líquido
WPC	<i>Whey Protein</i> Concentrado
WPI	<i>Whey Protein</i> Isolado

LISTA DE SÍMBOLOS

pH	Potencial hidrogeniônico
a_w	Atividade de água
x^J	Fração mássica na corrente genérica J
J	Letras maiúsculas nas equações do balanço material estão representando uma corrente genérica mássica
R_n	Corrente mássica de resíduo, em que n representa o número da corrente
W	Corrente mássica de água
x_a	Fração mássica da água
x_g	Fração mássica da gordura
x_p	Fração mássica da proteína
x_l	Fração mássica da lactose
x_c	Fração mássica das cinzas
x_{st}	Fração mássica de sólidos totais
m e \dot{m}	Taxa mássica em kg/dia
Pt	Platina
N	Nitrogênio
P	Energia Potencial
K	Energia Cinética
U	Energia Interna
H	Entalpia
ω	Trabalho
T	Temperatura
P_n	Pressão do componente n genérico
Q	Energia (calor)

Q_r	Vazão de resíduos em L/dia
R_g	Resíduo sólido de gordura
R_L	Corrente de lodo
Q_e	Vazão de efluente em L/dia
X_{leite}	Teor de sólidos totais no leite
X_{soro}	Teor de sólidos totais no soro
C_p	Calor específico a pressão constante
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
ρ	Massa específica
US\$	Dólar dos Estados Unidos da América
R\$	Real (moeda brasileira)
A_M	Área da membrana
Q_P	Vazão de permeado ou purificado
q_M	Taxa de produção da membrana
N_M	Número de módulos
a_M	Área da membrana por módulos
ΔT	Variação de temperatura
O_2	Gás oxigênio
q	Calor absorvido ou cedido
U	Coeficiente de troca térmica
A	Área de troca térmica
T_{vapor}	Temperatura do vapor
T_{eb}	Temperatura de ebulição do efeito (no evaporador)
S	Corrente de vapor proveniente da caldeira
λ	Calor latente
E	Desvio determinado para a solução numérica (computacional)
C	Corrente do processo

V	Corrente de vapor do processo
TC	Trocador de calor
L	Corrente de líquido saturado
D	Difusor
<i>i</i>	Quantidade de iterações
3D	Três dimensões
2D	Dois dimensões

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	23
2 PÚBLICO-ALVO	26
3 JUSTIFICATIVA	27
4 A EMPRESA	33
5 LOCALIZAÇÃO	37
6 DECISÃO E AQUISIÇÃO DO TERRENO	42
7 PROJETO DAS INSTALAÇÕES FABRIS DA MDLGV LTDA	46
8 PROCESSO PRODUTIVO SIMPLIFICADO	51
9 BALANÇO DE MASSA PARA O PROCESSO PRODUTIVO	54
9.1 PRODUÇÃO DO CONCENTRADO DO SORO DE LEITE.....	54
9.2 PRODUÇÃO DO <i>WHEY PROTEIN</i> CONCENTRADO.....	62
9.3 PRODUÇÃO DO <i>WHEY PROTEIN</i> ISOLADO.....	66
10 EQUIPAMENTOS	77
10.1 TANQUES DE ARMAZENAMENTO	77
10.2 EVAPORADOR	79
10.3 TORRE DE FILTRAÇÃO.....	81
10.4 FILTROS – SISTEMA DE FILTRAÇÃO POR MEMBRANAS.....	82
10.5 TANQUES PULMÃO.....	89
10.6 SISTEMA DE SECAGEM POR ATOMIZAÇÃO	92
10.7 EMPACOTADORA AUTOMÁTICA	94
10.8 BOMBAS E COMPRESSORES	96
10.9 TROCADORES DE CALOR.....	100
10.10 CALDEIRA	105
11 DIAGRAMA DE FLUXO DO PROCESSO DA MDLGV LTDA	107
12 BALANÇO ENERGÉTICO DO PROCESSO PRODUTIVO	114
12.1 BALANÇO DE ENERGIA NO EVAPORADOR.....	116
12.2 BALANÇO DE ENERGIA NOS TROCADORES DE CALOR.....	132
12.3 BALANÇO DE ENERGIA NA CALDEIRA	133
12.4 BALANÇO DE ENERGIA NO <i>SPRAY DRYER</i>	133
13 INTEGRAÇÃO ENERGÉTICA (REDES DE TROCADORES DE CALOR)	135
14 PRODUTOS	141
15 UNIDADE DE TRATAMENTO DE EFLUENTE	143
15.1 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE E PADRÕES DE LANÇAMENTO.....	143

15.2 TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS	145
15.3 PROCESSOS, NÍVEIS DE TRATAMENTOS E BALANÇO DE MASSA	145
16 ANÁLISE ECONÔMICA	149
16.1 INVESTIMENTOS	149
16.2 FINANCIAMENTO.....	149
16.3 DESPESAS	151
16.4 RECEITAS	154
16.5 VIABILIDADE FINANCEIRA.....	155
17 CONCLUSÃO	156
REFERÊNCIAS.....	157
ANEXO 1 – QUADRO ADAPTADO DOS CALORES ESPECÍFICOS OBTIDOS EXPERIMENTALMENTE POR COSTA (2014)	167
APÊNDICE A – DETALHAMENTO DE CÁLCULOS PARA O BALANÇO MATERIAL DO EVAPORADOR.....	168
APÊNDICE B – DETALHAMENTO DE CÁLCULOS PARA O BALANÇO MATERIAL DA MICROFILTRAÇÃO 1	169
APÊNDICE C – DETALHAMENTO DE CÁLCULOS PARA O BALANÇO MATERIAL DA MICROFILTRAÇÃO 2	170
APÊNDICE D – DETALHAMENTO DE CÁLCULOS PARA O BALANÇO MATERIAL DA ULTRAFILTRAÇÃO 1	171
APÊNDICE E – DETALHAMENTO DE CÁLCULOS PARA O BALANÇO MATERIAL DA ULTRAFILTRAÇÃO 2.....	172
APÊNDICE F – DETALHAMENTO DE CÁLCULOS PARA O BALANÇO MATERIAL DA ULTRAFILTRAÇÃO 3.....	173
APÊNDICE G – DETALHAMENTO DE CÁLCULOS PARA O BALANÇO MATERIAL DA ULTRAFILTRAÇÃO 4.....	174
APÊNDICE H – DETALHAMENTO DE CÁLCULOS PARA O BALANÇO MATERIAL DO <i>SPRAY DRYER</i>.....	175
APÊNDICE I – DETALHAMENTO DE CÁLCULOS PARA O BALANÇO MATERIAL DA ETE	176
APÊNDICE J – MÉDIA DOS DADOS DE CALORES ESPECÍFICOS DE COSTA (2014) EM RELAÇÃO A TEMPERATURA E TEOR DE SÓLIDOS TOTAIS UTILIZADOS PARA OBTER O AJUSTE LINEAR	177

APÊNDICE K – AJUSTE LINEAR DA MÉDIA DOS CALORES ESPECÍFICOS OBTIDOS EXPERIMENTALMENTE POR COSTA (2014), EM FUNÇÃO DO TEOR DE SÓLIDOS TOTAIS	178
APÊNDICE L – SOLUÇÃO NUMÉRICA DESENVOLVIDA PARA O BALANÇO ENERGÉTICO DO SISTEMA DE EVAPORAÇÃO DA MDLGV, SEGUNDO DEFENDI (2018)	179
APÊNDICE M – DETALHAMENTO DE CÁLCULOS PARA O BALANÇO ENERGÉTICO NOS TROCADORES DE CALOR.....	186
APÊNDICE N – DETALHAMENTO DE CÁLCULOS PARA O BALANÇO ENERGÉTICO NA CALDEIRA	189
APÊNDICE O – DETALHAMENTO DE CÁLCULOS PARA O BALANÇO ENERGÉTICO NO <i>SPRAY DRYER</i>	190
APÊNDICE P – DETALHAMENTO DE CÁLCULOS PARA A INTEGRAÇÃO ENERGÉTICA.....	191
APÊNDICE Q – DETALHAMENTO DE CÁLCULOS PARA A ANÁLISE ECONÔMICA.....	197

1 INTRODUÇÃO

O leite é um alimento que acompanha a maior parte dos seres humanos desde o seu nascimento até sua vida adulta. O mesmo pode ser definido como um conjunto de substâncias, tais como a lactose, glicérides, proteínas, sais, vitaminas e enzimas (ORDÓÑEZ *et al.*, 2005). Trata-se de uma mistura heterogênea em que alguns dos componentes estão em emulsão, alguns em suspensão e outros em dissolução verdadeira. É apresentada, na Tabela 1, a composição média do leite de vaca.

Tabela 1 - Composição média do leite de vaca.

Substância	Composição percentual
Gordura	4,0
Proteína	3,6
Lactose	5,0
Cinzas	0,7
Extrato Seco	13,3
Água	73,4

Fonte: Adaptado de ORDÓÑEZ *et al.*, 2005.

Dentre as proteínas que compõem o leite, 80% são caseínas e o restante são proteínas solúveis, tais como a β -lactoglobulina, a α -lactoalbumina, as imunoglobulinas e o soro albumina bovina (CIÊNCIA DO LEITE, 2008; SOARES, 2013).

O leite pode ser utilizado em sua forma integral “*in natura*” como matéria-prima industrial para a produção de diversos produtos lácteos, tais como a nata, a manteiga e o queijo (Valsechi, 2001).

Durante a produção do queijo, ocorre a separação das caseínas e da gordura, que fazem parte da composição do queijo, e o resíduo é o soro do leite doce (lactossoro), o qual representa de 80 a 90% do volume do leite integral original que entra no processo. O lactossoro é o meio onde estão as proteínas solúveis e uma composição típica deste soro está apresentada na Tabela 2 (Tetra Pak, 1993; ORDÓÑEZ *et al.*, 2005).

Tabela 2 - Composição percentual do soro do leite doce.

Componente	Proteína	Lactose	Minerais	Gordura	Água	Ácido láctico	Cinzas
Composição (%)	0,8	4,9	0,5	0,2	93	0,2	0,4

Fonte: Adaptado de ORDÓÑEZ *et al.*, 2005.

Observa-se na Tabela 2 que o sólido em maior quantidade no soro é a lactose, a qual é um dissacarídeo que pode apresentar-se de duas formas isoméricas diferentes: α e β -lactose. Depois da lactose, as proteínas são as maiores componentes sólidas do soro do leite, dentre as quais, pode-se citar as caseínas, a β -lactoglobulina e a α -lactoalbumina (ORDÓÑEZ *et al.*, 2005).

Antigamente, o soro do leite era considerado um resíduo, contudo, com o advento da tecnologia, descobriu-se que as proteínas tinham um alto valor biológico. Também se verificou que as proteínas presentes tinham grande capacidade de dissolver-se em água e são de fácil digestão, além de conter uma maior variedade de aminoácidos quando comparado à proteína do ovo, que era a mais comercializada na época (século passado) (LINHARES *et al.*, 2013). O soro do leite possui muitas utilidades como, por exemplo, para a alimentação animal e o consumo humano (alimentos infantis, produtos de confeitaria e produtos farmacêuticos), além de ser usado, industrialmente, como matéria-prima para produção do *Whey Protein*. Apesar disso, em indústrias de pequeno porte de produção de queijo, o descarte do lactossoro ainda é uma realidade presente (ORDÓÑEZ *et al.*, 2005; TETRA PAK, 1993).

O *Whey Protein* é um suplemento alimentar em pó, que consiste em um concentrado de proteínas e é muito utilizado para o ganho de massa muscular (STUPPIELLO; BUSTO, 2015). O primeiro relato da obtenção deste suplemento ocorreu em 6000 a.C., quando uma porção de leite de vaca acidentalmente coagulou, separando o soro do leite da coalhada. Mas foi somente em 420 a.C. que Hipócrates, o pai da medicina moderna, exaltou os benefícios dessa substância para a saúde humana (YANSEN, 2011).

A Inglaterra e a Itália foram pioneiras na venda do *Whey*, que se iniciou em 1650 e era vendido em forma líquida. No entanto, por falta de pesquisas na área e escassez de tecnologia, este produto, até então, apresentava altos índices de colesterol, sódio, lactose e gordura. Com o desenvolvimento da técnica de microfiltração, em 1980, foi possível melhorar esses índices e atingir 80% de proteínas no produto final. A marca Designer, em 1993, foi a primeira a comercializar o *Whey* saborizado, que rapidamente ganhou grande destaque (YANSEN, 2011).

A *National Whey Conference*, que ocorreu em 1997, em Chicago, apurou as inúmeras propriedades deste suplemento e as mais importantes estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Propriedades e benefícios do *Whey Protein*.

Propriedade	Benefício
Alta quantidade de aminoácidos de cadeia ramificada (BCAA's)	Preservação do tecido muscular
Baixo peso molecular	Aminoácidos são absorvidos intactos pela corrente sanguínea
Inibição da metástase, supressão da angiogênese e indução da apoptose em células cancerígenas	Atividade antitumoral
Liberação do hormônio colecistoquinina	Supressão do apetite
Redução da liberação ácida no estômago	Previne indigestão
Inibição da ligação de diversas toxinas	Evitar doenças como salmonela e cólera
Inibição da adesão ao tártaro	Previne a cárie
Aumento da resposta imune	Redução do processo inflamatório do estômago
Impedimento da agregação plaquetária	Redução do risco de infarto agudo do miocárdio
Aumento da glutathiona (antioxidante)	Inibição da proliferação de radicais livres
Controle dos níveis de triptofano	Melhora da depressão nervosa

Fonte: Adaptado de YANSEN, 2011.

A oitava edição dessa conferência ocorreu no período de 17 a 20 de setembro de 2017 e teve como foco discutir sobre os desenvolvimentos de tecnologia de ponta em relação ao soro, tanto na ciência como na indústria e no mercado global (INTERNATIONAL WHEY CONFERENCE - CHICAGO, 2017).

O *Whey Protein* é uma substância com muitos usos que vão além do ganho de massa magra por atletas. Um exemplo interessante é o estudo sobre a sua aplicação na reabilitação de pacientes com fratura no quadril, muito comum em idosos (NIITSU *et al.*, 2016).

2 PÚBLICO-ALVO

Há algumas décadas, com a percepção da real dificuldade de algumas pessoas em suprir suas necessidades de nutrientes por intermédio da alimentação, os suplementos alimentares começaram a aparecer no mercado. Em 1994, o *Food and Drug Administration* (FDA) definiu suplemento alimentar como sendo um produto, adicionado de algum ingrediente alimentar (vitaminas, minerais, ervas ou outros vegetais, aminoácidos, enzimas, dentre outros), que deve ser administrado por via oral com a finalidade de complementar a dieta (VERONEZ, 2012).

Indústrias alimentícias são grandes consumidoras do *Whey*. Como exemplo, têm-se a produção de bebidas lácteas, que fazem uso dessa substância para enriquecimento proteico (PELEGRINI; CARRASQUEIRA, 2008), a produção de pães e bolos, que o utilizam para aumento de volume, além de atuar como antiaglutinante em misturas secas (ZAVAREZE; MORAES; SALASMELLADO, 2010). Por fim, nos sorvetes e sobremesas lácteas, o *Whey* é utilizado para conferir maior aeração no produto, para a formação de espumas estáveis (CALDEIRA *et al.*, 2010) e, também, para melhoria da textura de doces de leite (VIOTTO; MACHADO, 2007).

Outro público que consome esse produto (*Whey*) com a finalidade de suprir suas necessidades proteicas são os vegetarianos, para compensar o déficit de proteínas das quais são obtidas pelo consumo de produtos provenientes da carne.

O *Whey Protein* ainda é utilizado para a fabricação de mercadorias denominadas *fitness*, com baixa caloria e grande quantidade de proteínas para pessoas que fazem restrição de determinados alimentos, como os doces de forma geral. Vale ressaltar que pessoas diabéticas também fazem grande uso da proteína extraída do soro do leite, uma vez que a substância se mostra eficiente para equilibrar os níveis de açúcares na corrente sanguínea e proporciona qualidade de vida.

A proteína do soro do leite, *Whey Protein*, segundo Haraguchi, Abreu e Paula (2006) possui um alto valor nutricional e um grande teor de aminoácidos essenciais e de cadeia ramificada. Além disso, proporciona um efeito de aumento na síntese proteica e redução da gordura corporal (ALMEIDA, 2014).

3 JUSTIFICATIVA

Os suplementos alimentares, criados nos Estados Unidos na década de 1910, tinham como objetivo suprir as necessidades dos soldados que ficavam longos períodos sem acesso à comida e água, além de serem aliados dos astronautas da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) durante suas viagens ao espaço. Nos dias atuais, estes produtos estão conquistando o mercado mundial com grande potencial de expansão, mesmo em tempos de crise econômica e queda no consumo, devido às suas características nutricionais e à busca, por parte da população, pela melhor qualidade de vida, associada à alimentação saudável (REVISTA COMÉRCIO & SERVIÇOS, 2016).

Segundo pesquisa publicada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), com aumento da expectativa de vida dos brasileiros, também cresce a preocupação com uma alimentação saudável e nutrição (INDUSTRIATIVIDADE, 2017). Sobre o consumo de suplementos no país, 75% das pessoas, que utilizam esse tipo de produto, tem como objetivo complementar a alimentação e 57% buscam promover o bem-estar físico, além do mais, 96% das pessoas se satisfazem com os resultados da suplementação e 53% garantem que os suplementos aumentem a disposição física (SANTINI; MELENDEZ, 2016).

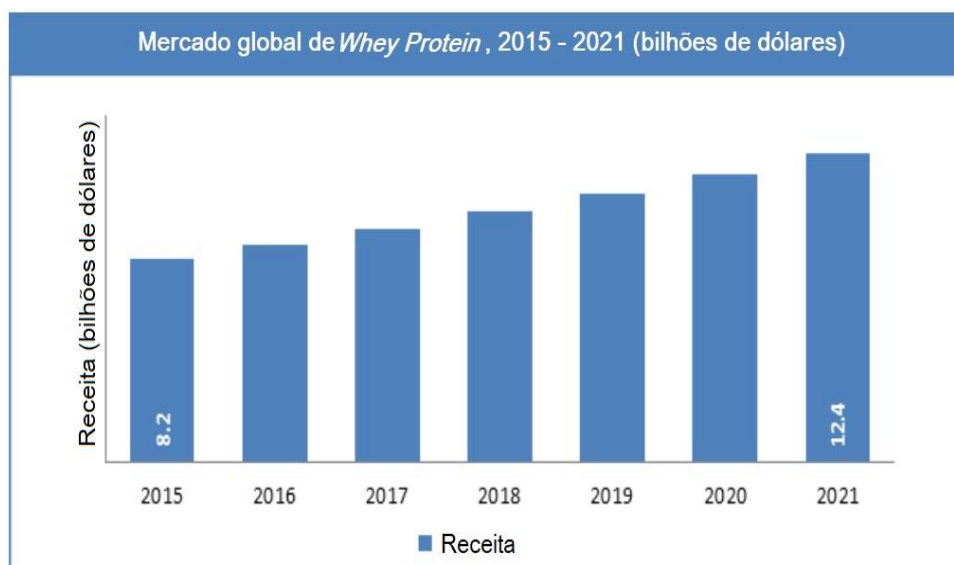
Com relação ao crescimento do setor, o site do DCI (Diário Comércio & Indústria) divulgou, que o faturamento do mercado brasileiro de suplementos nutricionais, em 2016, foi de 8 bilhões de reais, correspondente ao aumento de 10% com relação ao ano anterior. Em matéria publicada em 2016 pela revista Comércio & Serviços da Fecomercio, há a informação de que os produtos à base de proteína são os mais vendidos (65%), sobressaindo aos energéticos e aminoácidos que ficam com 15% (NUTRIÇÃO ESPORTIVA, 2017).

Os dados apontam que o caminho é promissor. Segundo a *Euromonitor International*, esta indústria terá o valor aproximado de 5,5 bilhões de dólares até 2018 na América Latina (NUTRIÇÃO ESPORTIVA, 2017). O Brasil é um dos maiores consumidores de suplementos alimentares do mundo, conforme estudo divulgado pela Associação Brasileira da Indústria de Alimentos Para Fins Especiais e Congêneres (ABIAD) em 2016, 54% dos brasileiros ingeriram esses produtos

diariamente. Para efeito de comparação, nos Estados Unidos, um dos maiores mercados consumidores do mundo, o índice é de 68% (DINO, 2017).

Com relação à proteína do leite, o suplemento movimentou 8,2 bilhões de dólares mundialmente em 2015 e prevê movimentar 12,4 bilhões de dólares em 2021 (dados apresentados na Figura 1). Devido ao seu forte perfil de aminoácidos e à sua facilidade de absorção é, talvez, o suplemento dietético mais popular. Espera-se que o mercado global de *Whey Protein* cresça cada vez mais devido aos seus inúmeros benefícios e por ser uma proteína de fácil acesso, já que, transportar frango ou peixe, por exemplo, não é conveniente quando comparado com a bebida de proteína de soro de leite, uma vez que a vida de prateleira desse produto é muito maior (baixa atividade microbiana por ser um produto em pó) com relação a alimentos dos quais necessitam de refrigeração já no seu transporte (ZION MARKET RESEARCH, 2016).

Figura 1 - Panorama mundial de receita proveniente do *Whey Protein*.



Fonte: ZION MARKET RESEARCH, 2016.

No segmento de aplicação, o suplemento dietético domina o mercado mundial de proteína de soro. Globalmente, 60% do mercado de proteína de soro foi capturado pelo segmento de suplementos dietéticos. Espera-se que o segmento de nutrição farmacêutica e clínica tenha um crescimento significativo até 2021, para superar o problema de deficiência proteica presentes na população dos países em desenvolvimento (ZION MARKET RESEARCH, 2016).

Em termos geográficos, a Europa foi o continente que mais movimentou o mercado de *Whey Protein* em 2015 devido ao aumento do número da população geriátrica. Além disso, mercados emergentes como a Ásia e a América Latina são a oportunidade para o crescimento da comercialização de proteína de soro de leite nos próximos anos, devido ao aumento da conscientização do uso destes produtos e do aumento de renda (ZION MARKET RESEARCH, 2016).

Na avaliação de Ramos (2016), esse é um nicho que deve seguir o mesmo caminho da indústria de cosméticos, que no passado era muito pequena e hoje domina o setor de beleza. Para isso, a principal batalha é combater o crescimento da pirataria, com itens falsificados vindos do exterior (REVISTA COMÉRCIO & SERVIÇOS, 2016). O *Whey Protein* é um subproduto valioso da fabricação de queijos, mas que até pouco tempo atrás era visto no Brasil como um resíduo industrial. O soro do leite, que servia à alimentação animal, principalmente de porcos, passou a ser largamente utilizado na fabricação de bebidas lácteas e na produção de *Whey Protein* (DINHEIRO RURAL, 2013).

Segundo a Associação Brasileira das Indústrias de Queijo (Abiq), o Brasil produz cerca de 850 mil toneladas de queijo por ano. Estima-se que, em média, para cada quilo de queijo produzido são gerados oito litros de soro. O Sindicato das Indústrias de Laticínios de São Paulo (Sindileite) estima que o Brasil já tenha capacidade para produzir 115 mil toneladas de soro em pó por ano, mas produz apenas 40 mil toneladas e importa cerca de 28 mil toneladas. Ademais, cerca de 50% dos sólidos do leite usados na fabricação dos queijos fica na produção, enquanto o restante vai para o soro, desta forma, quando o soro é jogado fora, cerca de metade da bacia leiteira é perdida (DINHEIRO RURAL, 2013).

A produção de queijos é a principal fornecedora de soro de leite líquido. Entretanto, sua dispersão é um dos fatores que inibem investimentos que poderiam levar o país a assumir o papel de grande produtor de soro de leite em pó para a indústria demandante, a qual se vê forçada a recorrer ao mercado externo para atender as necessidades da atividade (INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS, 2016).

A empresa Sooro é uma das principais processadoras de soro leite do país. Surgiu em 2001 no município de Marechal Cândido Rondon, no oeste do Paraná e é pioneira no processamento de soro de leite no Brasil. Caracteriza-se pela inovação no desenvolvimento de seus produtos e na implantação de novas tecnologias.

Inicialmente seu beneficiamento era de 150 mil litros de soro/dia. Em 2014 apresentou uma capacidade de produção de 1,2 milhão de litros de soro/dia e em 2016 investiu 35 milhões, permitindo duplicar a sua capacidade de transformar o soro em pó parcialmente desmineralizado (redução de minerais), permeado de soro (lactose ou gorduras) e concentrado proteico de soro (*Whey Protein Concentrate* - WPC), sendo estes de concentração iguais a 35%, 60% e 80%, respectivamente (SOORO, 2014; SOORO, 2017).

Esta empresa utiliza a tecnologia de membranas para a produção do WPC e coloca no mercado 350 toneladas/mês deste produto e o restante é suprido com importações. A Sooro conta com 23 fornecedores sendo que alguns já aplicam tecnologia de membranas e fazem pré-concentração. O volume de soro que chega a empresa corresponde a 75% do que é comprado. Os produtos são comercializados com empresas do setor industrial alimentício (50%) (panificação, sorvete, chocolate, entre outras), suplementos alimentares (40%) e para alimentação animal (10%). O percentual fornecido às indústrias de suplementos alimentares e alimentação animal depende da variação de mercado. Além disso, a processadora possui um completo sistema de tratamento de seus efluentes com tratamento de todos os resíduos gerados pelos processos, seguindo a legislação brasileira (INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS, 2016).

Já a empresa Alibra, desde 2001, processa o soro do leite e comercializa seus derivados e leite em pó, além de misturas alimentícias e outros produtos inovadores como análogos de queijos (queijos produzidos substituindo o leite e a gordura do leite por proteínas de leite, gorduras vegetais e amidos modificados). Faz parte de empresas coligadas em 12 unidades de negócios, 10 delas em segmentos de ingredientes alimentícios, alimentos e bebidas. Possui duas unidades, uma usina processadora em Marechal Cândido Rondon-PR, que faz a concentração e desidratação de soro doce e parcialmente desmineralizado, compostos lácteos, misturas lácteas, creme de leite, gorduras e concentrados proteicos. A outra unidade, em Campinas/SP, tem o setor de desenvolvimento de produção, envasamento de compostos (misturas lácteas, achocolatados, farinha láctea e mingaus em pó) e distribuição (ALIBRA, 2017).

A produção inicial da Alibra era de 80 toneladas/mês (2000). Em 2015, a produção foi próxima de 500 a 700 toneladas de soro/mês. As vendas do soro doce

desmineralizado e semi desmineralizado fica em torno de 300 a 400 toneladas/mês. O restante dos sólidos é utilizado na produção de compostos e misturas lácteas de linha própria. Esta empresa produz: soro em pó, concentrado proteico de soro com 34% de proteína, compostos lácteos diversos para uso por produtores de sorvete, para panificação e para uso por laticínios ou outras indústrias de alimentos. Além de produzir, a empresa ainda importa WPI (isolado proteico de soro com 80% ou mais de proteína) para complementar a demanda. Na produção de soro em pó e compostos lácteos diversos, a tecnologia utilizada é a de concentração do soro em evaporadores a vácuo e secadores tipo *Spray Dryer*. Já para o concentrado proteico de soro, utiliza-se a tecnologia de ultrafiltração seguido pelo mesmo equipamento de secagem citado anteriormente (INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS, 2016).

Por sua vez, a Tangará Foods é uma empresa que usa o soro de leite em pó como insumo para produzir seus compostos lácteos. Está localizada em Vila Velha, Espírito Santo e Estrela, Rio Grande do Sul. Possui fornecedores homologados de soro em pó e de soro fluido que são utilizados para misturas em pó e compostos lácteos em pó. Tem aproximadamente 15 fornecedores de soro em pó e 5 de soro fluido e pré-concentrado. O consumo da fábrica do Espírito Santo é de 400 toneladas/mês e da fábrica do Rio Grande do Sul de 4.500.000 toneladas/mês. A empresa adquire soro em pó de todo o território nacional e de países do Mercosul, Europa e América do Norte (TANGARÁ FOODS, 2017).

Ainda nesta empresa, as tecnologias empregadas para o processamento são *Dry Blend* e o *Spray Dryer* para a produção de compostos lácteos em pó, sendo o último, a partir da concentração e secagem das matérias-primas. Cerca de 98% dos produtos são comercializados para o setor de alimentos (varejo, distribuidores, cozinhas industriais e indústrias de alimentos em geral), 1% é comercializado para as indústrias de suplementos e o restante (1%) para a alimentação animal (INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS, 2016).

Já a Pantec Tecnologia para Alimentos, no município de São Paulo, é uma distribuidora de produtos alimentícios que comercializa o soro de leite há mais de 10 anos. O soro é utilizado no setor de panificação para favorecer algumas características de cor e textura em pães (PANTEC, 2017).

Vale ressaltar que, tanto a Tangará Foods quanto a Pantec, não apenas compram o soro do leite em pó no mercado interno, como também, importam produtos para atender a demanda brasileira.

4 A EMPRESA

A empresa MDLGV – Indústria Ltda foi projetada no ano de 2017 e ganhou esse nome devido as iniciais de seus fundadores, Matheus, Duda (Maria Eduarda), Leonardo, Gisley e Vassula. Seus principais produtos são provenientes do soro de leite, que pode ser obtido dos resíduos gerados na indústria do queijo, tornando a empresa responsável pelo reprocessamento de resíduos.

A MDLGV tem como missão, visão e valores os seguintes tópicos:

MISSÃO

A MDLGV tem a missão de fornecer um produto de qualidade, proporcionando, dessa forma, saúde e bem-estar aos seus clientes, com responsabilidade social e ambiental.

VISÃO

Liderar o mercado brasileiro na categoria e consolidar-se internacionalmente.

VALORES

*Ética;
Honestidade;
Comprometimento;
Qualidade Superior;
Respeito com o meio ambiente;
Preocupação com a integridade dos funcionários.*

Tem como meio de divulgação uma logomarca desenvolvida pelos próprios fundadores, que pode ser observada na Figura 2.

Figura 2 - Logomarca da empresa MDLGV - Indústria Ltda.

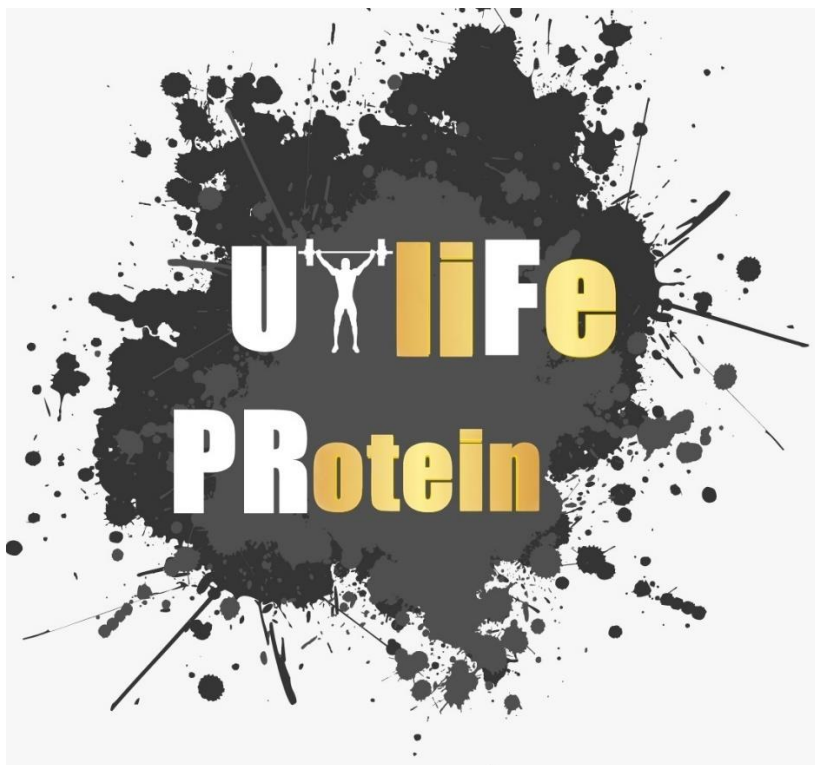


Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2018.

Seu processo produtivo dispõe de equipamentos da mais alta qualidade, de técnicas e profissionais altamente qualificados. Sua localização foi planejada estrategicamente e apresenta uma interligação entre entrada de matérias-primas e expedição de produtos acabados, além de manter a preocupação com o meio ambiente e consumo consciente de todos seus recursos, principalmente os energéticos, no qual busca-se sempre reaproveitar da geração dos vapores e águas remanescentes do processo.

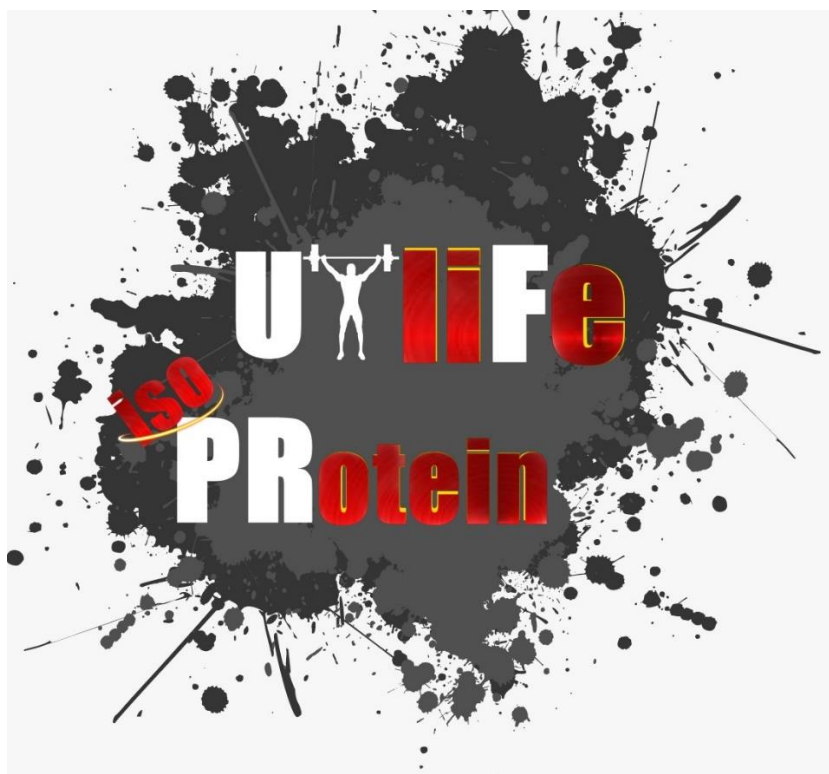
Atualmente apresenta dois principais produtos corporativos, o UTliFe PRotein, que consiste em um concentrado da proteína do leite de 79% e o UTliFe isoPRotein dispondo de um produto altamente concentrado com cerca de 90,5%. A marca, também desenvolvida pelos fundadores, pode ser observada nas Figuras 3 e 4.

Figura 3 - Arte desenvolvida para a marca UTiFe PRotein.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2018.

Figura 4 - Arte desenvolvida para a marca UTiFe isoPRotein.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2018.

As marcas foram desenvolvidas fazendo uma homenagem à universidade dos fundadores, a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Futuramente, a MDLGV, terá como objetivo apresentar ao mercado novos produtos provenientes do soro do leite, expandindo seus negócios fora do ambiente corporativo, ou seja, dispondo de mercadorias também para o consumidor final, como bebidas lácteas (pasteurizadas e fermentada), ricota, doce de leite com soro, entre outros. Também há uma perspectiva de expandir sua produção na área de laticínios com a comercialização de toda a cadeia de leite em pó (integral, desnatado, zero lactose e enriquecido com maltodextrina), a fim de para aumentar a lucratividade, crescer no mercado nacional e tornar a marca MDLGV consolidada em todo território visando a expansão internacional.

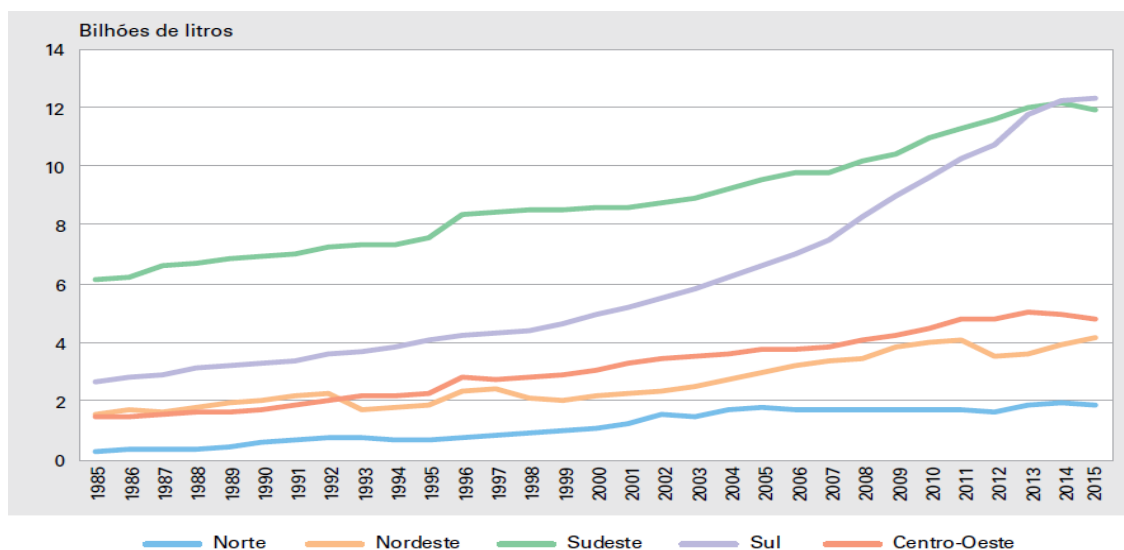
5 LOCALIZAÇÃO

A escolha da região de instalação da indústria levou em consideração, principalmente, a logística de entrada e saída de matéria-prima para a produção de seu produto final (proteína em pó extraída do soro do leite), o fator de principal relevância foi a disponibilidade da matéria-prima, no caso o soro do leite, para economizar em fatores dos quais elevam muito o custo de produção, o transporte.

Com base nos dados a seguir, o Paraná foi a unidade federativa escolhida como região a ser instalada a indústria, devido à grande produção do leite e qualidade do mesmo, bem como por apresentar temperaturas menores com relação às outras regiões de grande produção de leite, como o estado de Minas Gerais, o que facilita o manuseio da matéria-prima, por se tratar de um produto perecível, uma vez que temperaturas mais baixas prejudicam menos o escoamento da matéria-prima para dentro da planta industrial (dos caminhões-tanque refrigerados para os tanques de armazenamento também refrigerados), o que reduz o número de processos de refrigeração, outro fator que encarece a produção.

A partir de 2014, a Região Sul passou a ocupar a primeira posição do ranking das Grandes Regiões, quando ultrapassou pela primeira vez a Região Sudeste (Figura 5), sendo responsável por 35,2% da produção nacional. A Região Sudeste, na segunda posição, representou 34,0% da produção total (PRODUÇÃO DA PECUÁRIA MUNICIPAL, 2015).

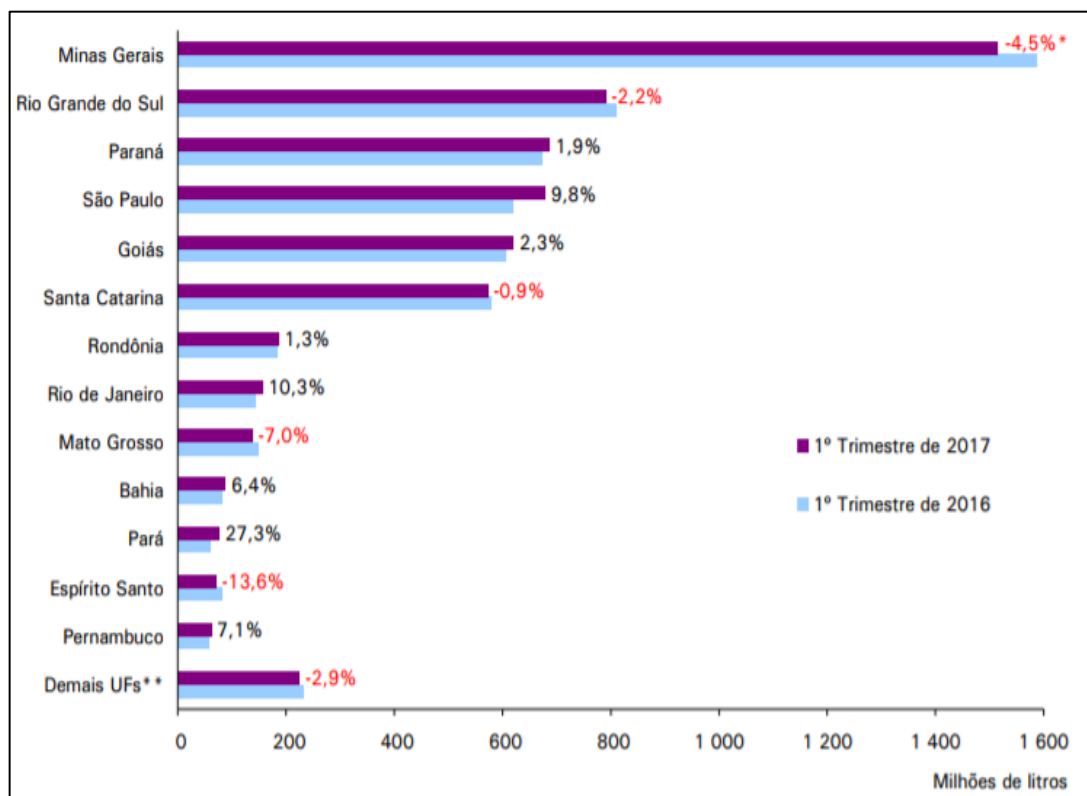
Figura 5 - Evolução da produção de leite, segundo as Grandes Regiões.



Fonte: IBGE, 2015.

Dentre os estados da região Sul, verifica-se que o Paraná apresenta uma das maiores produções de leite do país, ocupando a terceira posição (IBGE, 2017).

Figura 6 - Ranking e variação anual da quantidade de leite cru adquirido pelos laticínios no 1º trimestre de 2016 e 2017.



Fonte: IBGE, 2017.

A produção mineira é seguida pelo Rio Grande do Sul e o Paraná sendo que os dois estados, juntos, representam 75,2% da produção regional e 26,5% da produção de leite do país (PRODUÇÃO DA PECUÁRIA MUNICIPAL, 2015).

O principal motivo de se escolher o estado do Paraná, em relação ao Rio Grande do Sul, foi devido à facilidade de escoamento dos produtos para outros estados brasileiros, principalmente pela maior proximidade com o estado de São Paulo que, por sua vez, é o único com uma infraestrutura de transportes conectados por uma vasta rede, incluindo rodovias duplicadas, ferrovias e a hidrovía do Tietê. Além disso, o estado ainda comporta o maior aeroporto (Guarulhos) e o porto com maior movimentação de carga (Santos) do país (IBGE, 2014).

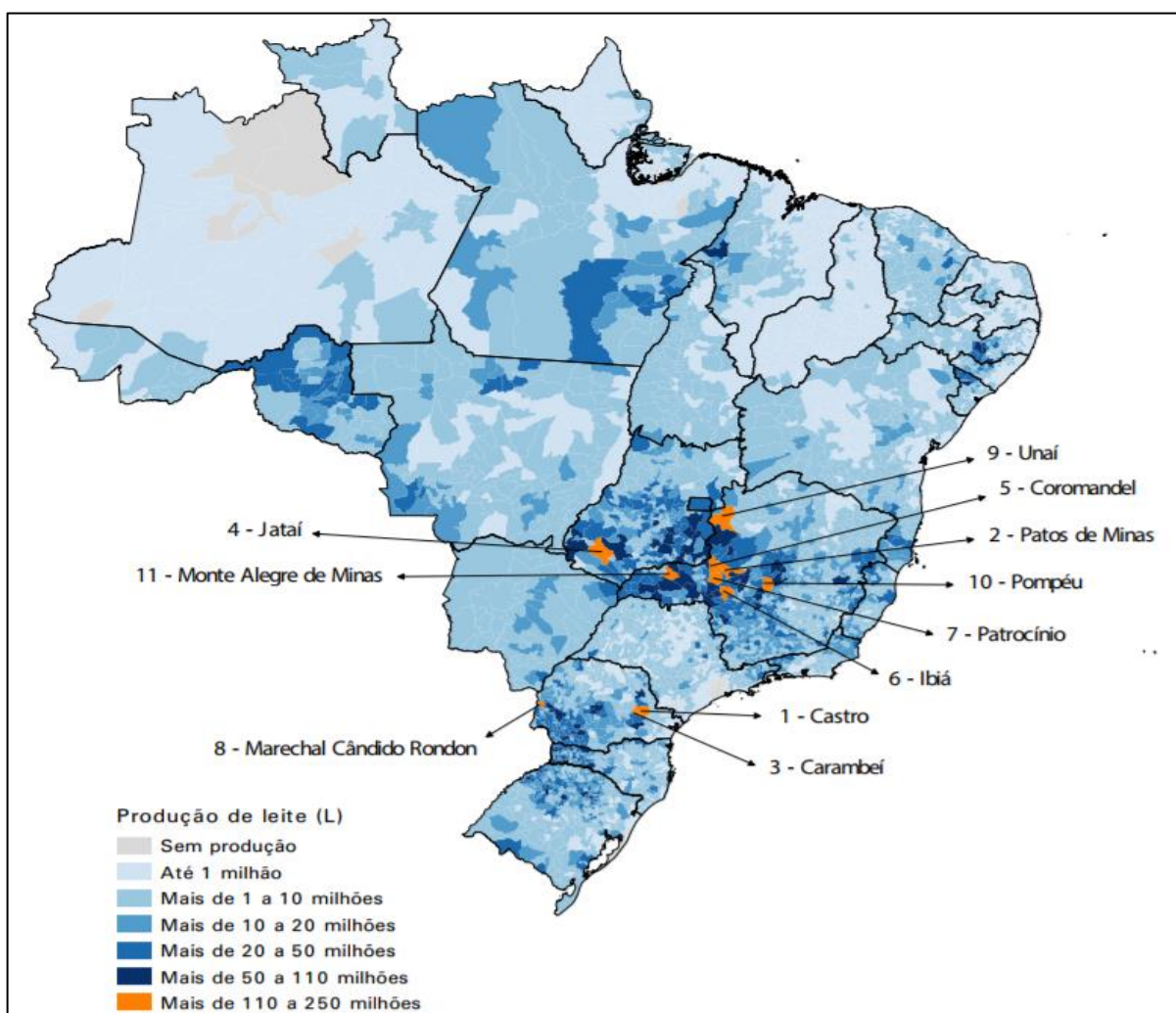
A indústria será instalada no município de Castro, que pertence à região dos Campos Gerais (Centro-Sul do estado do Paraná), com uma área de 2.531,506 km² e, aproximadamente, 71 mil habitantes (2015), tendo por municípios limítrofes

Carambeí, Campo Largo, Cerro Azul, Doutor Ulisses, Itaperuçu, Piraí do Sul, Ponta Grossa e Tibagi. Castro localiza-se a, aproximadamente, 20 km de Carambeí, 33 km de Piraí do Sul, 45 km de Ponta Grossa, 62 km de Tibagi, 159 km de Curitiba, 203 km de Guarapuava, 210 km de Paranaguá, 279 km de Londrina, 399 km de Florianópolis, 440 km de São Paulo e 582 km de Foz do Iguaçu, o que faz com que a cidade seja privilegiada com relação a logística de transporte de produtos finais para as grandes áreas nacionais, bem como uma distância relativamente pequena da cidade portuária mais próxima (Paranaguá) (PREFEITURA DE CASTRO, 2017).

O município de Castro tem como base de sua economia a atividade agropecuária, sendo considerado um dos maiores produtores do Estado do Paraná. Na agricultura, destacam-se como principais produtos, o milho, soja, feijão, batata, trigo e aveia, já na pecuária de corte, a criação de gado, suínos e aves. Em relação à pecuária leiteira, o município é considerado uma das principais bacias leiteiras do Brasil em produtividade e qualidade genética. Castro também recebeu o título de maior produtor de calcário agrícola da América Latina, devido à exploração e extração mineral. Seu comércio é amplo, reunindo prestadoras de serviços, indústrias de móveis, pincéis e alimentos, além de contar com um Parque Industrial para a implantação de novas indústrias (PREFEITURA DE CASTRO, 2017).

Fazendo uma análise da produção de leite, em escala municipal, a primeira posição é ocupada por Castro (PR), que alcançou 250,00 milhões de litros, seguido pelos municípios de Patos de Minas (MG), com 149,65 milhões de litros, e Carambeí (PR), cidade vizinha de Castro, com 140,00 milhões de litros (Figura 7) (PRODUÇÃO DA PECUÁRIA MUNICIPAL, 2015).

Figura 7 - Produção de leite, com destaque para os principais municípios produtores (2015).



Fonte: IBGE, 2015.

A produção de leite na cidade de Castro teve início em meados do século 19, quando começou a receber imigrantes alemães e poloneses, aos quais se seguem os holandeses e os japoneses, no século 20. Em meio à expressiva produção agropecuária do município, a produção de leite se destaca, com forte influência das tradições pecuárias holandesas (SENADONOTICIAS, 2016).

Município que conta com uma genética avançada, tecnologia de ponta e práticas pioneiras de manejo, o tripé que fez da bacia leiteira dos Campos Gerais um modelo de sucesso, rendeu a Castro o título de Capital Nacional do Leite. Casa das três principais cooperativas produtoras do alimento do estado – Castrolanda, em Castro, a Frísia, em Carambeí, e a Capal, de Arapoti – a região é referência nacional

em produtividade e abriga vários dos maiores produtores de leite do Brasil (BARÃO, 2015).

O projeto de lei que dá ao município, que lidera o *ranking* nacional de produção e produtividade do alimento, o título de Capital Nacional do Leite foi aprovado pela Comissão de Constituição e Justiça e de Cidadania (CCJC) da Câmara dos Deputados e agora depende apenas de aprovação do Senado Federal para ser oficializado (BARÃO, 2015).

A região dos Campos Gerais é considerada um epicentro de um entroncamento rodoferroviário para o escoamento de produtos do interior do Paraná e de outros estados como Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás até o porto de Paranaguá. Ao longo das últimas décadas, a infraestrutura dos trechos da BR-376 e da PR-151 que cortam os Campos Gerais colaborou diretamente para determinar o desenvolvimento e o crescimento da produção de soja e leite da região. Inclusive, o enorme volume de cargas que transita por estas estradas contribuiu para batizá-las, mesmo que extraoficialmente, de Rodovia da Soja e Rodovia do Leite, respectivamente. Mas as cadeias do leite e da soja não são as únicas beneficiadas pela infraestrutura rodoviária da região. Apesar dos trechos da BR-376 e da PR-151 que cortam os Campos Gerais necessitarem de melhorias em função dos gargalos, a malha, em grande parte duplicada, contribuiu para atrair empresas para suas margens. Além disso, a Rodovia do Leite se relaciona direta ou indiretamente com outras importantes rodovias, como as BRs 153 e 343 e as PRs 090 e 340, o que permite uma diversidade logística (FILHO, 2015).

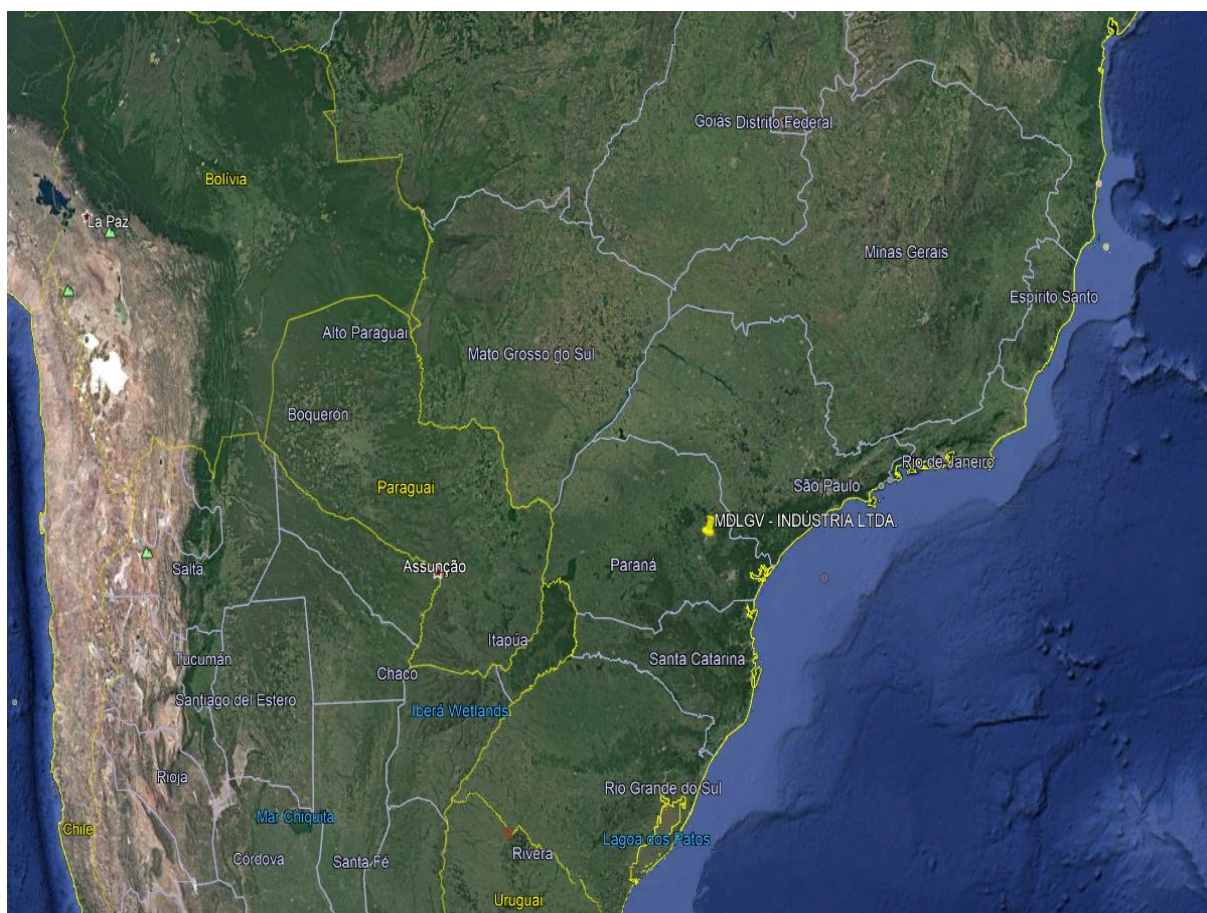
Devido a esses fatores citados anteriormente, fez com que Castro fosse escolhida como município para sediar a empresa MDLGV – Indústria Ltda.

6 DECISÃO E AQUISIÇÃO DO TERRENO

A MDLGV, com base nos fatores listados anteriormente no item 4 do presente trabalho, decidiu a localidade de instalação de sua planta industrial. Fatores esses que podem ser resumidos em logística de entrada de matéria-prima e saída de produto acabado, uma vez que o terreno adquirido se encontra às margens da principal rodovia da cidade de Castro, além de manter uma distância estratégica no Rio Iapó, na qual a empresa poderá coletar água e tratar para uso em suas instalações bem como posicionar sua estação de tratamento de efluentes (ETE).

Na Figura 8 segue a imagem da localização exata do terreno no qual será instalada a MDLGV, em uma escala nacional.

Figura 8 - Localização das instalações fabris da MDLGV a nível nacional.

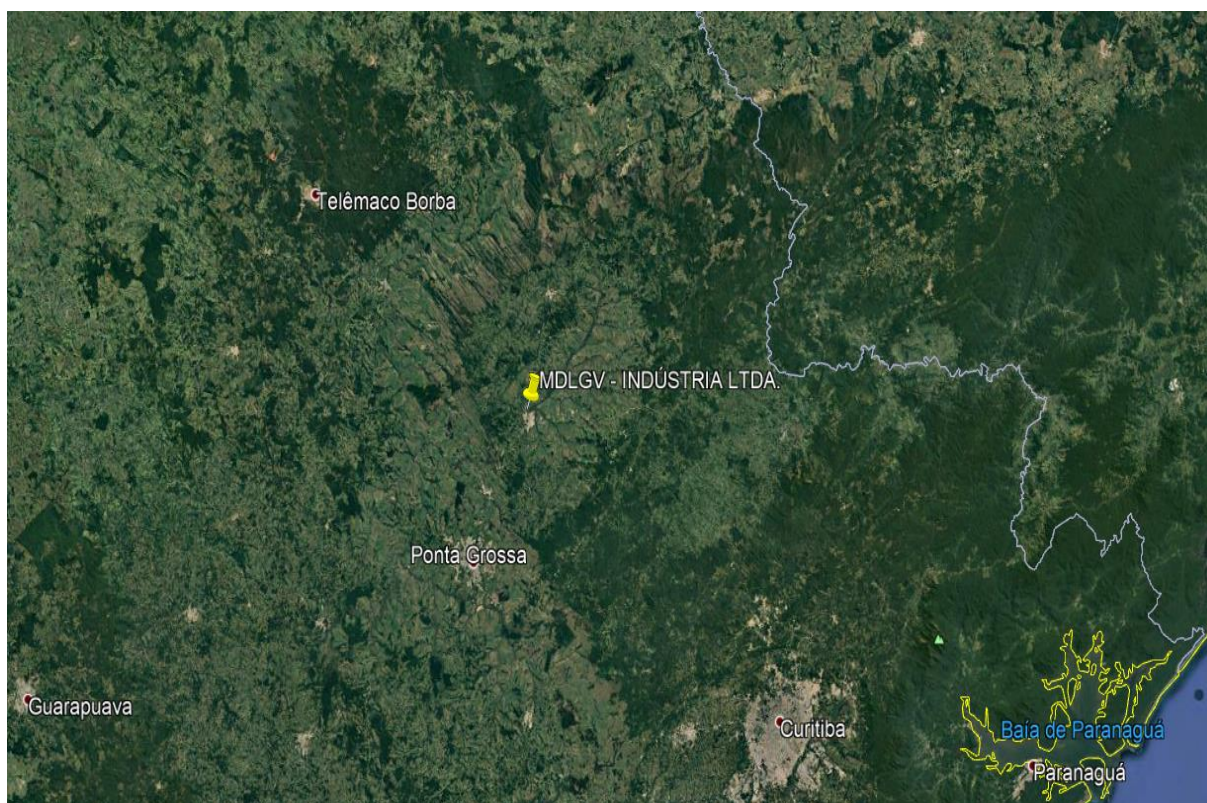


Fonte: GOOGLE EARTH, 2018.

Com auxílio da Figura 9 é possível verificar a proximidade da MDLGV com as cidades de Ponta Grossa, Curitiba e Paranaguá, ambas no Paraná, dando destaque a última citada, sendo essa uma cidade portuária, na qual facilitaria o comércio da

MDLGV com o mercado exterior via exportações de produtos e importações de insumos, se necessário. É válido ainda, destacar a proximidade com Telêmaco Borba, uma cidade tradicional na produção de papel e celulose (onde se localiza a empresa Klabin), facilitando a compra de embalagens (que serão de papel, em sua maioria), diminuindo os custos com transporte das mesmas.

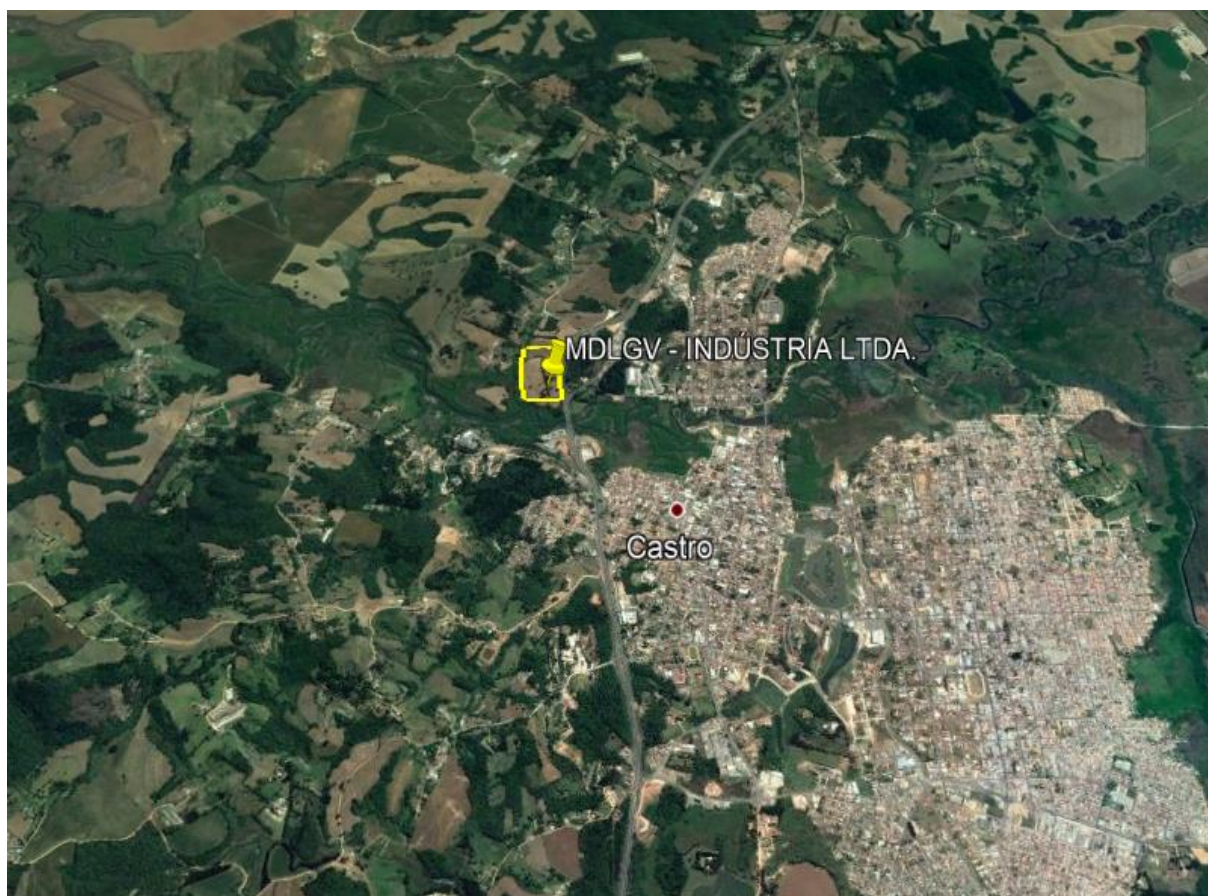
Figura 9 - Localização das instalações fabris da MDLGV a nível estadual.



Fonte: GOOGLE EARTH, 2018.

A Figura 10 auxilia a visualização do terreno adquirido junto a proximidade da zona urbana da cidade, no qual foi posicionado considerando fatores como, o deslocamento dos colaboradores e instalação de serviços (energia elétrica e internet, por exemplo).

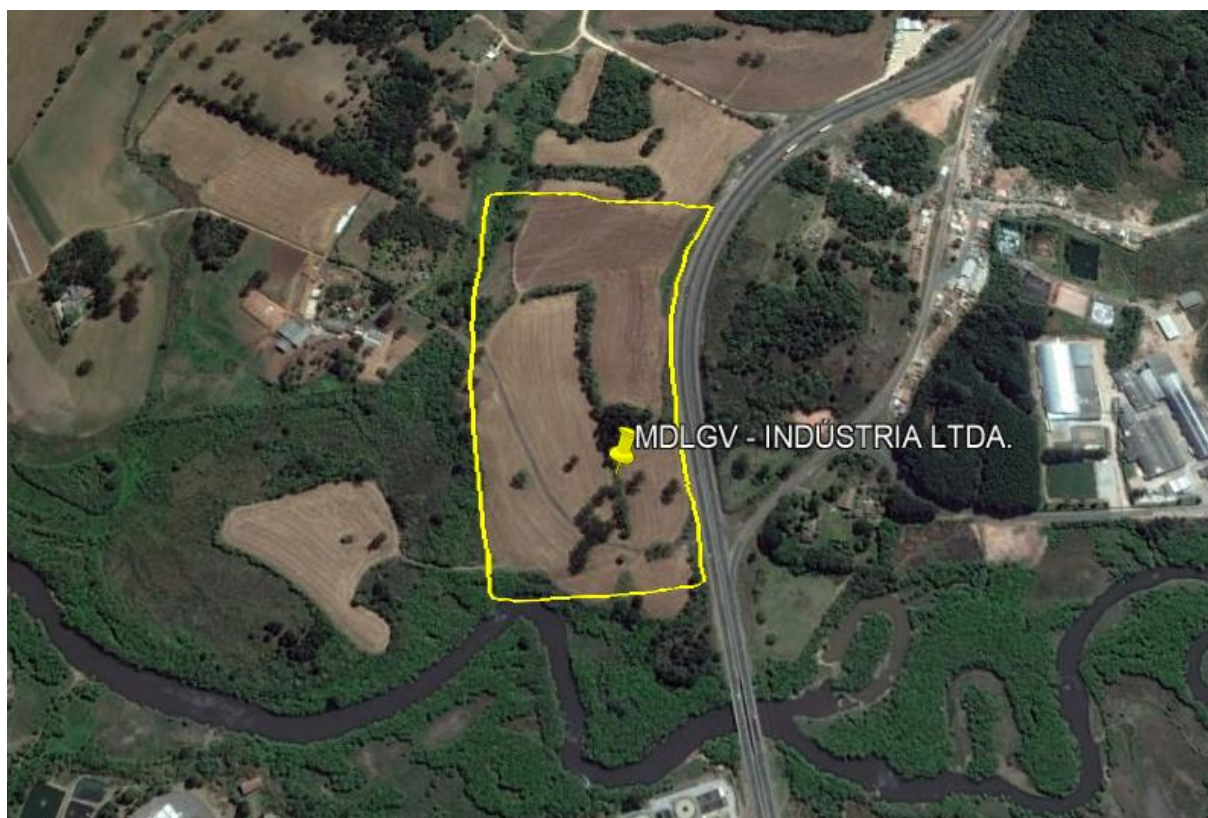
Figura 10 - Localização das instalações fabris da MDLGV a nível municipal.



Fonte: GOOGLE EARTH, 2018.

Por fim a Figura 11, mostra a região adquirida pela MDLGV, na qual conta com 135.277 m² de área, contemplada pela proximidade da principal rodovia da cidade de Castro, facilitando o escoamento de matérias-primas e produtos, além da proximidade com o Rio Iapó, propiciando as instalações da ETE.

Figura 11 - Área de aquisição para as instalações fabris da MDLGV.



Fonte: GOOGLE EARTH, 2018.

O terreno com base na geografia da cidade de Castro é considerado uma área rural/industrial, na qual foi cotado um valor médio de aproximadamente R\$200.000,00 (duzentos mil reais) o alqueire com base no preço regional. A área de interesse conta com 135.277 m², que convertidos para alqueire representam aproximadamente 5,6 alqueires. A área custaria então, para a MDLGV, cerca de R\$1.120.000,00 (um milhão, cento e vinte mil reais).

Sendo assim, o endereço da unidade fabril da MDLGV fica na Rodovia Senador Flávio C. Guimarães (PR – 151), km 288 – Jardim Bela Vista, 84166-981, na cidade de Castro no estado do Paraná.

7 PROJETO DAS INSTALAÇÕES FABRIS DA MDLGV LTDA

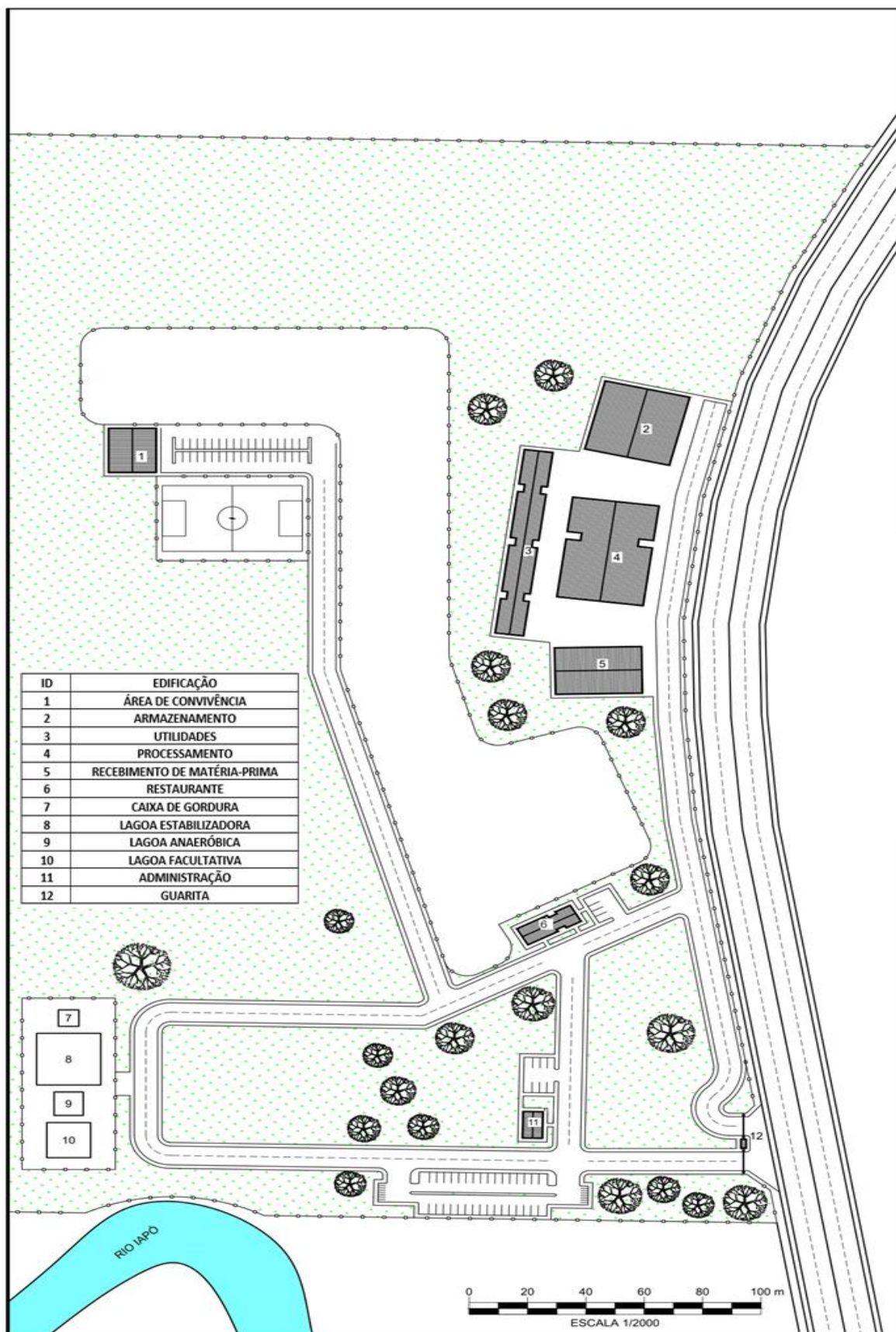
As instalações fabris da MDLGV, contam com uma área destinada à construção das edificações de aproximadamente 6.400 m², sendo essas construções destinadas aos seguintes setores da planta: guarita, administração, armazenamento da matéria-prima, processamento, utilidades, armazenamento e expedição, restaurante, área de convivência, caixa de gordura, lagoa facultativa, lagoa anaeróbica e lagoa estabilizadora. Além de apresentar uma área pavimentada, disposta de estacionamentos e vias de acesso de aproximadamente 8.500 m², totalizando 14.900 m² distribuídos entre área construída e pavimentada.

A disposição das edificações foi elaborada de forma a facilitar todo o escoamento dos produtos que serão processados, bem como a logística de entrada e saída de veículos de carga, tanto para alimentação da matéria-prima como para retirada dos produtos acabados, sendo que essas duas vias não se cruzam para melhor escoamento da fábrica. Essas instalações podem ser observadas na Figura 12, que disponibiliza uma visão geral da empresa.

A instalação da empresa MDLGV dispõe de uma guarita, situada no item 12 da Figura 12, onde será efetuada a liberação de veículos de carga, colaboradores, representantes, fornecedores e visitantes onde os mesmos serão encaminhados para os locais específicos de estacionamento, recepção ou expedição de produtos. No item 5 da mesma figura, encontra-se o setor de recepção das matérias-primas, em que irão conter os tanques de recepção e armazenamento do soro do leite, bem como laboratório para análises primárias da matéria-prima.

Ainda na Figura 12, é possível observar a partir do item 4 o setor onde ocorrerá todo o processamento de concentração do soro do leite, que consiste em três processos principais: evaporação, filtração e secagem do soro. Junto a esse setor, tem-se as utilidades, representada pelo item 3, em que serão acondicionados equipamentos de geração de utilidades quentes e frias, por exemplo.

Figura 12 - Instalações fabris da MDLGV disposta em duas dimensões.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2018.

O setor de armazenamento de produtos acabados e expedição dos mesmos para o mercado consumidor está representado no item 2 da Figura 12, ao lado é possível observar a via de acesso dos veículos que farão a coleta desses produtos.

O setor administrativo, composto por toda a área do financeiro e comercial, qualidade, planejamento e controle da produção e recursos humanos, está localizado no item 11 da figura até então abordada, que se encontra bem próxima da entrada das instalações. A MDLGV além de ter seu próprio restaurante para a alimentação dos colaboradores e demais visitantes, representado pelo item 6 da Figura 12, ainda apresenta uma área de convivência, destinada a atividades recreativas de colaboradores e demais sócios da organização, demonstrada pelo item 1.

A estação de tratamento de efluentes, cuja finalidade é tratar todos os resíduos fluidos do processamento, dispõe de um conjunto composto pela caixa de gordura, lagoa estabilizadora, lagoa anaeróbica e lagoa facultativa, representados pelos itens 7, 8, 9 e 10, respectivamente. Essa estação encontra-se próxima ao Rio Iapó, onde serão descartados os efluentes tratados e nas especificações vigentes de acordo com as normas ambientais desse corpo hídrico.

As informações referentes as áreas de cada setor bem como a área estimada de pavimentação encontram-se dispostas na Tabela 4, a seguir.

Tabela 4 - Identificação das edificações e pavimentações da MDLGV.

Identificação	Edificação	Área (m²)
1	Área de convivência	312,50
2	Armazenamento de produtos acabados e expedição	900,00
3	Utilidades	754,00
4	Processamento	1.260,00
5	Matéria-prima	600,00
6	Restaurante	1.600,00
7	Caixa de gordura	49,00
8	Lagoa estabilizadora	484,00
9	Lagoa anaeróbica	100,00
10	Lagoa facultativa	225,00
11	Administração	80,00
12	Guarita	8,00
-	Pavimentação	8.500,00
Total		14.872,50

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2018.

Para melhor visualização, fez-se um esboço da planta da empresa MDLGV em três dimensões, o que garante uma noção melhor de espaço e volume ocupado em todo o terreno de aquisição, que pode ser observado na Figura 13. É válido

ressaltar que em um primeiro momento a empresa não irá utilizar toda a área útil de aquisição, o espaço remanescente será disposto para instalações futuras de expansão e melhorias contínuas do processo de produção, bem como desenvolvimento de novos produtos no ramo de alimentos provenientes do soro do leite.

Figura 13 - Visualização da planta industrial em três dimensões.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2018.

Diante da Figura 13, é possível observar a região que a empresa decidiu manter florestada, que além de deixar a indústria arborizada garante boa parte de isenção de impostos, descontos no IPTU, ajudam a preservar espécies nativas da região e o meio ambiente como um todo, o que dá o título à MDLGV de empresa amiga do meio ambiente.

Há ainda o projeto da entrada da empresa, que pode ser observado pela Figura 14, que oferece espaço suficiente para visitantes, fornecedores e veículos de grande porte.

Figura 14 - Visão da via de entrada da MDLGV.



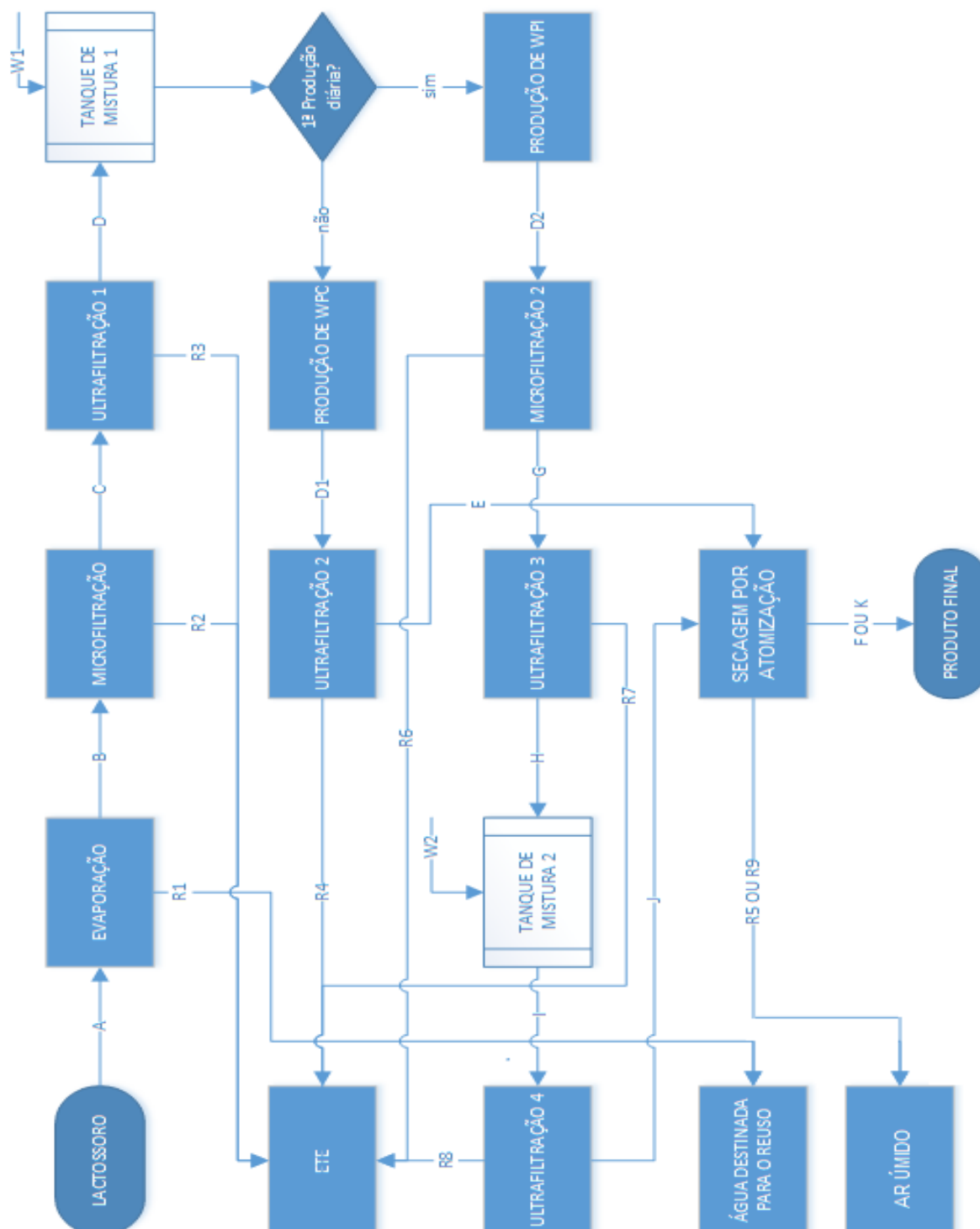
Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2018.

Informações pertinentes à estimativa de custos para toda a área pavimentada e edificações podem ser verificadas junto a análise econômica mais adiante no presente trabalho. As imagens geradas, tanto em duas quanto em três dimensões foram elaboradas no *software* ArchiCAD desenvolvido pela companhia húngara Graphisoft.

8 PROCESSO PRODUTIVO SIMPLIFICADO

O diagrama de blocos do processo produtivo do *Whey Protein* está apresentado na Figura 15.

Figura 15 - Diagrama de obtenção da proteína do leite concentrada e isolada.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2017.

A descrição dos processos é uma etapa muito importante para qualquer indústria química. Por meio do diagrama de blocos, pode-se definir as principais fases da produção de determinado produto de modo simplificado. Na Figura 15, observa-se que o processo de concentração e do isolamento da proteína do leite se inicia com a entrada da principal matéria-prima, o lactossoro ou o soro do leite.

Após receber o lactossoro é necessário fazer análises físico-químicas (pH, temperatura, oxigênio dissolvido, sólidos totais, sólidos suspensos, demanda biológica de oxigênio (DBO), óleos e graxas) para estimar o rendimento e definir as condições de operação (é nessa etapa que é verificado se o soro recebido pela empresa está dentro dos padrões, caso classificado como “não conforme” o mesmo é destinado à Estação de Tratamento de Efluentes – ETE), de acordo com suas propriedades.

A primeira etapa do processo começa com a evaporação do lactossoro, com o objetivo de se concentrar o soro e diminuir sua atividade de água (a_w), o que diminui significativamente a atividade de microrganismos e, portanto, retarda a sua deterioração. O tempo de evaporação varia de acordo com a relação entre a água e os componentes sólidos no soro do leite, embora a temperatura de evaporação não possua grandes variações, para não degradar a proteína ou outros compostos termicamente sensíveis do leite. A microfiltração ocorre em seguida, utilizando membranas com cerca de 1 μm , cuja finalidade é remover o grande excesso de glóbulos de gordura, bactérias e esporos (BOSCHI, 2006).

A etapa posterior, de ultrafiltração, utiliza o mecanismo da filtração tangencial, por intermédio de membranas, cuja função é reter as proteínas do leite (componente de interesse) e permear a maior parte da lactose, sais minerais e água (resíduos), com eficiência máxima entre 50 e 65% na concentração de sólidos totais, devido às limitações do próprio equipamento (ORDÓÑEZ *et al.*, 2005). A partir disso, a proteína concentrada do soro do leite se divide em duas correntes de produção, definidas pela MDLGV, sendo que 30% são destinadas para produção de WPI e 70% destinado para a produção do WPC.

Para o WPI, deve-se realizar ainda uma diafiltração para remover significativamente quantidades de lactose, com o objetivo de se concentrar ainda mais a proteína do leite no soro, o que também reduz significativamente a quantidade de água da solução. A diafiltração trata-se de uma técnica que purifica a solução com o

componente de interesse removendo impurezas de menores dimensões e opera em sistema com duas ultrafiltrações dispostas em série. Portanto, é necessário realizar uma diluição em água para a etapa seguinte da nova ultrafiltração, o que concede a solução de proteína isolada do soro do leite a concentração desejada, cerca de 90%. Já para o WPC, após a primeira etapa de ultrafiltração, faz-se necessário remover uma maior massa de lactose (proveniente da etapa de ultrafiltração) para evitar entupimento do sistema de pulverização no *Spray Dryer* (MINKS, 2012). O *Spray Dryer* é a etapa final para obtenção dos produtos, pelo qual utiliza a secagem por atomização para remover grandes quantidades de água das soluções de WPI e WPC, no qual se faz uso de um mesmo equipamento para o processo, dando prioridade ao produto mais concentrado para evitar contaminações principalmente de gorduras e lactoses no produto com maior quantidade de proteínas, desse modo, o WPI é processado primeiro no *Spray Dryer* e só após processar toda a corrente produzida o mesmo estará disponível para produção de WPC, realizado todo seu processamento o equipamento é destinado para limpeza. As soluções de WPI e WPC serão transformadas em pó, reduzindo drasticamente a atividade de água dos produtos (a_w) e contribuindo para o aumento da durabilidade dos produtos (cerca de 6 a 12 meses), e otimizando o transporte ao reduzir o seu volume, além de agregar valor ao produto final (CABRAL, 2015; RAMOS *et al.*, 2016).

Tanto o WPI quanto o WPC devem atingir faixas pré-determinadas, de acordo com a legislação, de concentrações de proteínas e outros componentes para serem vendidos, com a finalidade de suplemento alimentar provenientes da proteína do soro do leite.

O tratamento do efluente é de extrema importância na atualidade, devido às exigências da legislação, para certificações ambientais que estão em evidência para os clientes e para atrair a atenção como diferencial para a marca, além de tornar a produção o menos impactante possível para o meio ambiente. Os descartes dos resíduos líquidos devem ser efetuados após tratamento biológico ou químico em lagoas de tratamento de efluente, reduzindo os parâmetros exigidos na categoria de indústria de laticínios de acordo com o especificado pelos órgãos competentes (SANT'ANNA Jr., 2013).

9 BALANÇO DE MASSA PARA O PROCESSO PRODUTIVO

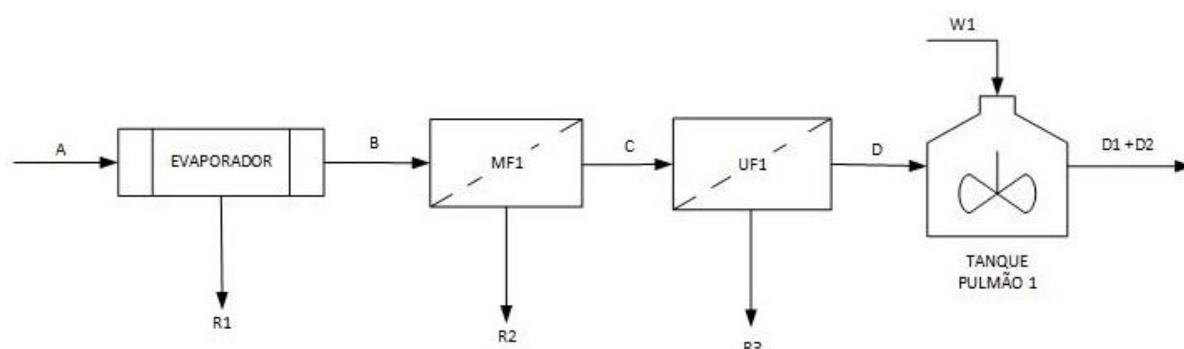
O soro do leite será recebido através de caminhões e enviado a tanques de armazenamento com temperatura controlada, o mesmo poderá permanecer até 48h em armazenamento antes de ser enviado ao processo, sem prejudicar a qualidade desta matéria-prima. A quantidade máxima diária de soro de leite processada será equivalente a 800 mil litros, que corresponde a 2/3 da quantidade processada pela empresa Sooro (SOORO, 2017).

Para execução do balanço de massa foi considerado que o soro está sendo alimentado através dos tanques de armazenamento de matéria-prima. O balanço de massa para cada equipamento utilizado no processo produtivo encontra-se nos itens abaixo e os valores apresentados referem-se ao tempo de operação igual a 1 dia, ou 24 horas de processamento.

9.1 PRODUÇÃO DO CONCENTRADO DO SORO DE LEITE

Esta etapa consiste na concentração do soro do leite em até 80%, o qual será armazenado em um tanque pulmão que irá alimentar os processos de produção de WPC e WPI. O fluxograma do processo encontra-se simplificado na Figura 16.

Figura 16 - Fluxograma para a concentração do soro do leite.

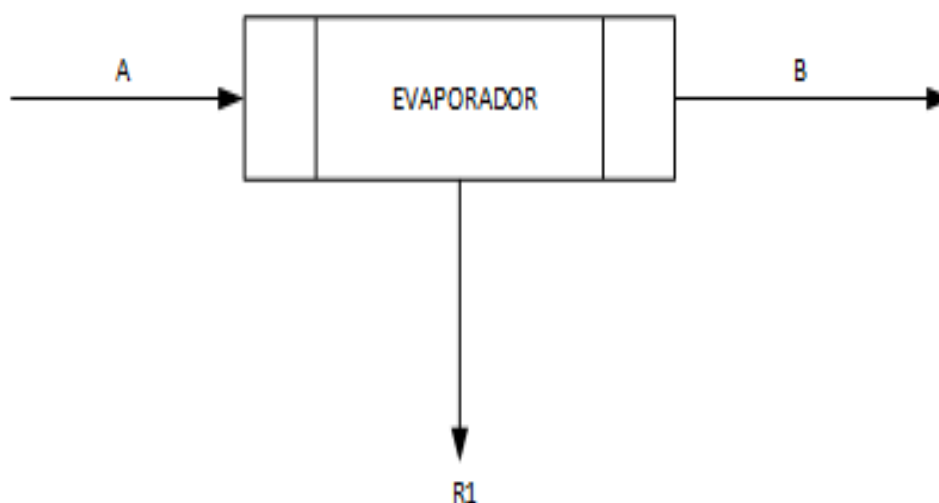


Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2017.

A matéria-prima utilizada neste processo é o soro do leite doce (corrente A), cuja composição percentual está apresentada na Tabela 2. A evaporação é o primeiro processo que o soro é submetido nesta planta, no qual 50% da massa de água

presente é removida (corrente R1), concentrando a solução sem retirar nenhuma quantidade de sólidos totais (MINKS, 2012). A esquematização desse equipamento pode ser observada na Figura 17.

Figura 17 – Evaporador.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2017.

A quantidade processada em massa equivale a aproximadamente 824.000 kg de soro de leite (segundo Nunes e Santos (2016), $\rho=1,03$ kg/L), a composição dessa matéria-prima encontra-se sumarizada na Tabela 5, os dados apresentados na mesma estão disponíveis em Ordóñez *et al.*, 2005.

Tabela 5 - Composição do soro de alimentação.

Componente	Fração mássica	Massa (kg)
Água	0,930	766.320
Gordura	0,002	1.648
Proteína	0,008	6.592
Lactose	0,049	40.376
Cinzas	0,011	9.064
TOTAL	1	824.000

Fonte: Adaptado de ORDÓÑEZ *et al.*, 2005.

A Equação (1) representa o balanço de massa global para o evaporador, e o balanço de massa por componente é representada por meio das Equações (2) a (7).

Global:

$$A = B + R_1 \quad (1)$$

Componentes:

Água:

$$x_a^A A = x_a^B B + x_a^{R_1} R_1 \quad (2)$$

Proteína:

$$x_p^A A = x_p^B B + x_p^{R_1} R_1 \quad (3)$$

Gordura:

$$x_g^A A = x_g^B B + x_g^{R_1} R_1 \quad (4)$$

Lactose:

$$x_l^A A = x_l^B B + x_l^{R_1} R_1 \quad (5)$$

Cinzas:

$$x_c^A A = x_c^B B + x_c^{R_1} R_1 \quad (6)$$

Sólidos totais:

$$x_{st}^A A = x_{st}^B B + x_{st}^{R_1} R_1 \quad (7)$$

Os resultados obtidos para o balanço de massa para o evaporador estão apresentados na Tabela 6, em que a corrente B é o soro concentrado e a corrente R₁ é a água evaporada no processo.

Tabela 6 - Resultados do balanço de massa para o evaporador.

Corrente	A		B		R ₁	
	x	m(kg/dia)	x	m(kg/dia)	x	m(kg/dia)
Água	0,930	766.320	0,500	57.680	1,000	708.640
Gordura	0,002	1.648	0,014	1.648	0,000	0,000
Proteínas	0,008	6.592	0,057	6.592	0,000	0,000
Lactose	0,049	40.376	0,350	40.376	0,000	0,000
Cinzas	0,011	9.064	0,079	9.064	0,000	0,000
TOTAL	1,000	824.000	1,000	115.360	1,000	708.640

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2017.

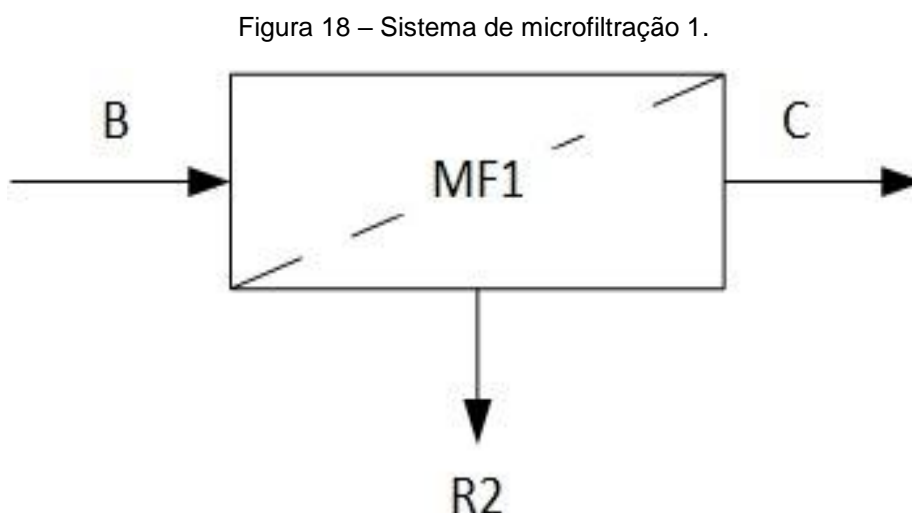
Como pode ser observado na Tabela 6, na planta da MDLGV, o evaporador remove uma quantidade de água suficiente para que a corrente remanescente contenha 50% de sólidos. A evaporação normalmente é capaz de retirar quantidades maiores de água, no entanto, isso pode acarretar na degradação de algumas propriedades do soro do leite, quando este é exposto a temperaturas muito elevadas.

A corrente do condensado (R_1) é redirecionada ao reuso dentro da planta industrial da própria MDLGV, e a corrente B segue para o processo de microfiltração.

No processo de microfiltração além da concentração do soro ocorre a retirada de gordura e, também, de microrganismos (BALDASSO *et al.*, 2011). O tamanho dos poros da membrana de microfiltração permite que parte da gordura e os microrganismos sejam retidos (corrente R_2) e permeiam a proteína, a lactose e demais componentes do soro original (corrente C). Por esse motivo, a microfiltração pode ser utilizada industrialmente como uma alternativa para a pasteurização ou esterilização a frio de alimentos. Esse processo é mais vantajoso quando comparado à centrifugação, pois não quebra as moléculas que fornecem sabor aos alimentos (BALDASSO *et al.*, 2011). Sabe-se, também, que o fator de compressão volumétrica, vcf (Equação (8)), que avalia a razão entre a alimentação e o permeado, para a microfiltração possui valor entre 20 e 25 (MSS, 2017).

$$vcf = \frac{\text{taxa mássica da alimentação}}{\text{taxa mássica de permeado}} \quad (8)$$

Na Figura 18 é apresentado o esquema do equipamento de microfiltração com suas correntes de entrada e saída.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2017.

O balanço de massa global e por componente para a microfiltração estão representados pelas Equações (9) a (15).

Global:

$$B = C + R_2 \quad (9)$$

Componentes:

Água:

$$x_a^B B = x_a^C C + x_a^{R_2} R_2 \quad (10)$$

Proteína:

$$x_p^B B = x_p^C C + x_p^{R_2} R_2 \quad (11)$$

Gordura:

$$x_g^B B = x_g^C C + x_g^{R_2} R_2 \quad (12)$$

Lactose:

$$x_l^B B = x_l^C C + x_l^{R_2} R_2 \quad (13)$$

Cinzas:

$$x_c^B B = x_c^C C + x_c^{R_2} R_2 \quad (14)$$

Sólidos totais:

$$x_{st}^B B = x_{st}^C C + x_{st}^{R_2} R_2 \quad (15)$$

Na Tabela 7 está apresentado o resultado do balanço de massa obtido nesta etapa.

Tabela 7 - Resultados do balanço de massa para o sistema de microfiltração 1.

Corrente	B		C		R ₂	
	x	m(kg/dia)	x	m(kg/dia)	x	m(kg/dia)
Água	0,500	57.680	0,486	53.313	0,757	4.367
Gordura	0,014	1.648	0,002	247	0,243	1.401
Proteínas	0,057	6.592	0,060	6.592	0,000	0,000
Lactose	0,350	40.376	0,368	40.376	0,000	0,000
Cinzas	0,078	9.064	0,083	9.064	0,000	0,000
TOTAL	1,000	115.360	1,000	109.592	1,000	5.768

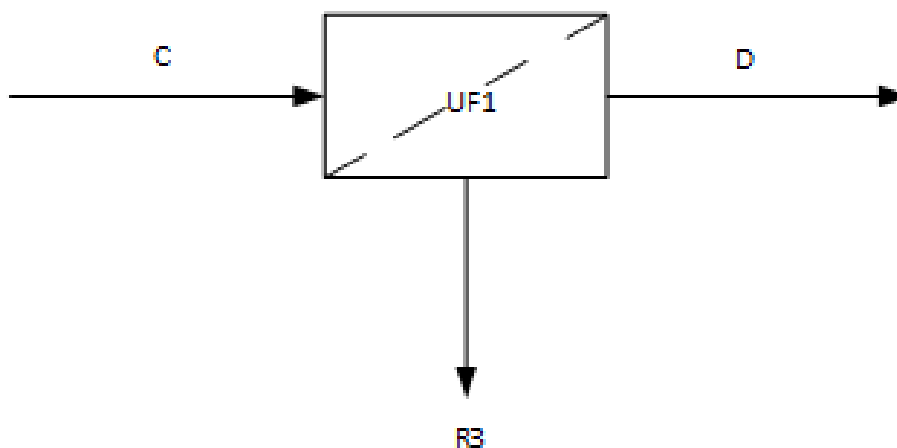
Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2017.

De acordo com a Tabela 7, nesse processo é possível observar uma retirada de aproximadamente 85% da gordura presente na corrente que alimenta o equipamento (corrente B), a qual segue para o sistema de tratamento de efluentes. E a corrente do concentrado (corrente C) segue para a o primeiro sistema de ultrafiltração.

Na etapa de ultrafiltração é removida parte da lactose, das cinzas ainda presentes (BALDASSO *et al.*, 2011), e também uma fração pequena de proteína.

A fração mássica de sólidos totais na corrente D após este processo de separação é conhecida e possui um valor estimado em 0,55 (ORDÓÑEZ *et al.*, 2005). É importante ressaltar que, diferentemente da microfiltração, nesta membrana, o tamanho dos poros é maior que o tamanho das moléculas de lactose, cinzas e água, permitindo que as mesmas permeiem. Sendo assim a corrente de retentado (corrente D) possui alto percentual proteico e, neste caso, não é o resíduo. A esquematização do sistema de ultrafiltração é apresentado na Figura 19.

Figura 19 – Sistema de ultrafiltração 1.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2017.

O balanço de massa global e dos componentes estão representados pelas Equações (16) a (22).

Global:

$$C = D + R_3 \quad (16)$$

Componentes:

Água:

$$x_a^C C = x_a^D D + x_a^{R_3} R_3 \quad (17)$$

Proteína:

$$x_p^C C = x_p^D D + x_p^{R_3} R_3 \quad (18)$$

Gordura:

$$x_g^C C = x_g^D D + x_g^{R_3} R_3 \quad (19)$$

Lactose:

$$x_l^C C = x_l^D D + x_l^{R_3} R_3 \quad (20)$$

Cinzas:

$$x_c^C C = x_c^D D + x_c^{R_3} R_3 \quad (21)$$

Sólidos totais:

$$x_{st}^C C = x_{st}^D D + x_{st}^{R_3} R_3 \quad (22)$$

Os resultados do balanço de massa para a primeira ultrafiltração estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Resultados do balanço de massa para o sistema de ultrafiltração 1.

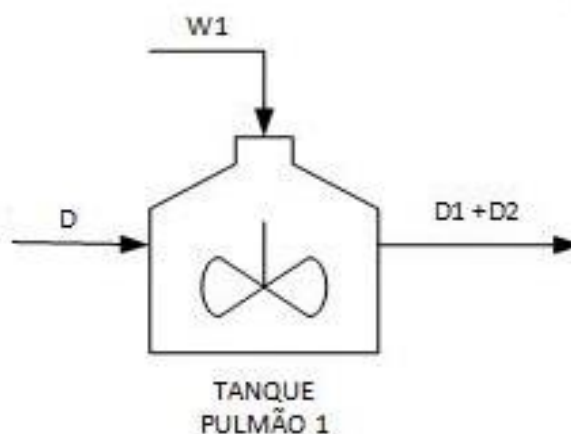
Corrente	C		D		R ₃	
	x	m(kg/dia)	x	m(kg/dia)	x	m(kg/dia)
Água	0,486	53.313	0,450	8.832	0,494	44.481
Gordura	0,002	247	0,013	247	0,000	0,000
Proteínas	0,060	6.592	0,285	5.603	0,011	989
Lactose	0,368	40.376	0,206	4.038	0,404	36.338
Cinzas	0,083	9.064	0,046	906	0,091	8.158
TOTAL	1,000	109.592	1,000	19.626	1,000	89.966

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2017.

Observa-se pela Tabela 8 que este equipamento retira 90% de lactose, 90% das cinzas, 83% de água e, também, 15% de proteína. A corrente de permeado (R₃) segue para o sistema de tratamento de efluentes, e a corrente de concentrado (D) segue para um tanque de mistura.

Nesta etapa, a corrente D é diluída com uma quantidade de água igual à massa da corrente de resíduo anterior, isto é, R₃, para que a eficiência das membranas subsequentes seja melhorada.

Figura 20 - Esquema do tanque de mistura 1.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2017.

A equação do balanço de massa global e por componente estão representadas pelas Equações (23) a (26).

Global:

$$D + W_1 = D_1 + D_2 \quad (23)$$

Componentes:

$$D_1 = (D + W_1) 0,7 \quad (24)$$

$$D_2 = (D + W_1) 0,3 \quad (25)$$

$$W_1 = R_3 \quad (26)$$

Os resultados obtidos no balanço estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Resultados do balanço de massa para o tanque de mistura 1.

Corrente	D		W ₁		D ₁		D ₂	
	x	m (kg/dia)	x	m (kg/dia)	x	m (kg/dia)	x	m (kg/dia)
Água	0,450	8.832	1,000	89.966	0,902	69.158	0,902	29.639
Gordura	0,013	247	0,000	0	0,002	173	0,002	74
Proteínas	0,285	5.603	0,000	0	0,051	3.922	0,051	1.681
Lactose	0,206	4.038	0,000	0	0,037	2.826	0,037	1.211
Cinzas	0,046	906	0,000	0	0,008	634	0,008	272
TOTAL	1,000	19.626	1,000	89.966	1,000	76.714	1,000	32.878

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2017.

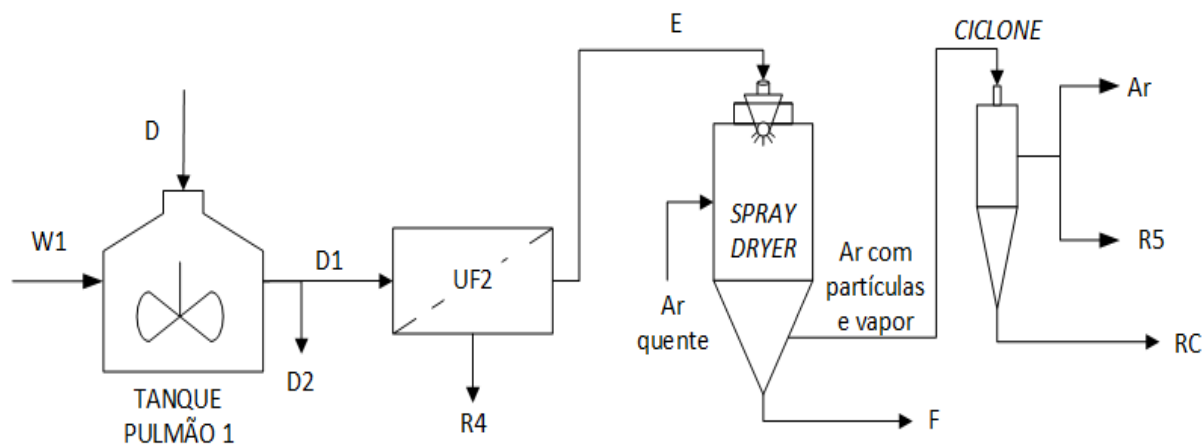
Como apresentado pela Tabela 9, apesar de quantidades de massa diferentes terem sido destinadas para D_1 e D_2 , a fração mássica permaneceu a mesma, pois as correntes apenas dividiram-se em duas linhas.

O misturador serve como tanque pulmão para os processos de produção do WPC e WPI, em que 30% do soro de leite concentrado será enviado primeiramente para a linha de produção do *Whey Protein* Isolado e os 70% restantes, para a linha de produção do *Whey Protein* Concentrado. A esquematização e os balanços de massa estão apresentados a seguir.

9.2 PRODUÇÃO DO *WHEY PROTEIN* CONCENTRADO

Esta etapa é bem semelhante à primeira ultrafiltração e tem como objetivo retirar moléculas de lactose e cinzas que permaneceram na corrente D. O fluxograma dessa etapa de produção encontra-se representado pela Figura 21.

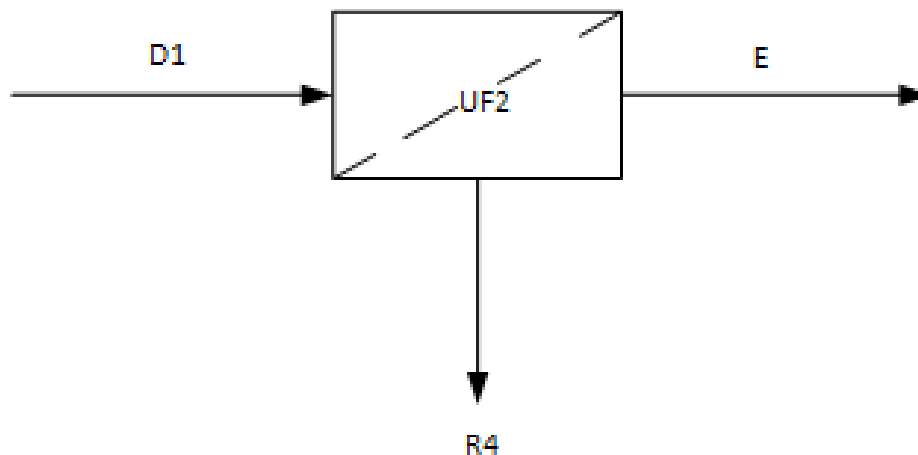
Figura 21 - Fluxograma do processo produtivo do WPC.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2017.

A fração mássica de sólidos no concentrado (corrente E) deve ser próximo de 0,55 (ORDÓÑEZ *et al.*, 2005). Sendo assim, foi possível realizar o cálculo dos balanços de massa para este equipamento, de acordo com o esquema na Figura 22.

Figura 22 - Sistema de ultrafiltração 2.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2017.

O balanço de massa para o sistema de ultrafiltração 2 está representado pelas Equações (27) a (33).

Global:

$$D_1 = E + R_4 \quad (27)$$

Componentes:

Água:

$$x_a^{D_1} D_1 = x_a^E E + x_a^{R_4} R_4 \quad (28)$$

Proteína:

$$x_p^{D_1} D_1 = x_p^E E + x_p^{R_4} R_4 \quad (29)$$

Gordura:

$$x_g^{D_1} D_1 = x_g^E E + x_g^{R_4} R_4 \quad (30)$$

Lactose:

$$x_l^{D_1} D_1 = x_l^E E + x_l^{R_4} R_4 \quad (31)$$

Cinzas:

$$x_c^{D_1} D_1 = x_c^E E + x_c^{R_4} R_4 \quad (32)$$

Sólidos totais:

$$x_{st}^D D = x_{st}^E E + x_{st}^{R_4} R_4 \quad (33)$$

Analogamente à ultrafiltração 1, tem-se novamente os resultados obtidos a partir do balanço de massa para a segunda ultrafiltração, dos quais estão sumarizados na Tabela 10.

Tabela 10 - Resultados do balanço de massa para o sistema de ultrafiltração 2.

Corrente	D1		E		R4	
	x	m(kg/dia)	x	m(kg/dia)	x	m(kg/dia)
Água	0,902	69.158	0,450	3.436	0,951	65.723
Gordura	0,002	173	0,023	173	0,000	0
Proteínas	0,051	3.922	0,437	3.334	0,009	588
Lactose	0,037	2.826	0,074	565	0,033	2.261
Cinzas	0,008	634	0,017	127	0,007	508
TOTAL	1,000	76.714	1,000	7.635	1,000	69.080

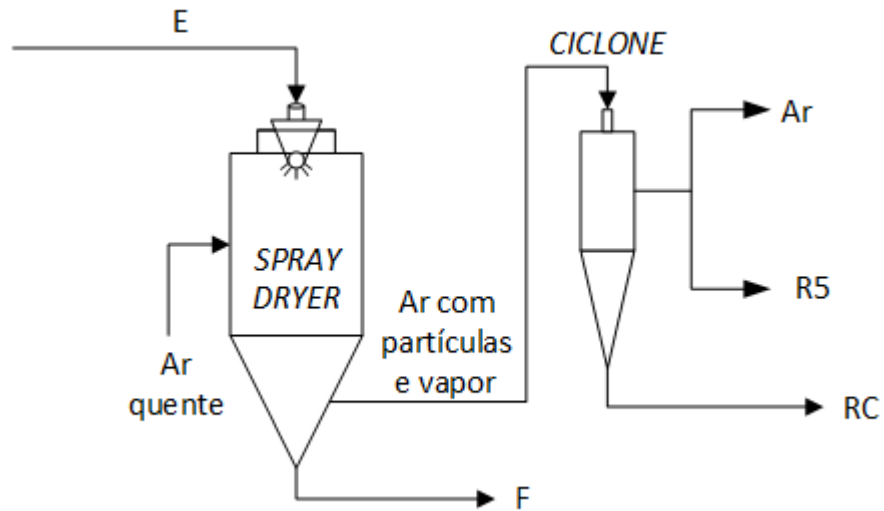
Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2017.

A partir da Tabela 10, é possível notar que esta membrana retira 80% da lactose, 80% das cinzas, 95% de água e, também, 15% de proteínas.

A corrente do permeado (R₄) segue para o sistema de tratamento de efluentes e o concentrado segue para o atomizador.

O *Spray Dryer* ou atomizador é o responsável pela transformação do *Whey Protein* em pó. O seu funcionamento baseia-se na secagem das partículas que são inseridas no equipamento em forma de névoa, retirando apenas água (corrente R₅). Para que o processo seja mais eficiente, a corrente de alimentação (corrente E) deve conter uma quantidade de sólidos igual ou superior a 50%, em massa (MINKS, 2012). Além disso, a porcentagem de água no produto final (corrente F) deve ser em torno de 0,3%, para o *Whey Protein* Concentrado, além de 35 a 80% de proteína (ÇELIK, 2015).

Com todas essas informações foi possível realizar o cálculo dos balanços de massa, apresentado após a esquematização do equipamento (Figura 23).

Figura 23 - Esquema do *Spray Dryer* para o WPC.

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2017.

O balanço global e por componente estão apresentados nas Equações (34) a (40).

Global:

$$E = F + R_5 \quad (34)$$

Componentes:

Água:

$$x_a^E E = x_a^F F + x_a^{R_5} R_5 \quad (35)$$

Proteína:

$$x_p^E E = x_p^F F + x_p^{R_5} R_5 \quad (36)$$

Gordura:

$$x_g^E E = x_g^F F + x_g^{R_5} R_5 \quad (37)$$

Lactose:

$$x_l^E E = x_l^F F + x_l^{R_5} R_5 \quad (38)$$

Cinzas:

$$x_c^E E = x_c^F F + x_c^{R_5} R_5 \quad (39)$$

Sólidos totais:

$$x_{st}^E E = x_{st}^F F + x_{st}^{R_5} R_5 \quad (40)$$

A partir das equações acima, tem-se os valores das correntes disponíveis para o *Whey Protein Concentrado* (WPC), os resultados obtidos estão disponíveis na Tabela 11.

Tabela 11 - Resultados do balanço de massa para o *Spray Dryer 1*.

Corrente	E		F		R ₅	
	x	m(kg/dia)	x	m(kg/dia)	x	m(kg/dia)
Água	0,450	3.436	0,003	15	1,000	3.421
Gordura	0,023	173	0,041	173	0,000	0
Proteínas	0,437	3.334	0,791	3.334	0,000	0
Lactose	0,074	565	0,134	565	0,000	0
Cinzas	0,017	127	0,030	127	0,000	0
TOTAL	1,000	7.635	1,000	4.214	1,000	3.421

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2017.

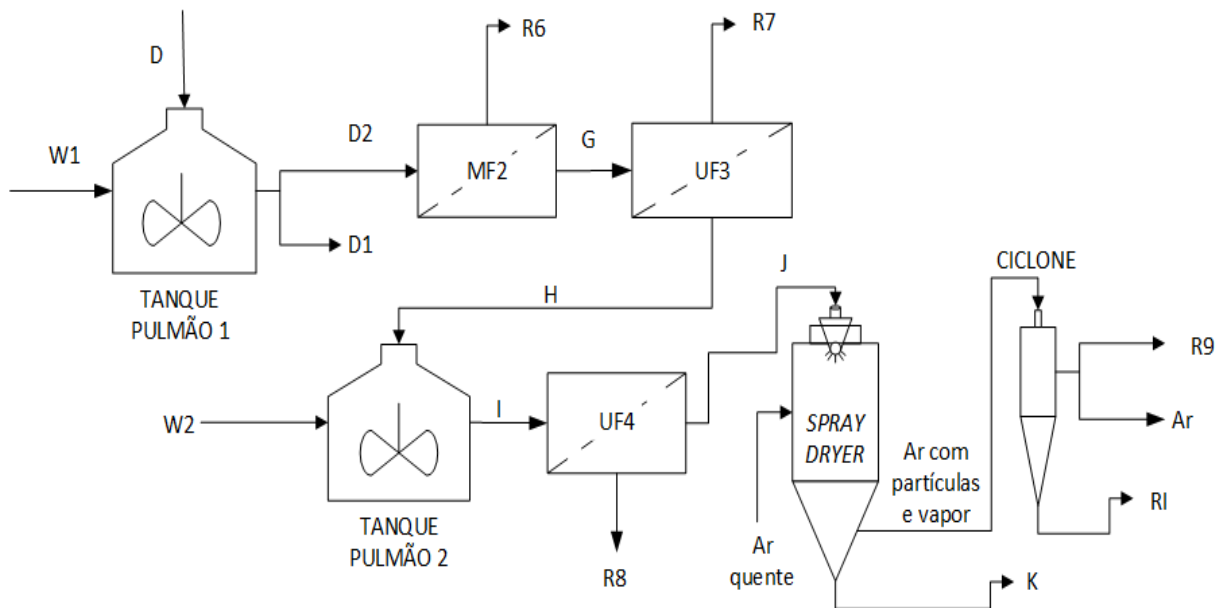
Como observado na Tabela 11, a quantidade de água no produto final é baixa, pois o atomizador é capaz de retirar 99,5% deste componente, implicando no aumento da porcentagem dos demais componentes no *Whey Protein Concentrado*.

O ciclone possui a finalidade de separar particulados finos, que porventura tenham sido carregados com a corrente de ar. A corrente de água é absorvida pelo ar e liberada, após devido tratamento, para a atmosfera e o WPC segue para o tanque de armazenamento. Após isso, o WPC é embalado em forma de sacos de 25 kg e armazenado em galpão seguindo, então, para o consumidor.

9.3 PRODUÇÃO DO *WHEY PROTEIN* ISOLADO

O *Whey Protein* Isolado deve apresentar uma maior quantidade de proteína e menor teor de gordura e lactose que o *Whey Protein Concentrado*. Para a remoção da gordura residual é implementado uma nova etapa de microfiltração. E para retirar a lactose é implementado dois sistemas de ultrafiltração com uma etapa de diluição intermediária. A Figura 24 representa este processo produtivo.

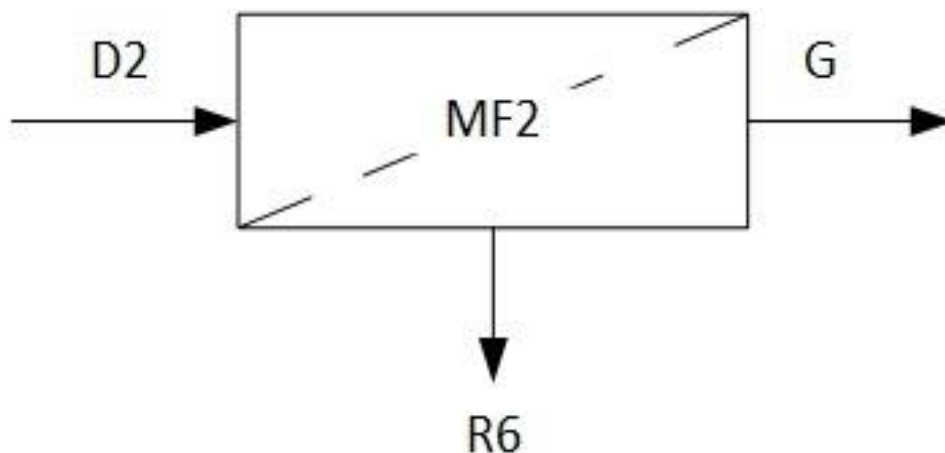
Figura 24 - Fluxograma do processo produtivo do WPI.



Para a execução dos balanços de massa será considerado um valor de 30% da corrente diluída resultante da etapa de concentração do soro do leite.

Semelhante à primeira microfiltração, esta etapa tem como objetivo retirar a gordura residual, uma vez que o produto *Whey Protein* Isolado possui uma porcentagem menor deste componente. Novamente usou-se $v_{cf} = 20$ para o cálculo dos balanços de massa, que está apresentado após a Figura 25.

Figura 25 – Sistema de microfiltração 2.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2017.

O balanço de massa global e por componente estão apresentados nas Equações (41) a (47).

Global:

$$D_2 = G + R_6 \quad (41)$$

Componentes:

Água:

$$x_a^{D_2} D_2 = x_a^G G + x_a^{R_6} R_6 \quad (42)$$

Proteína:

$$x_p^{D_2} D_2 = x_p^G G + x_p^{R_6} R_6 \quad (43)$$

Gordura:

$$x_g^{D_2} D_2 = x_g^G G + x_g^{R_6} R_6 \quad (44)$$

Lactose:

$$x_l^{D_2} D_2 = x_l^G G + x_l^{R_6} R_6 \quad (45)$$

Cinzas:

$$x_c^{D_2} D_2 = x_c^G G + x_c^{R_6} R_6 \quad (46)$$

Sólidos totais:

$$x_{st}^{D_2} D_2 = x_{st}^G G + x_{st}^{R_6} R_6 \quad (47)$$

Os resultados obtidos para o balanço estão expressos na Tabela 12 do presente trabalho, na qual se encontra a seguir.

Tabela 12 - Resultados do balanço de massa para sistema de microfiltração 2.

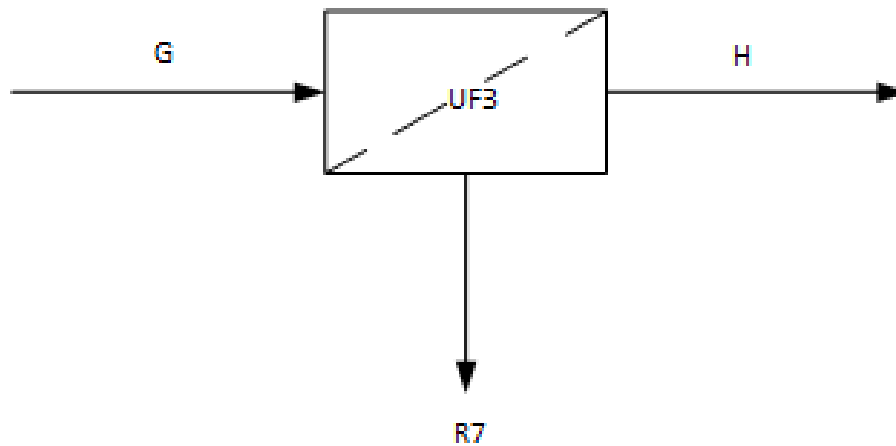
Corrente	D ₂		G		R ₆	
	x	m(kg/dia)	x	m(kg/dia)	x	m(kg/dia)
Água	0,902	29.639	0,898	28.058	0,962	1.581
Gordura	0,002	74	3,60E-4	11	0,038	63
Proteínas	0,051	1.681	0,054	1.681	0,000	0
Lactose	0,037	1.211	0,039	1.211	0,000	0
Cinzas	0,008	272	0,009	272	0,000	0
TOTAL	1,000	32.878	1,000	31.234	1,000	1.644

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2017.

Analogamente à primeira microfiltração, 85% da gordura é retirada. A corrente de retentado (R₆) segue para o sistema de tratamento de efluentes e a corrente de permeado (G) segue para o sistema de ultrafiltração.

O objetivo da terceira ultrafiltração, assim como o da etapa posterior é retirar lactose e cinzas que ainda permaneceram no produto. Neste caso, não é necessário realizar uma diluição prévia, pois a corrente que sai da microfiltração possui uma porcentagem pequena de sólidos (cerca de 20%). Os balanços foram feitos, sabendo-se que a fração mássica de sólidos totais que sai na corrente H é igual a 0,55 (ORDÓÑEZ *et al.*, 2005) e estão apresentados após o esquema do equipamento (Figura 26).

Figura 26 - Esquema do sistema de ultrafiltração 3.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2017.

O balanço de massa global e por componente estão apresentados nas Equações (48) a (54).

Global:

$$G = H + R_7 \quad (48)$$

Componentes:

Água:

$$x_a^G G = x_a^H H + x_a^{R_7} R_7 \quad (49)$$

Proteína:

$$x_p^G G = x_p^H H + x_p^{R_7} R_7 \quad (50)$$

Gordura:

$$x_g^G G = x_g^H H + x_g^{R_7} R_7 \quad (51)$$

Lactose:

$$x_l^G G = x_l^H H + x_l^{R_7} R_7 \quad (52)$$

Cinzas:

$$x_c^G G = x_c^H H + x_c^{R_7} R_7 \quad (53)$$

Sólidos totais:

$$x_{st}^G G = x_{st}^H H + x_{st}^{R_7} R_7 \quad (54)$$

Similar aos balanços já realizados para os equipamentos de ultrafiltração, tem-se disponíveis na Tabela 13, os resultados para o balanço de massa na ultrafiltração de número 3 para o processo produtivo do WPI.

Tabela 13 - Resultados do balanço de massa para o sistema de ultrafiltração 3.

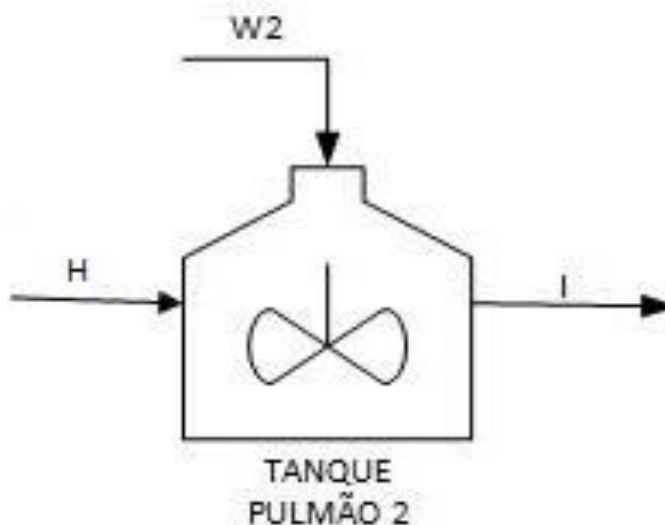
Corrente	G		H		R ₇	
	x	m(kg/dia)	x	m(kg/dia)	x	m(kg/dia)
Água	0,898	28.058	0,450	1.421	0,949	26.638
Gordura	3,6E-4	11	0,004	11	0,000	0
Proteínas	0,054	1.681	0,453	1.429	0,009	252
Lactose	0,039	1.211	0,077	242	0,035	969
Cinzas	0,009	272	0,017	54	0,008	218
TOTAL	1,000	31.234	1,000	3.157	1,000	28.076

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2017.

Semelhante à segunda ultrafiltração realizada, esta membrana remove 80% de lactose, 80% das cinzas, 95% de água e 15% de proteínas.

Pelo fato da corrente que sai da ultrafiltração 3 possuir uma porcentagem de sólidos totais de aproximadamente 55%, nesta etapa é necessário realizar a diluição da corrente antes de entrar na membrana, para que a eficiência da mesma seja melhorada. É possível observar essa etapa do processo com auxílio da Figura 27.

Figura 27 - Esquema do tanque de mistura 2.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2017.

O balanço de massa está apresentado pelas Equações (55) e (56).

$$H + W_2 = I \quad (55)$$

Em que,

$$W_2 = R_7 \quad (56)$$

No tanque de mistura 2, após realizar os balanços de massa para o equipamento, foi possível obter os resultados contidos na Tabela 14.

Tabela 14 - Resultados do balanço de massa para o tanque de mistura 2.

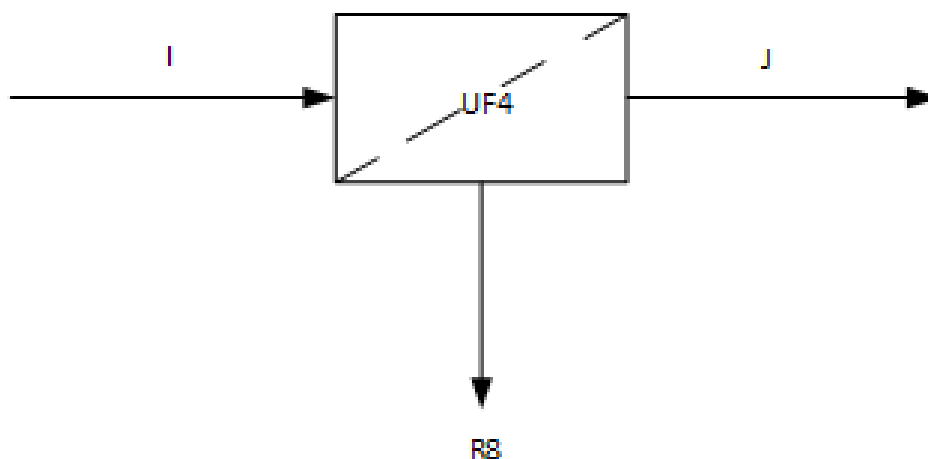
Corrente	H		W ₂		I	
	x	m(kg/dia)	x	m(kg/dia)	x	m(kg/dia)
Água	0,450	1.421	1,000	28.076	0,944	29.497
Gordura	0,004	11	0,000	0	3,6E-4	11
Proteínas	0,453	1.429	0,000	0	0,046	1.429
Lactose	0,077	242	0,000	0	0,008	242
Cinzas	0,017	54	0,000	0	0,002	54
TOTAL	1,000	3.157	1,000	28.076	1,000	31.234

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2017.

Pela Tabela 14, é possível notar que a quantidade de água que entra no tanque é numericamente igual à quantidade de resíduo que sai na etapa anterior, ou seja, R₇.

Como explicado no item anterior, o objetivo dessa ultrafiltração é retirar a lactose e cinzas residuais. Os balanços de massa estão apresentados após a Figura 28 e, da mesma forma que todas as membranas de ultrafiltração desta planta, possui a quantidade de sólidos totais no produto de 55%, aproximadamente.

Figura 28 - Esquema de membrana de ultrafiltração 4.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2017.

O balanço de massa global e por componente estão apresentados nas Equações (57) a (63).

Global:

$$I = J + R_8 \quad (57)$$

Componentes:

Água:

$$x_a^I I = x_a^J J + x_a^{R_8} R_8 \quad (58)$$

Proteína:

$$x_p^I I = x_p^J J + x_p^{R_8} R_8 \quad (59)$$

Gordura:

$$x_g^I I = x_g^J J + x_g^{R_8} R_8 \quad (60)$$

Lactose:

$$x_l^I I = x_l^J J + x_l^{R_8} R_8 \quad (61)$$

Cinzas:

$$x_c^I I = x_c^J J + x_c^{R_8} R_8 \quad (62)$$

Sólidos totais:

$$x_{st}^I I = x_{st}^J J + x_{st}^{R_8} R_8 \quad (63)$$

Referente a ultrafiltração de número 4, tem-se os seguintes resultados obtidos a partir do balanço de massa realizado no equipamento em questão, resultados estes disponíveis na Tabela 15.

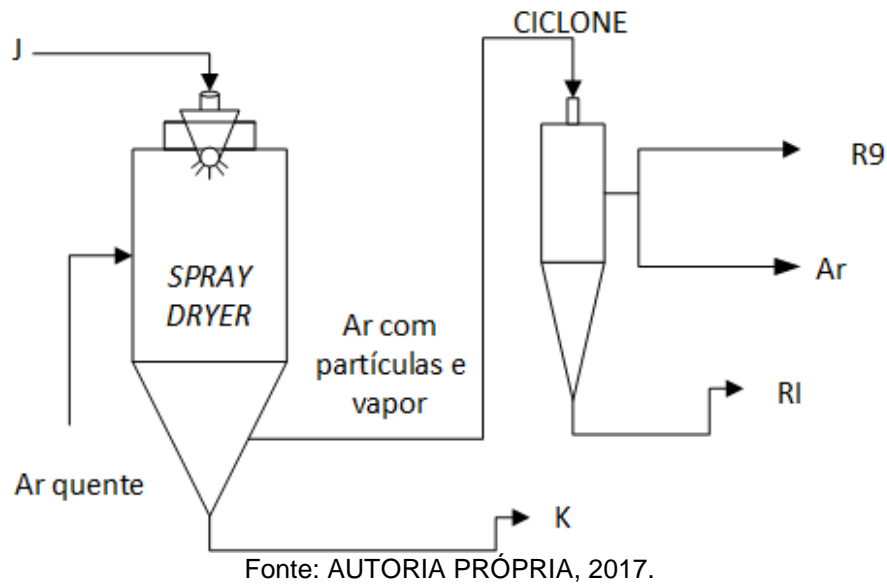
Tabela 15 - Resultados do balanço de massa para o sistema de ultrafiltração 4.

Corrente	I		J		R ₈	
	x	m(kg/dia)	x	m(kg/dia)	x	m(kg/dia)
Água	0,944	29.497	0,450	1.051	0,984	28.446
Gordura	3,6E-4	11	0,005	11	0,000	0
Proteínas	0,046	1.429	0,520	1.214	0,007	214
Lactose	0,008	242	0,021	48	0,007	194
Cinzas	0,002	54	0,005	11	0,002	44
TOTAL	1,000	31.234	1,000	2.336	1,000	28.897

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2017.

Como observado na Tabela 15, esta membrana de ultrafiltração retira 80% de lactose, 80% das cinzas, 95% da água e 15% de proteínas.

Esta etapa é análoga à terceira ultrafiltração, diferenciando-se somente pelas porcentagens que devem ser atingidas no produto final. Neste caso, o *Whey Protein* Isolado deve possuir em torno de 4% de água e 90% ou mais de proteína. Os balanços de massa estão apresentados após o esquema do equipamento (Figura 29).

Figura 29 - Esquema do *Spray Dryer* para o WPI.

O balanço de massa global e por componente estão apresentados nas Equações (64) a (70).

Global:

$$J = K + R_9 \quad (64)$$

Componentes:

Água:

$$x_a^J J = x_a^K K + x_a^{R_9} R_9 \quad (65)$$

Proteína:

$$x_p^J J = x_p^K K + x_p^{R_9} R_9 \quad (66)$$

Gordura:

$$x_g^J J = x_g^K K + x_g^{R_9} R_9 \quad (67)$$

Lactose:

$$x_l^J J = x_l^K K + x_l^{R_9} R_9 \quad (68)$$

Cinzas:

$$x_c^J J = x_c^K K + x_c^{R_9} R_9 \quad (69)$$

Sólidos totais:

$$x_{st}^J J = x_{st}^K K + x_{st}^{R_9} R_9 \quad (70)$$

Por fim, tem-se os resultados para o balanço de massa no atomizador cujo produto final calculado foi o WPI, os resultados estão disponíveis na Tabela 16, disponível a seguir no presente trabalho.

Tabela 16 - Resultados do balanço de massa para o *Spray Dryer 2*.

Corrente	J		K		R ₉	
	x	m(kg/dia)	x	m(kg/dia)	x	m(kg/dia)
Água	0,450	1.051	0,043	58	1,000	994
Gordura	0,005	11	0,008	11	0,000	0
Proteínas	0,520	1.214	0,905	1.214	0,000	0
Lactose	0,021	48	0,036	48	0,000	0
Cinzas	0,005	11	0,008	11	0,000	0
TOTAL	1,000	2.336	1,000	1.343	1,000	994

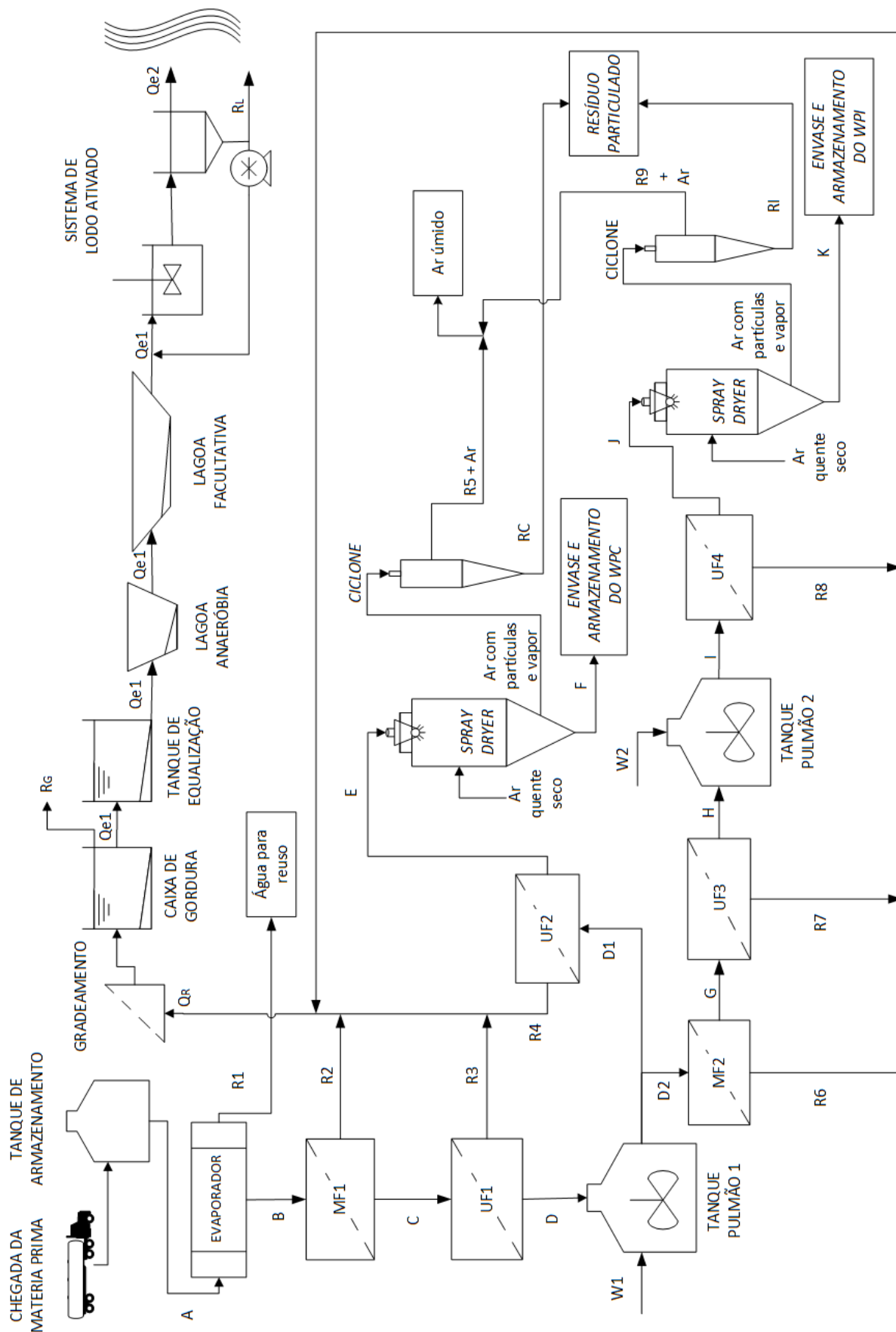
Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2017.

A corrente R₉ é absorvida pelo ar conferindo ao mesmo 55% de umidade, sendo lançado para a atmosfera a 25 °C e o produto segue para um tanque de armazenamento para posteriormente ser embalado em sacos de 25 kg para ser comercializado.

Assim como no processo de atomização para o WPC, a quantidade de água removida para o WPI também é elevada, como apresentado na Tabela 16. Este produto, no entanto, diferencia-se principalmente pela porcentagem de proteína presente.

O fluxograma completo do processo produtivo de *Whey Protein* desenvolvido pela MDLGV encontra-se disponível na Figura 30.

Figura 30 - Fluxograma completo do processo produtivo da MDLGV.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2017.

10 EQUIPAMENTOS

A MDLGV dispõe de uma planta fabril composta por 8 setores, sendo esses: recebimento de matéria-prima; pré-processamento; processamento de *Whey Protein* Concentrado; processamento de *Whey Protein* Isolado; acabamento do produto; utilidades; administrativo; e, garantia da qualidade. Esses setores contam com um moderno e tecnológico conjunto de equipamentos, que visam atender as especificações dos produtos fabricados pela empresa de acordo com o balanço material apresentado anteriormente, além de garantir as características desejadas em todas as etapas do processo produtivo.

Os principais equipamentos, tanto para o processo produtivo quanto para as utilidades, adquiridos pela MDLGV, são: tanques de armazenamento; evaporador; torre de filtração; filtros (sistemas de filtração por membranas); tanques pulmão; sistema de secagem por atomização; bombas e compressores; caldeira; e, empacotadora. Nos tópicos seguintes encontram-se as informações a respeito de suas especificações, fornecedores, custo e demais informações pertinentes ao processo produtivo de proteína concentrada e isolada do soro do leite.

10.1 TANQUES DE ARMAZENAMENTO

O principal objetivo do sistema de armazenamento da MDLGV é acondicionar a matéria-prima por um período de tempo compatível com sua validade (inferior a 48 horas), sem prejudicar a qualidade da mesma. Também serve principalmente como um reservatório, com a finalidade de armazenar essa matéria-prima até que seja liberada para etapas posteriores do processo produtivo. O sistema de recepção e armazenamento dispõe de um conjunto de 8 tanques com capacidade unitária de 100.000 litros, o que garante o armazenamento da quantidade suficiente para operação máxima da indústria (800.000 L/dia), que pode ser observado no balanço material da indústria. As especificações unitárias do produto, bem como o fornecedor, custo e demais informações pertinentes ao equipamento estão dispostas no Quadro 1.

Quadro 1 - Especificações do tanque de armazenamento (unitário).

Nome do equipamento	Tanque de armazenamento
Marca/Modelo	Hubei Yideli Light / MST-100
Tensão (V)	220/380
Capacidade máxima (L)	100.000
Aplicação	Bebidas, líquido, manteiga, licor, álcool, vinagre, química
Potência (kW)	0,75
Utilização final	Aplicados a líquidos da área de alimentos
Espessura (mm)	3,0
Material	Aço inoxidável SS316
Local de fabricação	Hubei, China
Pressão máxima de operação (bar)	10
Certificação	ISO 9001
Peso (kg)	5.000
Custo total, incluindo frete e instalação (US\$)	75.000,00

Fonte: YI, 2018.

O conjunto de armazenamento adquirido pela MDLGV conta com um sistema CIP (*Clean In Place*) integrado (bomba sanitária, tampa de respiração contra insetos e demais componentes), responsável por toda a limpeza do equipamento, bem como medidor de pressão, válvula de segurança, serpentina de refrigeração e camisa de isolamento térmico, termômetro, escada, medidor de nível do líquido e sistema de agitação. Este sistema pode ser observado na Figura 31.

Figura 31 - Sistema de armazenamento de soro do leite.



Fonte: YI, 2018.

O custo total de um conjunto com 8 tanques, com base no Quadro 1, é de aproximadamente US\$600.000,00.

10.2 EVAPORADOR

O conjunto de evaporação é responsável por concentrar a solução de alimentação de soro do leite de 7% para 50% em termos do teor de sólidos totais. Esse bloco de equipamentos adquiridos consiste em um sistema de evaporação completo, cuja capacidade e condições de operação se enquadram nas exigências de projeto para o processamento do soro do leite da MDLGV. As especificações técnicas estão apresentadas no Quadro 2. Subsequentemente, na Figura 32, encontra-se um exemplar do conjunto que foi adquirido.

Quadro 2 - Especificações técnicas evaporador de três efeitos adquirido pela MDLGV.

Nome do equipamento	Evaporador de múltiplo efeito
Tipo do evaporador	Película descendente
Marca	Taikang
Tensão (V)	220/380
Capacidade máxima (kg/h)	80.000
Aplicação	Industria alimentícia, farmacêutica, bebidas, etc.
Utilização final	Aplicados a líquidos da área de alimentos
Comprimento (mm)	11.500
Largura (mm)	1.600
Altura (mm)	5.800
Material	Aço inoxidável 316L
Local de fabricação	Zhejiang, China
Certificação	CE, SGS, ISO 9001
Peso (kg)	7.600
Fonte de energia	Vapor
Fonte de energia auxiliar	Energia elétrica
Economia de vapor	3,5 – 4,0
Custo total, incluindo frete e instalação (US\$)	1.050.000,00

Fonte: TAIKANG, 2018.

Figura 32 - Evaporador de múltiplo efeito adquirido pela MDLGV.



Fonte: TAIKANG, 2018.

A estrutura completa do conjunto de evaporação compreende principalmente a câmara de aquecimento, câmara de separação, condensador, bomba de vácuo, bomba de circulação interna, dispositivo de remoção de espuma, sistema de limpeza automático (CIP), gabinete elétrico, plataforma e todos os tubos, medidores e válvulas.

As aplicações de evaporadores de película descendente de efeito triplo se enquadram principalmente na evaporação contínua e concentração sob baixa temperatura, sendo aplicados nas indústrias de laticínios, glicose, amido, xilose farmacêutica, reciclagem de resíduos líquidos e bebidas. Também é especialmente

adequado em processos com sensibilidade ao calor e com controle da formação de espumas, como o soro do leite.

O equipamento tem características de alta eficiência na transferência de calor em um curto período de exposição da corrente de processo. O sistema de evaporação adquirido pela empresa tem um custo aproximado de US\$1.050.000,00.

10.3 TORRE DE FILTRAÇÃO

A torre de filtração é um equipamento que será instalado com o propósito de tratar águas que eventualmente possam sair do evaporador carregando resquícios de soro do leite.

O vapor proveniente da evaporação passa por um trocador de calor para condensar e, posteriormente, segue para um tanque pulmão. Em seguida, a água é direcionada para outras etapas do processo, como a própria condensação do vapor e para pré-diluição em algumas membranas. Por isso, é de extrema importância que a água seja previamente purificada.

Escolheu-se, então, um filtro de carvão ativado (Figura 33), que é um equipamento capaz de remover matéria orgânica, além de outros agentes que alteram odor, sabor e coloração, com capacidade de filtração igual a $30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Demais especificações estão apresentadas no Quadro 3 abaixo.

Figura 33 - Imagem ilustrativa do filtro de carvão ativado adquirido pela MDLGV.



Fonte: LINTER, 2018.

Quadro 3 - Especificações da torre de filtração.

Nome do equipamento	Torre de filtração
Marca	Linter
Elemento filtrante	Carvão ativado
Vazão (L/h)	2.000-60.000
Faixa de Temperatura (°C)	5-50
Utilização final	Tratamento de águas industriais para recirculação no processo
Faixa de Pressão (kgf/cm ²)	2-4
Revestimento	Aço inoxidável
Local de fabricação	São Paulo, SP, Brasil
Capacidade de filtração (m ³ /m ² /h)	8-12
Custo total, incluindo frete e instalação (R\$)	37.000,00

Fonte: LINTER, 2018.

10.4 FILTROS – SISTEMA DE FILTRAÇÃO POR MEMBRANAS

Como ressalta a empresa Tetra Pak (2018), a filtração por membranas é uma tecnologia estabelecida e comprovada. Praticamente todos os processos comuns para lácteos utilizam essa técnica direta ou indiretamente, cuja implementação pode ser conduzida por uma variedade de objetivos, como por exemplo, para aumentar o rendimento, aprimorar a qualidade do produto, melhorar as condições de higiene, aumentar a flexibilidade da produção e reduzir o impacto ambiental da operação.

As membranas consistem em uma ferramenta para realizar a separação entre duas fases (retentado e permeado), funcionando como uma espécie de barreira seletiva, pois permitem a permeação preferencial de um ou mais componentes da mistura, que deve ser alimentada tangencialmente. Esse modo de separação geralmente é mais eficiente quando comparado às técnicas convencionais, como a destilação, extração, entre outras. Além disso, as membranas são muito utilizadas em indústrias alimentícias e farmacêuticas, pois são capazes de realizar a separação sem que os constituintes sejam degradados ou quimicamente alterados (AZEVEDO, 2015).

O processo produtivo da MDLGV conta com técnicas de separação por membranas de micro e ultrafiltração. A primeira possui poros de 0,1 a 10 µm e é capaz de reter, dessa forma, as moléculas de gordura presentes no soro do leite, separando-as do fluido de interesse que, neste caso, é o permeado. Em contrapartida, no segundo tipo de membrana o fluido desejado é o retentado, uma vez que nesta

circunstância os poros são capazes de reter as moléculas de proteína, pois possuem diâmetro de 1 a 10 nm.

Para alguns produtos, a filtração por membranas é simplesmente a única solução de processamento viável, como é o caso da MDLGV, que utiliza de sistema de microfiltração e ultrafiltração, dos quais se tem os modelos utilizados disponíveis nas Figuras 34 e 35 abaixo, além da representação da membrana a ser utilizada disposta na Figura 36. É válido ressaltar que as membranas adquiridas visualmente são muito parecidas, ambas são em formato espiral, no qual se adequa melhor ao processo da MDLGV e se mostram com tecnologias mais aprimoradas no mercado atual, além de ter um menor consumo de energia quando comparada a outros formatos de membranas (valores disponíveis na Tabela 20 do presente trabalho). O que difere uma membrana de micro ou ultrafiltração é, basicamente, o diâmetro dos poros.

Figura 34 - Sistema de microfiltração adquirido pela MDLGV.



Fonte: WGM, 2018.

Figura 35 - Sistema de ultrafiltração adquirido pela MDLGV.



Fonte: WGM, 2018.

Para dimensionar os dois sistemas de microfiltração e os quatro de ultrafiltração empregados no processamento, utilizou-se o fluxo volumétrico do processo produtivo como um dos parâmetros a serem contabilizados, representado em litros por hora de processamento (L/h), os quais podem ser observados no balanço material contido no presente trabalho. A Tabela 17 dispõe os valores para todos os processos de filtração por membranas contidos na MDLGV.

Tabela 17 - Fluxo volumétrico, em litros por hora, para cada sistema de filtração da MDLGV.

Sistema de filtração por membranas	Fluxo volumétrico de soro de leite (L/h)
Microfiltração 1	4.666,67
Microfiltração 2	1.330,01
Ultrafiltração 1	4.433,33
Ultrafiltração 2	3.103,32
Ultrafiltração 3	1.263,51
Ultrafiltração 4	1.263,51

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2018.

É válido ressaltar, que os fluxos foram determinados com base em 24 horas de operação diária, e utilizando a massa específica determinada por Nunes e Santos (2016), que corresponde à 1,03 kg/L.

Segundo Mierzwa (2016), a área necessária para realizar a filtração (área da membrana), com base no fluxo volumétrico do processo pode ser determinada utilizando a Equação (71).

$$A_M = Q_P / q_M \quad (71)$$

Em que Q_P corresponde a vazão de permeado ou purificado (L/h) e q_M a taxa de produção da membrana (L/m².h). O número de módulos (quantidade de membranas acopladas em série) pode ser estimado com base na Equação (72), também disponível em Mierzwa (2016).

$$N_M = A_M / a_M \quad (72)$$

Em que A_M é a área da membrana determinada pela Equação (71) dada em m² e a_M a área de membrana por módulo (m²), sendo esse valor dado pelo fabricante.

Com base na Equações (71) e (72), é possível estimar a área efetiva composta por membranas que o sistema de filtração deve apresentar, com base nas especificações de fluxos volumétricos e composições esperadas, estando essas informações contidas no balanço material do presente trabalho. A taxa de produção da membrana (q_M) é uma medida determinada experimentalmente. Mierzwa (2016) apresenta uma estimativa desse parâmetro para cada sistema de filtração no qual faz-se uso de membranas, disponível na Tabela 18.

Tabela 18 - Valores típicos da taxa de produção da membrana.

Sistema de filtração	Taxa de produção da membrana (L/m ² .h)
Osmose Reversa	15 - 25
Nanofiltração	20 - 30
Ultrafiltração	25 - 50
Microfiltração	50 - 70

Fonte: Adaptado de MIERZWA, 2016.

Entretanto, Mierzwa (2016) apresenta as estimativas com base em fluxo de água, e como o valor da massa específica do soro do leite se aproxima muito da água, para fins de cálculo utilizou-se os mesmos parâmetros.

No dimensionamento dos equipamentos foram empregados os valores mínimos para as taxas de produção da membrana, sendo assim, para a microfiltração utilizou-se 50 L/m².h e para ultrafiltração 25 L/m².h. Diante desses valores foi possível estimar, tanto a área necessária para realizar a filtração quanto o número de módulos em cada sistema da MDLGV, sendo que o último foi feito com base na informação fornecida pelo fabricante, onde, para a membrana de microfiltração, utilizou-se $a_M = 24,2 \text{ m}^2$ (KOCH, 2017) e para ultrafiltração $a_M = 24,6 \text{ m}^2$ (KOCH^a, 2018), em que esses valores representam a área de membrana por módulo. Os resultados do dimensionamento estão sumarizados na Tabela 19.

Tabela 19 - Estimativa da área de membrana necessária para a filtração e número de módulos requeridos pelo sistema.

Sistema de filtração	Área de membrana necessária (m²)	Número de módulos (quantidade de membranas)
Microfiltração 1	93,33	4
Microfiltração 2	26,60	1
Ultrafiltração 1	177,33	7
Ultrafiltração 2	124,13	5
Ultrafiltração 3	50,54	2
Ultrafiltração 4	50,54	2

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2018.

As escolhas das membranas foram realizadas com base na faixa de temperatura que as mesmas pudessem operar, bem como pH e pressão de operação, além de optar por materiais e sistemas com tecnologia suficiente para dispor de métodos que favorecessem a qualidade dos produtos da marca MDLGV.

As especificações técnicas de ambos os sistemas juntamente com as respectivas membranas, bem como custos de aquisição, instalação e transporte estão disponíveis nos Quadros 4 e 5, para o sistema de microfiltração e ultrafiltração, respectivamente. Para calcular os valores referentes ao custo fez-se uso de uma estimativa realizada por Rousseau (1987), na qual dispõe de um custo aproximado para um sistema de ultrafiltração completo, incluindo bombas, central CIP, válvulas e todos os instrumentos pertinentes ao processo junto a um sistema de aço inoxidável 304 SS. O autor ainda expõe uma estimativa de densidade de energia que o sistema

requer para operação, as informações aqui mencionadas estão dispostas na Tabela 20.

Tabela 20 - Relação entre tipo de membrana, custo por m² e energia requerida pelo sistema de filtração.

Tipo de membrana	US\$/m²	Densidade de energia requerida (W/m²)
Tubular	900-2.000	300-120
Espiral	600-1.500	120-25
Capilar	600-1.600	280-100
Placa	800-1.600	280-180

Fonte: Adaptado de ROUSSEAU, 1987.

Para fins de cálculos, utilizou-se as estimativas do sistema de ultrafiltração para aproximação do custo do conjunto de microfiltração, bem como a demanda de energia desse sistema. Como já mencionado anteriormente, o tipo de membrana utilizado pela MDLGV é o espiral, com base principalmente no consumo de energia ser mais baixo e apresentar uma tecnologia significativamente aceita na indústria atual.

No entanto, os valores monetários apresentados por Rousseau (1987) foram estimados no ano de 1986. Para se ter um preço mais próximo da atualidade, utilizou-se o valor limite superior para o tipo espiral (1.500 US\$/m²) realizando um reajuste para o ano de 2018, tem-se um valor de aproximadamente 3.750 US\$/m². Contabilizando todas as áreas necessárias para o processo (dois sistemas de microfiltração e quatro sistemas de ultrafiltração), necessita-se de aproximadamente 522,5 m² de membranas, totalizando cerca de US\$ 1.959.262,50 para os seis sistemas de filtração por membranas contidos na MDLGV. Para estimar a potência total requerida utilizou-se o limite superior de energia estimado por Rousseau (1987) de 120 W/m², obtendo-se um valor de aproximadamente 62,7 kW de consumo quando os seis sistemas estiverem em operação.

Quadro 4 - Especificações técnicas para o sistema de microfiltração utilizado na MDLGV.

Nome do equipamento	Sistema de microfiltração
Marca / Modelo da membrana	Dairy-Pro / 8038 MF-0.1 - 45
Material da membrana	Polietersulfona
Material do equipamento	Inox 304 SS
Formato	Espiral
Tensão (V)	220/380
Potência	10,5 kW
Pressão de operação (kgf/cm ²)	15 - 30
Temperatura de operação (°C)	50
Temperatura de limpeza (CIP) (°C)	40 - 50
pH permitido	2 - 10
pH permitido (CIP)	1,8 - 11
Queda de pressão por membrana (kgf/cm ²)	5 - 20
Aplicações	Concentração de soro do leite, concentração de caseína, clarificação de salmoura de queijo, etc.
Local de fabricação	Massachusetts, Estados Unidos da América
Custo total, incluindo frete e instalação (US\$)	326.543,75

Fonte: KOCH, 2017.

Quadro 5 - Especificações técnicas para o sistema de ultrafiltração utilizado na MDLGV.

Nome do equipamento	Sistema de ultrafiltração
Marca / Modelo da membrana	Dairy-Pro / HpHT 8038 UF 5K/10K - 45
Material da membrana	Polietersulfona
Material do equipamento	Inox 304 SS
Formato	Espiral
Tensão (V)	220/380
Potência	10,5 kW
Temperatura de operação (°C)	5 - 60
Temperatura de limpeza (CIP) (°C)	40 - 85
pH permitido	2 - 10
pH permitido (CIP)	1,8 - 12,5
Queda de pressão por membrana (kgf/cm ²)	5 - 20
Aplicações	Concentração de soro do leite, concentração de caseína, clarificação de salmoura de queijo, etc.
Local de fabricação	Massachusetts, Estados Unidos da América
Custo total, incluindo frete e instalação (US\$)	326.543,75

Fonte: KOCH^a, 2018.

Figura 36 - Imagem ilustrativa do modelo de membrana utilizada pela MDLGV.



Fonte: KOCH^b, 2018.

10.5 TANQUES PULMÃO

Com a finalidade de atender todas as etapas de produção, a MDLGV apresenta um conjunto de tanques pulmão a cada intervalo de processo, onde tem-se dois destes trabalhando em paralelo para suprir o acondicionamento dos produtos gerados até a etapa posterior. Desta forma, tem-se dois tanques pulmão a cada intervalo, sendo estes: após a evaporação, após a torre de filtração, antes da segunda ultrafiltração (para o *Whey Protein Concentrado*) ou microfiltração (para o *Whey Protein Isolado*), após a diafiltração para a produção do concentrado e também para a produção do isolado, além de conter ainda entre a ultrafiltração 3 e 4 (para produção do *Whey Protein Isolado*), seguindo a logística estudada pela equipe de planejamento e controle da produção da empresa, totalizando 12 tanques pulmão. A logística implementada é de que enquanto um tanque encontra-se esvaziando sua carga o outro permanece em abastecimento. Cada tanque adquirido apresenta uma capacidade máxima de 2.000 litros, camisa dupla de aquecimento ou arrefecimento elétrico ou a vapor, sistema de vácuo, sistema de mistura, escada e plataforma. As demais informações como especificações, fornecedores e custos estão dispostas no Quadro 6, que segue no presente trabalho.

Quadro 6 - Especificações de cada tanque pulmão.

Nome do equipamento	Tanque de mistura (pulmão)
Marca / Modelo	Hubei Yideli Light / MT-2000
Tensão (V)	220/380
Capacidade máxima (L)	2.000
Aplicação	Linha de produção
Potência (kW)	6,7
Utilização final	Aplicados a líquidos da área de alimentos
Espessura (mm)	8,0
Material	Aço inoxidável SS304
Local de fabricação	Hubei, China
Capacidade de refrigeração (BTU)	15.820
Certificação	ISO 9001
Peso (kg)	460
Custo total, incluindo frete e instalação (US\$)	8.500,00

Fonte: YI, 2018.

Cada conjunto de tanques têm anexado ao seu sistema uma central CIP completa, responsável por toda a limpeza interna do equipamento. Possui também um sistema moderno de resfriamento, que mantém o produto fresco e previne o crescimento bacteriano, capaz de atender todas as especificações dos produtos dispostos para armazenamento de curto tempo, utilizado somente em intervalos de processos como já mencionado anteriormente. Na Figura 37 pode-se observar uma imagem ilustrativa do modelo de tanque pulmão adquirido pela MDLGV.

Figura 37 - Imagem ilustrativa da parte externa dos tanques pulmão adquiridos pela MDLGV.



Fonte: YI, 2018.

A Figura 38 expõe o interior desses tanques pulmão, na qual pode ser observada as pás de agitação, que mantêm o produto sempre homogêneo e condizente com os padrões esperados para as etapas posteriores de processamento.

Figura 38 - Imagem ilustrativa do interior dos tanques pulmão adquiridos pela MDLGV.



Fonte: YI, 2018.

O conjunto de doze tanques pulmão adquiridos pela MDLGV terão um custo estimado de aproximadamente US\$ 102.000,00.

10.6 SISTEMA DE SECAGEM POR ATOMIZAÇÃO

Com a finalidade de atomizar e secar o concentrado de proteínas proveniente das etapas anteriores (cujas quantidades estão disponíveis no balanço de massa do presente trabalho), transformando-o em pó, a MDLGV possui um *Spray Dryer* de modelo LPG – 300. O equipamento adquirido conta com um ciclone modelo XF-1000 em sequência ao sistema de secagem por atomização para que qualquer particulado, que porventura seja carregado com o ar deste último, possa ser separado. As especificações, fornecedores e custos do *Spray Dryer* estão dispostos no Quadro 7.

Quadro 7 - Especificações do *Spray Dryer*.

Nome do equipamento	<i>Spray Dryer</i>
Marca / Modelo	Jiangsu ZhenXing / Modelo LPG - 300
Capacidade de evaporação (kg/h)	300
Aplicação	Linha de produção
Potência (kW)	49,05
Tempo de secagem (s)	5-8
Área de piso (m ²)	80,0
Material	Aço inoxidável 304
Local de fabricação	Jiangsu, China (Mainland)
Temperatura do ar de entrada (°C)	160-250
Modo de pulverização	centrífugo
Granulometria do produto acabado (mesh)	80-120
Custo total, incluindo frete e instalação (US\$)	120.000,00

Fonte: LUO, 2018.

Seguindo a logística estudada pela equipe de planejamento e controle da produção da empresa, só há um *Spray Dryer* para ser utilizado nos processos de produção do WPI e WPC. Assim, para cada troca na produção, o sistema de secagem será limpo com uma corrente de ar para eliminar qualquer impureza ou particulado que possa estar incrustado no equipamento. Na Figura 39 pode-se observar uma imagem ilustrativa do *Spray Dryer* de modelo LPG – 300 adquirido pela MDLGV.

Figura 39 - Imagem ilustrativa do *Spray Dryer* adquirido pela MDLGV.



Fonte: LUO, 2018.

10.7 EMPACOTADORA AUTOMÁTICA

A MDLGV, dispõe de um equipamento que desempenha operações referentes à embalagem dos produtos acabados, sendo esses de 25 kg de capacidade. Esse equipamento é projetado especialmente para empresas que possuem produção de 24 horas de trabalho sem interrupção, mas também é bem utilizado em plantas de menor porte.

A configuração do mesmo é feita por meio de um sistema automático de dosagem no qual se adequa ao processo produtivo, tanto para a massa quanto para o volume do produto, utilizando de uma balança multicabeçote, rosca vertical, rosca horizontal, alimentador vibratório e um sistema completo de transporte pneumático. A

robustez do equipamento garante uma alta durabilidade de todas as peças, implicando em menos manutenções e paradas, refletindo diretamente na economia da empresa.

O Quadro 8 dispõe das especificações técnicas para essa empacotadora automática, sendo que essa máquina consegue desempenhar as funções de embalagem para a quantidade de massa calculada no presente trabalho. Adicionalmente tem-se a Figura 40, que apresenta uma imagem ilustrativa do sistema responsável pelo processo de embalagem dos produtos da marca MDLGV.

Quadro 8 - Especificações técnicas da empacotadora automática.

Nome do equipamento	Empacotadora automática
Marca / Modelo	Embaflux / Pack Line 640
Tensão (V)	220/380
Potência (kW)	10
Velocidade (pacotes/minuto)	3
Largura do pacote (mm)	350-640
Comprimento do pacote (mm)	80-1.000
Diâmetro da bobina (mm)	400
Largura da bobina (mm)	1.330
Utilização final	Empacotamento de produtos em pó
Local de fabricação	Porto Alegre, RS, Brasil
Custo total, incluindo frete e instalação (R\$)	310.000,00

Fonte: EMBAFLUX, 2018.

Figura 40 - Imagem ilustrativa do sistema de empacotamento automático dos produtos MDLGV.



Fonte: EMBAFLUX, 2018.

10.8 BOMBAS E COMPRESSORES

Segundo Brasil (2010), bombas são equipamentos que succionam o fluido, que é essencialmente líquido, retirando-o de um reservatório e impulsionando-o para outro. No caso de o fluido se tratar de um gás, ao equipamento responsável por esse deslocamento dá-se o nome de compressor.

As bombas utilizadas nesta empresa são: bombas de deslocamento positivo, que são capazes de alterar a pressão do fluido bombeado e bombas centrífugas, que, ao contrário das anteriores, não mudam a pressão do fluido, apenas realizam o deslocamento do mesmo.

Para as etapas do processo produtivo que necessitam de uma pressão específica e vazão constante, como é o caso das membranas de micro e ultrafiltração, utilizam-se bombas de deslocamento positivo, que são indicadas pelo fato de ter o

fluxo invariável independente da carga que está submetida. Para as demais etapas onde se necessita somente o deslocamento do fluido, utilizam-se bombas centrífugas em virtude do seu custo reduzido em relação às bombas de deslocamento positivo. A MDLGV também fez a aquisição de um compressor que será responsável por fornecer o ar ao Sistema de Secagem por Atomização.

As especificações técnicas das bombas e compressores estão apresentadas nos Quadros 9, 10 e 11 a seguir. Também é possível observar exemplares dos equipamentos adquiridos nas Figuras 41, 42 e 43 subsequentes.

Quadro 9 - Especificações da bomba de deslocamento positivo.

Nome do equipamento	Bomba de deslocamento positivo
Marca / Modelo	RZR Bombas Positivas/ RZR-30.020 cP
Vazão (m ³ /h)	2 - 50
Pressão Admissível na Sucção (kgf/cm ²)	0,5 - 10
Pressão de Recalque (kgf/cm ²)	Até 20
Viscosidade (cP)	0,5 – 100.000
Potência (cv)	10
Utilização final	Bombeamento com especificação de pressão
Deslocamento por Rotação (cm ³)	1.350
Rotação (rpm)	520
Temperatura de Operação (°C)	-10 a 240
Local de fabricação	Santo André, SP, Brasil
Custo total, incluindo frete e instalação (R\$)	25.000,00

Fonte: RZR, 2018.

Figura 41 - Imagem ilustrativa de bomba de deslocamento positivo adquirida pela MDLGV.



Fonte: RZR, 2018.

Quadro 10 - Especificações da bomba centrífuga.

Nome do equipamento	Bomba Centrífuga
Marca	Schneider
Diâmetro de Sucção (pol)	1 ½
Diâmetro de Recalque (pol)	1 ¼
Pressão máxima sem vazão (m.c.a.)	56
Potência (cv)	12,5
Utilização final	Deslocamento de fluidos
Altura máxima de sucção (m.c.a.)	8
Diâmetro do Rotor (mm)	170
Rotação (rpm)	3.600
Altura manométrica total (m.c.a.)	42
Temperatura máxima do fluido a ser bombeado (°C)	70
Local de fabricação	Joinville, SC, Brasil
Vazão (m³/h)	34,4
Custo total, incluindo frete e instalação (R\$)	20.000,00

Fonte: FRANKLIN ELECTRIC, 2017.

Figura 42 - Imagem ilustrativa de bomba centrífuga adquirida pela MDLGV.



Fonte: FRANKLIN ELECTRIC, 2017.

Quadro 11 - Especificações do compressor.

Nome do equipamento	Compressor
Marca	Kaeser
Vazão (m ³ /min)	1,5 a 93
Potência (kW)	132
Pressão (bar)	Acima de 1 bar
Vácuo (bar)	-0,5
Utilização final	Fornecimento de ar para o Sistema de Secagem por Atomização
Temperatura máxima (°C)	140
Local de fabricação	Coburg, Alemanha
Custo total, incluindo frete e instalação (R\$)	43.000,00

Fonte: KAESER, 2018.

Figura 43 - Imagem ilustrativa do modelo de compressor utilizado na MDLGV.



Fonte: KAESER, 2018.

10.9 TROCADORES DE CALOR

Com a finalidade de transferir calor entre as correntes nas quais há necessidade de aumento ou diminuição da temperatura, a MDLGV conta com 12 trocadores de calor. Para aquecimento do ar, utiliza-se uma resistência elétrica (Figura 44) cuja cotação deu-se através da potência requerida, observada no balanço energético do presente trabalho. Os demais trocadores são do tipo placa semelhantes ao apresentado na Figura 45. As especificações destes equipamentos encontram-se nos Quadros 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22 e 23 em sequência.

Figura 44 - Trocador de calor por resistência elétrica.



Fonte: ITAQUA, 2018.

Figura 45 - Equipamentos de troca térmica (trocadores de calor).



Fonte: JIANGYIN, 2018.

Quadro 12 - Especificações do Trocador de Calor – TC201.

Nome do equipamento	Trocador de Calor
Marca	Jiangyin 6Z
Área de troca térmica (m ²)	6,2
Número de passes	1
Utilização Final	Aquecer a corrente de soro do leite
Material	Aço Inoxidável AISI 316
Espessura (mm)	0,5
Custo total, incluindo frete e instalação (US\$)	827,00

Fonte: XIE, 2018.

Quadro 13 - Especificações do Trocador de Calor – TC202.

Nome do equipamento	Trocador de Calor
Marca	Jiangyin 6Z
Área de troca térmica (m ²)	5,04
Número de passes	1
Utilização Final	Resfriar a corrente de soro do leite
Material	Aço Inoxidável AISI 316
Espessura (mm)	0,5
Custo total, incluindo frete e instalação (US\$)	1.816,00

Fonte: XIE, 2018.

Quadro 14 - Especificações do Trocador de Calor – TC203.

Nome do equipamento	Trocador de Calor
Marca	Jiangyin 6Z
Área de troca térmica (m ²)	2,7
Número de passes	1
Utilização Final	Resfriar a corrente de soro do leite
Material	Aço Inoxidável AISI 316
Espessura (mm)	0,5
Custo total, incluindo frete e instalação (US\$)	541,00

Fonte: XIE, 2018.

Quadro 15 - Especificações do Trocador de Calor – TC204.

Nome do equipamento	Trocador de Calor
Marca	Jiangyin 6Z
Área de troca térmica (m ²)	0,7
Número de passes	1
Utilização Final	Aquecer a corrente de soro do leite
Material	Aço Inoxidável AISI 316
Espessura (mm)	0,5
Custo total, incluindo frete e instalação (US\$)	194,00

Fonte: XIE, 2018.

Quadro 16 - Especificações do Trocador de Calor – TC205.

Nome do equipamento	Trocador de Calor
Marca	Jiangyin 6Z
Área de troca térmica (m ²)	0,8
Número de passes	1
Utilização Final	Aquecer a corrente de soro do leite
Material	Aço Inoxidável AISI 316
Espessura (mm)	0,5
Custo total, incluindo frete e instalação (US\$)	200,00

Fonte: XIE, 2018.

Quadro 17 - Especificações do Trocador de Calor – TC301.

Nome do equipamento	Trocador de Calor
Marca	Jiangyin 6Z
Área de troca térmica (m ²)	0,1
Número de passes	1
Utilização Final	Resfriar a corrente de soro do leite
Material	Aço Inoxidável AISI 316
Espessura (mm)	0,5
Custo total, incluindo frete e instalação (US\$)	150,00

Fonte: XIE, 2018.

Quadro 18 - Especificações do Trocador de Calor – TC401.

Nome do equipamento	Trocador de Calor
Marca	Jiangyin 6Z
Área de troca térmica (m ²)	0,4
Número de passes	1
Utilização Final	Aquecer a corrente de soro do leite
Material	Aço Inoxidável AISI 316
Espessura (mm)	0,5
Custo total, incluindo frete e instalação (US\$)	175,00

Fonte: XIE, 2018.

Quadro 19 - Especificações do Trocador de Calor – TC402.

Nome do equipamento	Trocador de Calor
Marca	Jiangyin 6Z
Área de troca térmica (m ²)	0,04
Número de passes	1
Utilização Final	Resfriar a corrente de soro do leite
Material	Aço Inoxidável AISI 316
Espessura (mm)	0,5
Custo total, incluindo frete e instalação (US\$)	135,00

Fonte: XIE, 2018.

Quadro 20- Especificações do Trocador de Calor – TC501.

Nome do equipamento	Trocador de Calor
Marca	Jiangyin 6Z
Modelo	AK2B-40TL
Área de troca térmica (m ²)	6,84
Número de passes	1
Utilização Final	Resfriar o ar proveniente do Spray Dryer
Material	Aço Inoxidável AISI 316
Espessura (mm)	0,5
Custo total, incluindo frete e instalação (US\$)	720,00

Fonte: XIE, 2018.

Quadro 21 - Especificações do Trocador de Calor – TC502.

Nome do equipamento	Trocador de Calor
Marca	Jiangyin 6Z
Área de troca térmica (m ²)	2,34
Número de passes	1
Utilização Final	Resfriar o ar proveniente do Spray Dryer
Material	Aço Inoxidável AISI 316
Espessura (mm)	0,5
Custo total, incluindo frete e instalação (US\$)	525,00

Fonte: XIE, 2018.

Quadro 22 - Especificações do Trocador de Calor – TC601.

Nome do equipamento	Trocador de Calor
Marca	Itaquá Resistências
Potência (kW)	610
Utilização final	Aquecer a corrente de ar que segue para o <i>Spray Dryer</i>
Custo total, incluindo frete e instalação (R\$)	55.000,00

Fonte: JÚNIOR, 2018.

Quadro 23 - Especificações do Trocador de Calor – TC602.

Nome do equipamento	Trocador de Calor
Marca	Itaquá Resistências
Potência (kW)	190
Utilização final	Aquecer a corrente de ar que segue para o <i>Spray Dryer</i>
Custo total, incluindo frete e instalação (R\$)	35.000,00

Fonte: JÚNIOR, 2018.

10.10 CALDEIRA

A caldeira é um equipamento que tem por objetivo a produção de vapor através da queima de algum tipo de combustível e que tem importância fundamental na maioria das indústrias, pois permite que a energia seja produzida em um único ponto da planta e distribuída para outros locais que necessitem. Há diversos tipos de caldeiras, mas a indicada para a indústria alimentícia é a flamotubular ou fogotubular, em que os gases provenientes da queima passam por tubos imersos em água, aquecendo-a e convertendo-a em vapor saturado. Nesse tipo de caldeira há a garantia de que a utilidade produzida não entre em contato com os gases de combustão, prevenindo, desta forma, contaminações diversas.

Na planta da MDLGV, o vapor produzido na caldeira será utilizado em trocadores de calor espalhados por todo o processo e para a evaporação em três efeitos do soro do leite. A caldeira adquirida (Figura 46) conta com as especificações técnicas listadas no Quadro 24 a seguir.

Figura 46 - Imagem ilustrativa da caldeira flamotubular adquirida pela MDLGV.



Fonte: ZANINI, 2018.

Quadro 24 - Especificações da caldeira flamotubular da MDLGV.

Nome do equipamento	Caldeira flamotubular
Marca	Zanini - Sermatec
Pressão de trabalho (kgf/cm ²)	21
Geração de vapor (kg/h)	250-35.000
Utilização final	Geração de vapor para trocadores de calor e evaporador três efeitos
Local de fabricação	Sertãozinho, SP, Brasil
Custo total, incluindo frete e instalação (R\$)	4.000.000,00

Fonte: ZANINI, 2018.

11 DIAGRAMA DE FLUXO DO PROCESSO DA MDLGV LTDA

Um fluxograma de processo de produção (PFD – *Process Flow Diagram*, em inglês) ilustra as relações entre componentes principais em uma fábrica industrial. É mais frequentemente usado na engenharia química e engenharia de processos, embora seus conceitos são, por vezes, aplicados a outros segmentos. É usado para documentar, melhorar ou modelar um novo sistema produtivo (LUCIDCHART, 2018).

Este tipo de diagrama surgiu na década de 1920. Em 1921, Frank Gilbreth, engenheiro industrial e especialista em eficiência, apresentou o “gráfico de fluxo de processo” à sociedade americana de engenheiros mecânicos (ASME - *American Society of Mechanical Engineers*, em inglês). Ao longo das décadas posteriores, o conceito se espalhou por toda a engenharia industrial, a fabricação e até mesmo aos empreendimentos e processamento de informação, na forma de diagramas de processos de negócios, fluxo de dados, respectivamente, além de outros tipos de gráficos (LUCIDCHART, 2018).

Um diagrama de fluxo de processos tem diversas finalidades:

- Documentar o processo para melhor entendimento, controle de qualidade e treinamento de funcionários.
- Padronizar o processo para obter a melhor eficiência e constância.
- Estudar o processo para fins de eficiência e melhoria. Ajuda a identificar passos desnecessários, gargalos e outras ineficiências.
- Modelar ou criar um processo novo.
- Comunicar e colaborar por meio de diagramas que dialogam com vários cargos na organização, ou fora dela (LUCIDCHART, 2018).

De acordo com as finalidades acima apresentadas, a empresa MDLGV, tem como seu diagrama de fluxo do processo, o esquema apresentado pela Figura 47, desenvolvida no *software* Visio da marca Microsoft.

Com a finalidade de complementação das informações apresentadas na Figura 47, segue a Tabela 21, que contém informações como temperatura, pressão, bem como a taxa mássica total e por componente do processo produtivo projetado pela MDLGV.

Tabela 21 - Informações complementares das correntes apresentadas no PFD da MDLGV anteriormente apresentado.

Número da corrente	1	2	3	4	5
Temperatura (°C)	5	55	64,1	64,1	64,1
Pressão (MPa)	0,101	0,101	0,025	0,025	0,025
Taxa mássica (kg/dia)	824.000	824.000	598.050	225.950	225.950
Taxa mássica por componente					
Água (kg/dia)	766.320	766.320	540.370	225.950	225.950
Gordura (kg/dia)	1.648	1.648	1.648	0	0
Proteína (kg/dia)	6.592	6.592	6.592	0	0
Lactose (kg/dia)	40.376	40.376	40.376	0	0
Cinzas (kg/dia)	9.064	9.064	9.064	0	0
Sólidos totais (kg/dia)	57.680	57.680	57.680	0	0
Número da corrente	6	7	8	9	10
Temperatura (°C)	47	47	45,5	30	30
Pressão (MPa)	0,011	0,011	0,011	0,004	0,004
Taxa mássica (kg/dia)	364.440	233.610	233.610	115.360	249.080
Taxa mássica por componente					
Água (kg/dia)	306.760	233.610	233.610	57.680	249.080
Gordura (kg/dia)	1.648	0	0	1.648	0
Proteína (kg/dia)	6.592	0	0	6.592	0
Lactose (kg/dia)	40.376	0	0	40.376	0
Cinzas (kg/dia)	9.064	0	0	9.064	0
Sólidos totais (kg/dia)	57.680	0	0	57.680	0

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2018.

Tabela 21 - Informações complementares das correntes apresentadas no PFD da MDLGV anteriormente apresentado (Continuação).

Número da corrente	11	12	13	14	15
Temperatura (°C)	64,1	47	55,4	25	25
Pressão (MPa)	0,101	0,101	0,101	0,101	0,004
Taxa mássica (kg/dia)	225.950	233.610	459.560	459.560	249.080
Taxa mássica por componente					
Água (kg/dia)	225.950	233.610	459.560	459.560	249.080
Gordura (kg/dia)	0	0	0	0	0
Proteína (kg/dia)	0	0	0	0	0
Lactose (kg/dia)	0	0	0	0	0
Cinzas (kg/dia)	0	0	0	0	0
Sólidos totais (kg/dia)	0	0	0	0	0
Número da corrente	16	17	18	19	20
Temperatura (°C)	25	30	25	50	50
Pressão (MPa)	0,101	0,101	0,101	0,101	0,15
Taxa mássica (kg/dia)	249.080	115.360	708.640	115.360	115.360
Taxa mássica por componente					
Água (kg/dia)	249.080	57.680	708.640	57.680	57.680
Gordura (kg/dia)	0	1.648	0	1.648	1.648
Proteína (kg/dia)	0	6.592	0	6.592	6.592
Lactose (kg/dia)	0	40.376	0	40.376	40.376
Cinzas (kg/dia)	0	9.064	0	9.064	9.064
Sólidos totais (kg/dia)	0	57.680	0	57.680	57.680
Número da corrente	21	22	23	24	25
Temperatura (°C)	50	50	50	50	25
Pressão (MPa)	0,15	0,5	0,5	0,101	0,101
Taxa mássica (kg/dia)	109.592	109.592	19.626,2	19.626,2	89.965,8
Taxa mássica por componente					
Água (kg/dia)	53.312,8	53.312,8	8.831,8	8.831,8	89.965,8
Gordura (kg/dia)	247,2	247,2	247,2	247,2	0
Proteína (kg/dia)	6.592	6.592	5.603,2	5.603,2	0
Lactose (kg/dia)	40.376	40.376	4.037,6	4.037,6	0
Cinzas (kg/dia)	9.064	9.064	906,4	906,4	0
Sólidos totais (kg/dia)	56.279,2	56.279,2	10.794,4	10.794,4	0

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2018.

Tabela 21 - Informações complementares das correntes apresentadas no PFD da MDLGV anteriormente apresentado (Continuação).

Número da corrente	26	27	28 - C	28 - I	29
Temperatura (°C)	50	50	50	50	50
Pressão (MPa)	0,101	0,101	0,5	0,15	0,5
Taxa mássica (kg/dia)	89.965,8	109.592	76.714,4	32.877,6	7.634,7
Taxa mássica por componente					
Água (kg/dia)	89.965,8	98.797,6	69.158,3	29.639,3	3.435,6
Gordura (kg/dia)	0	247,2	173	74,2	173,0
Proteína (kg/dia)	0	5.603,2	3.922,2	1.680,96	3.333,9
Lactose (kg/dia)	0	4.037,6	2.826,3	1.211,3	565,3
Cinzas (kg/dia)	0	906,4	634,5	271,9	126,9
Sólidos totais (kg/dia)	0	10.794,4	7.556,1	3.238,3	4.199,1
Número da corrente	30	31	32	33	34
Temperatura (°C)	50	25	50	50	50
Pressão (MPa)	0,101	0,101	0,15	0,5	0,5
Taxa mássica (kg/dia)	7.634,7	7.634,7	31.233,7	31.233,7	3.157,4
Taxa mássica por componente					
Água (kg/dia)	3.435,6	3.435,6	28.058,4	28.058,4	1.420,8
Gordura (kg/dia)	173,0	173,0	11,1	11,1	11,1
Proteína (kg/dia)	3.333,9	3.333,9	1.681	1.681	1.428,8
Lactose (kg/dia)	565,3	565,3	1.211,3	1.211,3	242,3
Cinzas (kg/dia)	126,9	126,9	271,9	271,9	54,4
Sólidos totais (kg/dia)	4.199,1	4.199,1	3.175,3	3.175,3	1.736,6
Número da corrente	35	36	37	38	39
Temperatura (°C)	50	25	50	50	50
Pressão (MPa)	0,101	0,101	0,101	0,101	0,5
Taxa mássica (kg/dia)	3.157,4	28.076,3	28.076,3	31.233,7	31.233,7
Taxa mássica por componente					
Água (kg/dia)	1.420,8	28.076,3	28.076,3	29.497,1	29.497,1
Gordura (kg/dia)	11,1	0	0	11,1	11,1
Proteína (kg/dia)	1.428,8	0	0	1.428,8	1.428,8
Lactose (kg/dia)	242,3	0	0	242,3	242,3
Cinzas (kg/dia)	54,4	0	0	54,4	54,4
Sólidos totais (kg/dia)	1.736,6	0	0	1.736,6	1.736,6

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2018.

Tabela 21 - Informações complementares das correntes apresentadas no PFD da MDLGV anteriormente apresentado (Continuação).

Número da corrente	40	41	42	43 - C	43 - I
Temperatura (°C)	50	50	25	25	25
Pressão (MPa)	0,5	0,101	0,101	0,101	0,101
Taxa mássica (kg/dia)	2.336,3	2.336,3	2.336,3	7.634,7	2.336,3
Taxa mássica por componente					
Água (kg/dia)	1.051,3	1.051,3	1.051,3	3.435,6	1.051,3
Gordura (kg/dia)	11,1	11,1	11,1	173,0	11,1
Proteína (kg/dia)	1.214,5	1.214,5	1.214,5	3.333,9	1.214,5
Lactose (kg/dia)	48,5	48,5	48,5	565,3	48,5
Cinzas (kg/dia)	10,9	10,9	10,9	126,9	10,9
Sólidos totais (kg/dia)	1.284,9	1.284,9	1.284,9	4.199,1	1.284,9
Número da corrente	44 - C	44 - I	45 - C	45 - I	46 - C
Temperatura (°C)	170	170	170	170	170
Pressão (MPa)	0,101	0,101	0,2	0,2	0,101
Taxa mássica (kg/dia)	3.459,1	1.005,3	3.459,1	1.005,3	3.421
Taxa mássica por componente					
Água (kg/dia)	3.438,1	998,8	3.438,1	998,8	3.421
Gordura (kg/dia)	0,9	0,1	0,9	0,1	0
Proteína (kg/dia)	16,7	6,1	16,7	6,1	0
Lactose (kg/dia)	2,8	0,2	2,8	0,2	0
Cinzas (kg/dia)	0,6	0,1	0,6	0,1	0
Sólidos totais (kg/dia)	21	6,4	21	6,4	0
Número da corrente	46 - I	47 - C	47 - I	48 - C	48 - I
Temperatura (°C)	170	170	170	25	25
Pressão (MPa)	0,101	0,101	0,101	0,101	0,101
Taxa mássica (kg/dia)	993,6	38,2	11,7	4.213,8	1.342,7
Taxa mássica por componente					
Água (kg/dia)	993,6	17,2	5,3	14,7	57,7
Gordura (kg/dia)	0	0,9	0,1	173	11,1
Proteína (kg/dia)	0	16,7	6,1	3.333,9	1.214,5
Lactose (kg/dia)	0	2,8	0,2	565,3	48,5
Cinzas (kg/dia)	0	0,6	0,1	126,9	10,9
Sólidos totais (kg/dia)	0	21	6,4	4.199,1	1.284,9

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2018.

Tabela 21 - Informações complementares das correntes apresentadas no PFD da MDLGV anteriormente apresentado (Continuação).

Número da corrente	49	50	51	52	53
Temperatura (°C)	50	50	50	50	50
Pressão (MPa)	0,15	0,5	0,5	0,5	0,5
Taxa mássica (kg/dia)	5.768	89.965,8	69.079,7	1.643,9	28.076,3
Taxa mássica por componente					
Água (kg/dia)	4.367,2	44.481	65.722,7	1.580,8	26.637,6
Gordura (kg/dia)	1400,8	0	0	63	0
Proteína (kg/dia)	0	988,8	588,3	0	252,1
Lactose (kg/dia)	0	36.338,4	2.261,1	0	969
Cinzas (kg/dia)	0	8.157,6	507,6	0	217,5
Sólidos totais (kg/dia)	1.400,8	45.484,8	3.357	63	1.438,7
Número da corrente	54	55	56	57	
Temperatura (°C)	50	50	50	25	
Pressão (MPa)	0,5	0,15	0,5	0,101	
Taxa mássica (kg/dia)	28.897,5	7.411,9	216.019,2	590.597,9	
Taxa mássica por componente					
Água (kg/dia)	28.445,8	5.948	165.287,1	590.597,9	
Gordura (kg/dia)	0	1.463,8	0	0	
Proteína (kg/dia)	214,3	0	2.043,6	0	
Lactose (kg/dia)	193,8	0	39.762,3	0	
Cinzas (kg/dia)	43,5	0	8.926,2	0	
Sólidos totais (kg/dia)	451,6	1.463,8	50.732,11	0	

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2018.

12 BALANÇO ENERGÉTICO DO PROCESSO PRODUTIVO

Os estudos termodinâmicos são essenciais para a consolidação dos balanços energéticos, uma vez que o principal fundamento destes está na primeira lei da termodinâmica, que diz que embora a energia assuma várias formas, sua quantidade é constante. Dessa maneira, quando uma forma desaparece, ela reaparece simultaneamente em outras conformações, e é contabilizada pela diferença entre o trabalho realizado e o calor fornecido (BRASIL, 2004; FELDER; ROUSSEAU, 2005).

Do mesmo modo que os balanços materiais, os sistemas devem ser considerados, entretanto, não ao nível de espécies químicas, ou seja, o balanço energético é realizado apenas macroscopicamente (BADINO, 2011). Existem diversas modalidades de energia a serem consideradas (BRASIL, 2004; KORETSKY, 2007):

- Potencial (P): está associada à massa do sistema acima de um plano de referência quando a força de atração é devida ao campo gravitacional terrestre.
- Cinética (K): associada à velocidade de um corpo (ou de um sistema) em relação a um ponto de referência.
- Interna (U): do ponto de vista microscópico, é a soma de todas as diferentes formas de energia possuídas pelas moléculas das substâncias que compõem o sistema: molecular, química e atômica.
- Entalpia (H): grandeza física que mede a máxima energia de um sistema termodinâmico, teoricamente passível de ser deste removida na forma de calor.
- Trabalho (ω): energia transferida por uma força que atua através de uma distância nas fronteiras do sistema.
- Calor (Q): forma de energia transferida de um corpo para outro (ou de um sistema para as vizinhanças) devido unicamente à diferença de temperaturas existentes entre eles. O calor pode ser nomeado como sensível, quando este promove uma variação de temperatura no meio, ou latente, quando contribui para que ocorra mudança de fase.

A energia pode ser transferida para um sistema de três maneiras: fluxo de massa, calor ou trabalho. Na forma de calor, deve ser considerada se há mudança de

estado físico do fluido. Para o caso em que não há mudança de fase, utiliza-se a Equação (73) (FELDER; ROUSSEAU, 2005).

$$Q = \dot{m}c_p\Delta T \quad (73)$$

em que Q corresponde ao calor (energia) (J/dia), \dot{m} corresponde à vazão mássica (kg/dia), c_p ao calor específico a pressão constante (J/kg.K) e ΔT à variação de temperatura (K).

Ainda, para efeito de cálculos, Q é considerado positivo quando o fluido receber calor, e negativo quando o fluido transferir calor.

Caso haja mudança de fase, utiliza-se a Equação (74) quando o fluido está sendo resfriado, ou a Equação (75) caso o mesmo esteja sendo aquecido.

$$Q = \dot{m}c_{p(l)}(T_{eb} - T_{sai}) + \Delta H_{vap} + \dot{m}c_{p(g)}(T_{ent} - T_{eb}) \quad (74)$$

$$Q = \dot{m}c_{p(l)}(T_{eb} - T_{ent}) + \Delta H_{vap} + \dot{m}c_{p(g)}(T_{sai} - T_{eb}) \quad (75)$$

em que $c_{p(l)}$ e $c_{p(g)}$ correspondem aos calores específicos nas fases líquida e gasosa, respectivamente, ΔH_{vap} à variação de entalpia de vaporização, e T_{eb} , T_{ent} e T_{sai} , às temperaturas de ebulição, entrada e saída, em ordem.

Para aplicar as equações de calor, é indispensável conhecer o valor do calor específico. No presente trabalho adotou-se os valores disponíveis em Perry (2007), os quais podem ser observados na Tabela 22. Também deve ser conhecido o calor latente de vaporização para a água, que foi adotado o valor de 2.015.000 J/kg disponível em Moran *et al.* (2013).

Tabela 22 - Calor específico e pressões das substâncias utilizadas para os balanços energéticos.

Substância	Pressão (psi)	Cp (J/kg.K)
Água	1	4.190,0
Ar	30	1.005,0
Vapor	145	2.028
Vapor	30	1.999

Fonte: Adaptado de PERRY, 2007.

É válido ressaltar, que a MDLGV, possui equipamentos que não apresentam entrada de utilidades (tais como ar, vapor e água fria), sendo assim, realizou-se o

balanço de energia apenas onde o mesmo fosse pertinente, como nos trocadores de calor, no evaporador e no *Spray Dryer* com o objetivo de determinar as taxas mássicas de cada utilidade necessária. Em todas as situações considerou-se que não há calor dissipado das correntes para o meio externo, ou seja, todo calor é trocado apenas entre as correntes. Além disso, considerações específicas de cada equipamento, cujo balanço energético fora realizado, estão apresentadas nos tópicos subsequentes.

12.1 BALANÇO DE ENERGIA NO EVAPORADOR

O balanço material no evaporador já foi apresentado no presente trabalho como um bloco unitário, ou seja, desprezando a quantidade de estágios. Entretanto, considerou-se três estágios para realizar o balanço energético, com o intuito de diminuir o fluxo de produção de vapor proveniente da caldeira, bem como um melhor aproveitamento do calor latente dos vapores produzidos no próprio equipamento. Aumentando, dessa forma, a eficiência do sistema de evaporação, favorecendo a economia de energia na produção de vapor e contribuindo com o meio ambiente, uma vez que será otimizado o uso dos combustíveis da caldeira.

O sistema de evaporação da MDLGV opera a vácuo, que consiste na redução da pressão interna, com a finalidade de reduzir a temperatura de ebulição do soro do leite para temperaturas mais baixas, dependendo da pressão de vácuo aplicada. Esse mecanismo é necessário para evitar alterações físico-químicas no soro durante a concentração do mesmo, obtendo dessa forma um produto acabado com melhores características (sensoriais e nutricionais) quando comparado ao tratamento de evaporação à pressão atmosférica, devido aos compostos termossensíveis contidos no soro, tais como a lactose e proteínas (SILVA, 2011). Todavia, apenas a aplicação do vácuo não garante a total uniformidade e qualidade das propriedades do lactossoro, deve-se haver um baixo tempo de exposição da solução alimentada no evaporador em temperaturas relativamente elevadas.

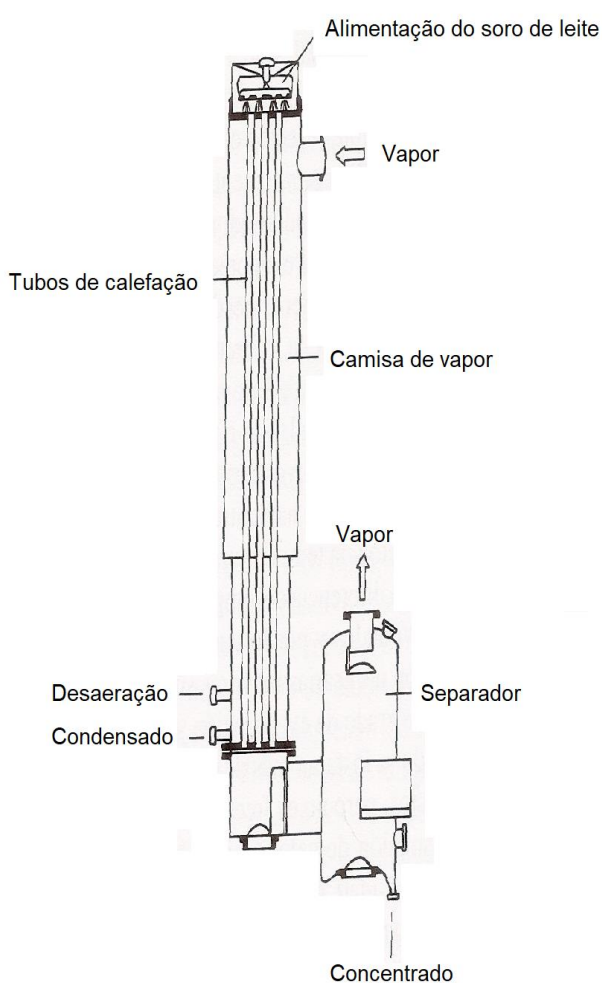
De acordo com as mudanças de viscosidade no fluido de processo (soro do leite) no decorrer do processo de evaporação, o modelo de evaporador ideal e que foi adquirido pela MDLGV é o evaporador de película descendente, ao qual é aplicado vácuo e possui baixo tempo de residência, cerca de 30 segundos (ARAUJO, 2002).

O evaporador de película descendente possui longos tubos, em que a corrente de alimentação é introduzida pelo topo e flui pelas paredes como um filme

fino. O vapor que fornece calor de aquecimento para a película encontra-se ao lado do casco, a separação do líquido de vapor ocorre na parte inferior do evaporador, mantendo o contato indireto das correntes e como os tubos não operam cheios, não há elevação do ponto de ebulição (EPE) em decorrência da carga hidrostática (GEANKOPLIS, 2009; ARAUJO, 2002).

O esquema apresentado pela Figura 48 é uma representação das correntes desse modelo de evaporador.

Figura 48 - Evaporador de película descendente.



Fonte: Adaptado de ARAUJO, 2002.

O objetivo dessa seção é determinar todas as correntes e composições, o consumo de vapor vivo proveniente da caldeira, bem como as áreas de troca térmica, para isso foram seguidas as equações desenvolvidas para os balanços de massa e de energia no evaporador de triplo efeito. A quantidade da corrente de alimentação

em massa equivale a aproximadamente 824.000 kg de soro de leite (segundo Nunes e Santos (2016), $\rho=1,03$ kg/L), as composições dessa matéria-prima na entrada encontram-se sumarizadas na Tabela 5 do presente trabalho. No entanto, os cálculos foram realizados com base no teor de sólidos totais, uma vez que na evaporação a concentração do soro do leite é realizada removendo apenas a água. A Tabela 23 dispõe as composições em termos do teor de sólidos totais.

Tabela 23 - Composição do soro de alimentação em termos de teor de sólidos totais.

Componente	Fração mássica	Massa (kg)
Água	0,930	766.320
Sólidos Totais	0,07	57.680
TOTAL	1	824.000

Fonte: Adaptado ORDÓÑEZ *et al.*, 2005.

A evaporação da água do soro de leite será realizada com vapor saturado proveniente da caldeira nas condições descritas na Tabela 24, sendo suficiente para evaporar a água no primeiro estágio, atingindo a temperatura de ebulição em 64,1 °C para o soro no primeiro efeito do evaporador, temperatura essa, abaixo das condições térmicas que favorecem a reação de Maillard (próximas a 115,0 °C) e desnaturação proteica da α -lactoalbumina, acima de 65,2 °C e, β -lactoglobulina, acima de 70,0 °C (LEONHARDT, 2015; VIAPIANA, 2017).

Com base nas restrições apresentadas e outros parâmetros importantes para o desenvolvimento dos balanços de massa e de energia, foram estabelecidos os valores apresentados na Tabela 24.

Tabela 24 - Parâmetros e considerações utilizadas para o balanço de energia e de massa.

Parâmetros	Valor
Taxa de alimentação (C_2)	824.000 kg/dia ⁽¹⁾
Temperatura de alimentação do soro (T_A)	55,00 °C ⁽¹⁾
Temperatura vapor de alimentação (T_S)	180,00 °C ⁽¹⁾
Pressão vapor de alimentação (P_S)	1.002,80 kPa ⁽¹⁾
Temperatura de vapor no 1º efeito (T_1)	64,10 °C ⁽¹⁾
Temperatura da solução no 3º efeito (T_3)	30,00 °C ⁽¹⁾
Teor de sólidos totais inicial (x_A)	0,07 ⁽²⁾
Teor de sólidos totais final (x_3)	0,50 ⁽¹⁾
Coeficiente global de troca de calor (U_1)	3.123 W/m ² .K ⁽³⁾
Coeficiente global de troca de calor (U_2)	1.987 W/m ² .K ⁽³⁾
Coeficiente global de troca de calor (U_3)	1.136 W/m ² .K ⁽³⁾

Fontes: ⁽¹⁾ AUTORIA PRÓPRIA, 2018; ⁽²⁾ Adaptado de ORDÓÑEZ *et al.*, 2005; ⁽³⁾ PROST *et al.*, 2006.

Antes de ser alimentado junto ao sistema de evaporação, o soro deve ser pré-aquecido a 55 °C para economizar o uso de vapor e para melhorar a eficiência do processo de evaporação. Após pré-aquecido, o soro é então encaminhado ao primeiro estágio do evaporador, no qual o vapor vivo produzido na caldeira alimentará este efeito e irá evaporar a água do soro de alimentação sem contato direto. Assim, o soro perde massa de água na forma de vapor, que é usada para ceder calor latente no segundo efeito, onde entra a solução que foi concentrada anteriormente.

De modo análogo, a corrente já concentrada continuará a perder massa de água na forma de vapor, sendo que esse servirá para ceder calor latente ao terceiro efeito, sendo que nesse efeito há a entrada tanto do vapor quanto da corrente concentrada no efeito anterior, segundo efeito, de modo a evaporar maior quantidade de água, garantindo a especificação desejada de 50% de teor de sólidos totais.

Ainda no terceiro efeito, a corrente de soro que foi concentrada sai a 30 °C, temperatura essa próxima da ideal (50 °C) para os processos de separação por membranas, segundo Rousseau (1987).

Em soluções que passam por concentrações significativas, as propriedades térmicas e interações intermoleculares podem sofrer alterações significativas, o mesmo se aplica para o soro do leite. Assim, deve-se considerar as alterações do calor específico para o balanço energético.

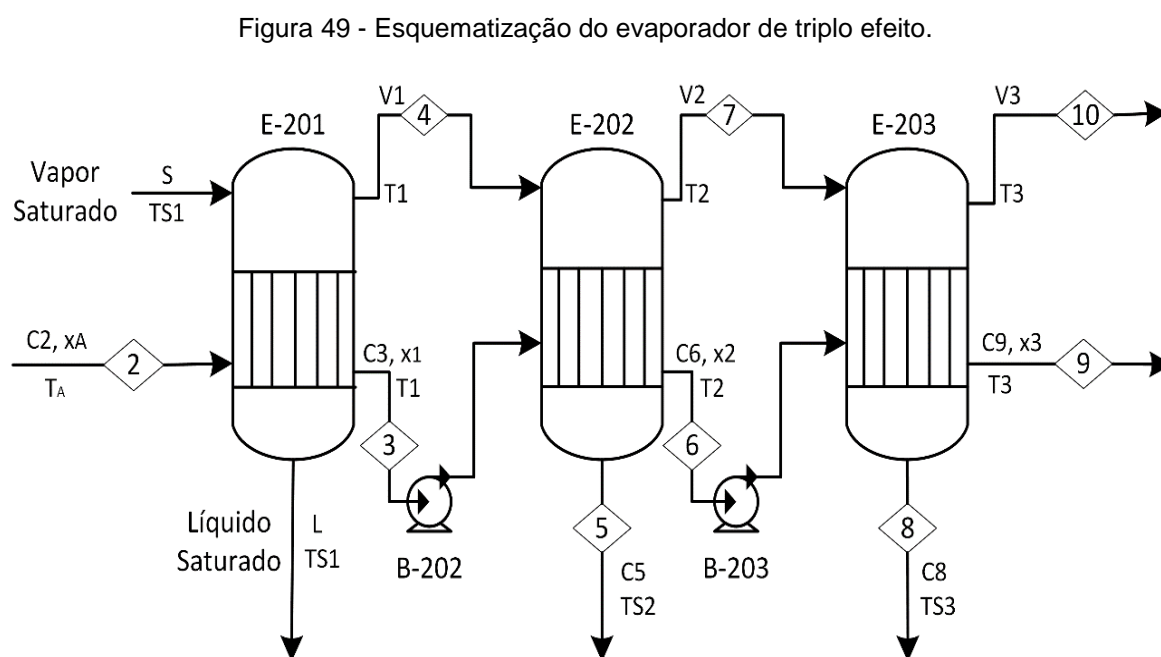
Costa (2014) obteve experimentalmente dados do calor específico a pressão constante (c_p) para o soro do leite em temperaturas de 5 °C até 85 °C, variando as

frações de sólidos totais das amostras de 11% até 50%, disponíveis no Anexo 1. Com o objetivo de ajustar uma equação em função dos sólidos totais para essa propriedade térmica, realizou-se uma média dos valores de calores específicos e em cada teor de sólidos totais para as diversas temperaturas (Apêndice J), realizando-se o ajuste dos dados experimentais médios (Apêndice K), obteve-se a Equação (76).

$$c_p = -2,1937 x + 3,589 \quad (76)$$

Em que c_p representa o calor específico a pressão constante e é dado em kJ/kg.K e x é o teor de sólidos totais na saída da corrente concentrada do efeito analisado.

O sistema de evaporação de triplo efeito com suas respectivas correntes, temperaturas e teor de sólidos totais é apresentado pela Figura 49.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2018.

As equações para o sistema de evaporação foram desenvolvidas segundo Defendi (2018) considerando regime permanente. O programa desenvolvido precisou de 5 iterações para convergência dos resultados e as equações utilizadas estão sumarizadas abaixo.

Do balanço de massa global no evaporador, tem-se a Equação (77).

$$C_2 = C_5 + C_8 + C_9 + V_3 \quad (77)$$

Sendo que as letras C_i representam as correntes de fluido de processo (soro do leite) cujo índice é definido com base no pfd e V_j as correntes de vapor produzido no evaporador, onde j representa o efeito do mesmo. É válido ressaltar que as correntes $V_1 = C_5$ e $V_3 = C_8$, indicadas na Figura 49, sendo assim pode-se representar a Equação (77) rearranjada para a (78).

$$C_2 = V_1 + V_2 + V_3 + C_9 \quad (78)$$

Para o balanço de massa no primeiro efeito, segundo efeito e terceiro efeito, tem-se as Equações (79), (80) e (81), respectivamente.

$$C_2 = C_3 + V_1 \quad (79)$$

$$C_3 = C_6 + V_2 \quad (80)$$

$$C_6 = C_9 + V_3 \quad (81)$$

Analogamente aos cálculos já apresentados, para o balanço de massa por componente no primeiro efeito e terceiro efeito, tem-se as Equações (82) e (83), respectivamente.

$$C_2 x_A = C_3 x_1 \quad (82)$$

$$C_6 x_2 = C_9 x_3 \quad (83)$$

O parâmetro V representa a soma dos vapores produzidos, sendo assim a Equação (84) dispõe dessa soma.

$$V = V_1 + V_2 + V_3 \quad (84)$$

Tem-se ainda, a Equação (85), que representa a estimativa inicial do vapor em cada estágio.

$$V_1 = V_2 = V_3 = \frac{V}{3} \quad (85)$$

A variação global de temperatura (ΔT) no sistema de evaporação pode ser estimada com base na Equação (86), em que T_S representa a temperatura de condensação.

$$\Delta T = \sum \Delta T_i = T_S - T_3 \quad (86)$$

E a temperatura no primeiro efeito pela Equação (87).

$$T_1 = T_S - \Delta T_1 \quad (87)$$

Dos dados dispostos na Tabela 24, foi possível calcular a variação de temperatura no primeiro efeito por intermédio da Equação (88).

$$\Delta T_1 = T_S - T_1 \quad (88)$$

Sabe-se que a elevação do ponto de ebulição altera a condensação apenas das soluções do processo, portanto, a temperatura de alimentação (T_S) é a mesma de condensação (T_{S1}) para o vapor vivo. Já no segundo efeito, a temperatura é determinada pela Equação (89).

$$T_2 = T_1 - \Delta T_2 \quad (89)$$

As temperaturas de condensação do segundo e terceiro efeito, podem ser determinadas, respectivamente, nas Equações (90) e (91).

$$T_{S2} = T_1 \quad (90)$$

$$T_{S3} = T_2 \quad (91)$$

A temperatura da saída no terceiro efeito (T_3) é determinada na Tabela 24 e a condensação do vapor produzido nesse efeito sofrerá condensação por meio do trocador de calor (TC-203) e difusor (D-203). No entanto, fez-se uso da Equação (92) para determinar a variação de temperatura no terceiro efeito (ΔT_3).

$$T_3 = T_2 - \Delta T_3 \quad (92)$$

Pode-se considerar que não há variação de temperatura no primeiro efeito (ΔT_1) (pois as temperaturas do vapor da caldeira e ebulição do primeiro efeito não variam), diante disso, pode-se estimar a ΔT_3 com auxílio da Equação (93), em que i a iteração que possui o valor atual e $i-1$ o resultado da iteração anterior.

$$\Delta T_3^i = \frac{\Delta T_3^{i-1} \cdot A^{i-1}}{A^i} \quad (93)$$

O mesmo aplica-se para o segundo efeito, resultando na Equação (94).

$$\Delta T_2^i = \Delta T - \Delta T_1 - \Delta T_3^i \quad (94)$$

Diante das temperaturas obtidas para todos os efeitos do evaporador, utilizou-se dos dados tabelados de entalpias e calores latentes presentes na literatura (SMITH *et al.*, 2013), de modo que ao variar as temperaturas durante as iterações, os dados eram ajustados com auxílio de uma interpolação linear usando os dados obtidos por Smith *et al.* (2013).

O equacionamento do balanço energético para o primeiro, segundo e terceiro efeitos estão representados pelas Equações (95), (96) e (97), respectivamente.

$$C_2 c_{pA}(T_A - 0) + S\lambda_S = C_3 c_{p1}(T_1 - 0) + V_1 H_1 \quad (95)$$

$$C_3 c_{p1}(T_1 - 0) + V_1 \lambda_1 = C_6 c_{p2}(T_2 - 0) + V_2 H_2 \quad (96)$$

$$C_6 c_{p2}(T_2 - 0) + V_2 \lambda_2 = C_9 c_{p3}(T_3 - 0) + V_3 H_3 \quad (97)$$

Onde S é a corrente de vapor proveniente da caldeira, λ é o calor latente e H a entalpia do vapor.

Para determinar as áreas de troca térmica de cada estágio da evaporação utilizou-se a Equação (98).

$$q = UA(T_{vapor} - T_{eb}) \quad (98)$$

Onde q representa o calor transferido do vapor para solução a ser concentrada, U o coeficiente de troca térmica, T_{vapor} a temperatura do vapor, T_{eb} a temperatura de ebulição no efeito e A representa a área de troca térmica.

Uma estimativa do calor cedido pelo vapor em cada estágio pode ser determinada pelas Equações (99), (100) e (101), para o primeiro, segundo e terceiro efeito, respectivamente.

$$q_1 = S \lambda_s \quad (99)$$

$$q_2 = V_1 \lambda_1 \quad (100)$$

$$q_3 = V_2 \lambda_2 \quad (101)$$

Sendo S a representação da corrente de vapor proveniente da caldeira e λ o calor latente.

O mesmo pode ser aplicado para determinar as áreas de troca térmica (A) de cada efeito. Para isso, utilizou-se das Equações (102), (103) e (104), para o primeiro, segundo e terceiro efeito, respectivamente.

$$A_1 = \frac{q_1}{U_1 \Delta T_1} \quad (102)$$

$$A_2 = \frac{q_2}{U_2 \Delta T_2} \quad (103)$$

$$A_3 = \frac{q_3}{U_3 \Delta T_3} \quad (104)$$

Para detectar o fim das iterações e finalização para com os resultados computacionais, fez-se uso da Equação (105), onde se estima um desvio, representado pela letra E.

$$E = (A_1^i - A_1^{i-1})^2 + (A_2^i - A_2^{i-1})^2 + (A_3^i - A_3^{i-1})^2 \quad (105)$$

Após a verificação da convergência dos resultados computacionais, avaliou-se a economia de vapor que é um parâmetro importante, sendo esse o responsável por indicar a necessidade, ou não, de um maior ou menor número de efeitos no sistema de evaporação de múltiplos estágios. Uma economia superior a 2, já indica viabilidade técnica no reaproveitamento do vapor gerado (GEANKOPLIS, 2009), para determinar essa economia fez-se uso da Equação (106).

$$Economia = \frac{(V_1 + V_2 + V_3)}{S} \quad (106)$$

Para estruturar o código computacional assumiu, além das considerações, equações e dados já apresentados, um desvio de 0,001, sendo então o valor do desvio E, apresentado na Equação (105). O programa irá gerar um *loop* até que esse valor seja menor que inicialmente determinado (0,001), ou seja, que o E calculado seja menor que o desvio inicial.

Para melhor compreensão do método de resolução, foi criado um diagrama de blocos (Figura 50) representando os passos para solução desse problema que envolve as equações, tanto do balanço material quanto energético, anteriormente apresentadas, juntamente com os dados iniciais da Tabela 24.

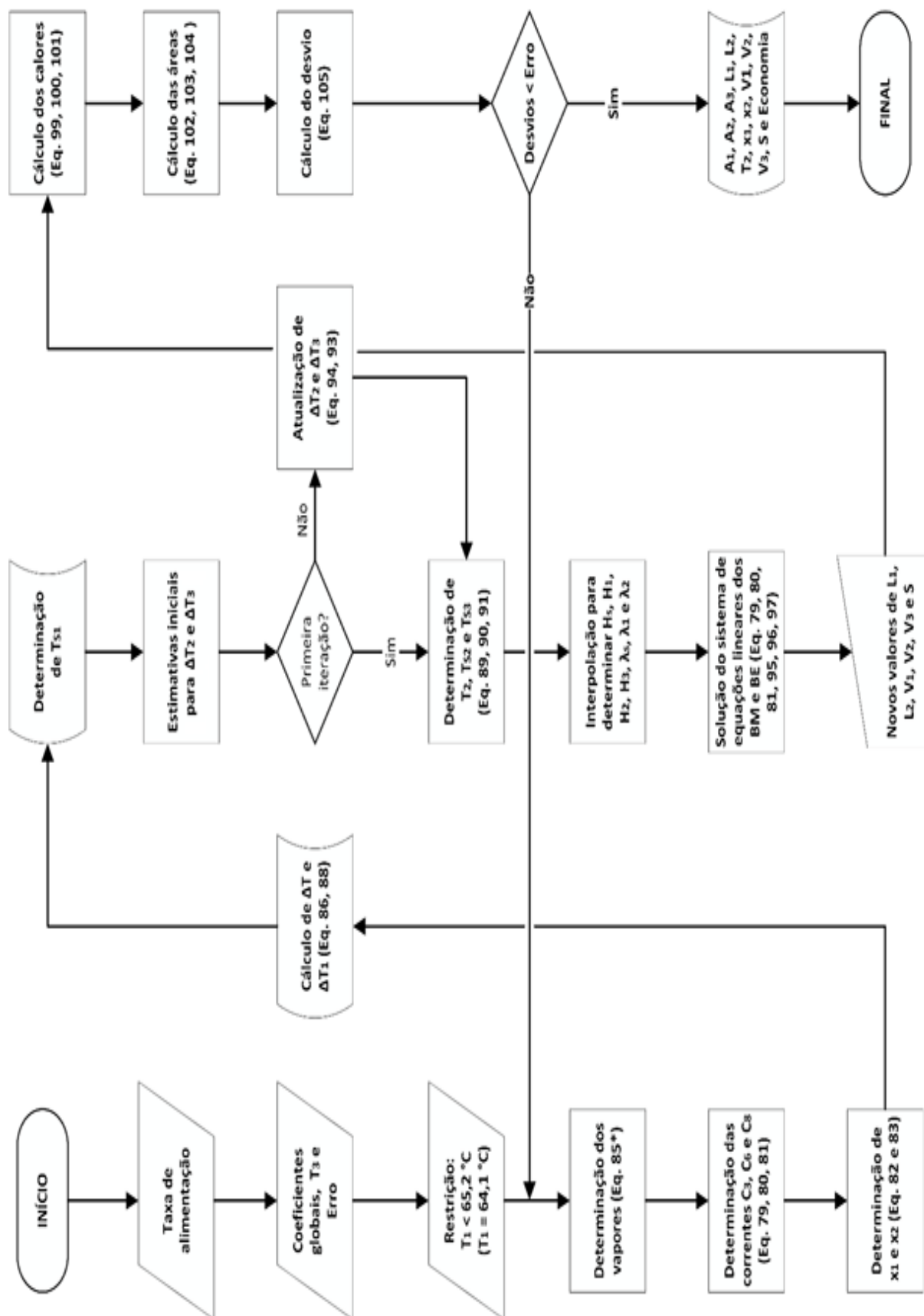
O diagrama de blocos primeiramente assume os dados fornecidos ou estimados para primeira iteração, resolvendo as equações do balanço material, posteriormente faz-se a determinação do ponto de ebulição, cálculo da variação de temperatura no primeiro efeito e a estimativa para as demais variações (efeitos posteriores). Estima-se então, as temperaturas desconhecidas para a primeira iteração, onde é realizado em sequência a interpolação para obter as entalpias e calores latentes.

Diante disso calcula-se simultaneamente as equações de balanço de massa e de energia, de modo que é obtido novos valores para as correntes, com exceção

das correntes de alimentação e a corrente concentrada do último efeito (C_9) que são constantes. Então, são calculados o calor cedido pelos vapores e posteriormente é calculado as áreas e verificado se houve a convergência do desvio das áreas para o erro admitido.

Se houver convergência, então é calculada a economia de vapor e os dados obtidos nessa iteração serão os resultados para o sistema de equação que envolve os balanços de massa e de energia. Caso contrário, esses dados serão utilizados como nova estimativa para as correntes, seguindo o mesmo processo até chegar nas estimativas para as variações de temperaturas no terceiro e segundo efeito, que são atualizados utilizando as Equações (93) e (94).

Figura 50 - Diagrama de blocos do algoritmo de resolução do sistema de equações dos balanços de massa e energia e dimensionamento das áreas de trocas térmicas para cada efeito do evaporador.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2018.

Após a convergência dos resultados obtém-se as vazões das correntes que serão concentradas, as concentrações entre os efeitos, a quantidade de vapores produzidos nos efeitos e o vapor necessário da caldeira. A Tabela 25 apresenta todas as correntes do sistema de evaporação, incluindo dessa forma os resultados obtidos e os dados conhecidos.

Tabela 25 - Vazões mássicas para todas as correntes do sistema de evaporação.

Corrente	Variável	Sólidos totais	m (kg/dia)
Vapor da caldeira	S	0	263.430
Alimentação	C ₂	0,070	824.000
Concentrada 1º efeito	C ₃	0,096	598.050
Vapor 1º efeito	V ₁	0	225.950
Líquido saturado	L	0	263.430
Concentrada 2º efeito	C ₆	0,158	364.440
Líquido saturado	C ₅	0	225.950
Vapor 2º efeito	V ₂	0	233.610
Concentrada 3º efeito	C ₉	0,500	115.360
Líquido saturado	C ₈	0	233.610
Vapor 3º efeito	V ₃	0	249.080

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2018.

Conhecendo todas as correntes para o evaporador de acordo com a taxa de alimentação (corrente C₂), foi possível determinar as composições da corrente concentrada na saída do evaporador (corrente C₉) em termos de cada componente, juntamente com os dados da corrente de alimentação, dos quais encontram-se sumarizados na Tabela 26.

Tabela 26 - Composição do soro de leite antes (corrente C₂) e após (corrente C₉) o processamento no sistema de evaporação.

Corrente	C2		C9	
	x	m (kg/dia)	x	m (kg/dia)
Água	0,930	766.320	0,500	57.680
Gordura	0,002	1.648	0,014	1.648
Proteínas	0,008	6.592	0,057	6.592
Lactose	0,049	40.376	0,350	40.376
Cinzas	0,011	9.064	0,079	9.064
TOTAL	1,000	824.000	1,000	115.360

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2017.

Os resultados após convergência na quinta iteração para as variações de temperaturas em cada efeito estão apresentados na Tabela 27.

Tabela 27 - Resultados para as variações de temperaturas em cada efeito do evaporador.

Evaporador	Variável	T (K)
E-201	ΔT_1	115,90
E-202	ΔT_2	17,05
E-203	ΔT_3	17,05

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2018.

Diante dos resultados obtidos com a finalização do programa foi possível observar a convergência dos resultados, atendendo as igualdades impostas na Equação (86), apresentando um mesmo valor de temperatura (150 °C), demonstrando coerência junto aos balanços materiais e energéticos aqui desenvolvidos.

Dos resultados obtidos tem-se as temperaturas estimadas no segundo efeito, bem como as temperaturas das correntes de vapor empregadas nos estágios de evaporação, disponíveis na Tabela 28.

Tabela 28 - Temperaturas obtidas numericamente para o segundo efeito do evaporador e das correntes de vapor utilizadas.

Corrente	Variável	T (°C)
C ₃ e V ₂	T ₂	47,04
L	T _{S1}	180,00
C ₅	T _{S2}	64,10
C ₈	T _{S3}	47,04

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2018.

Analogamente ao desenvolvimento aqui apresentado, tem-se os resultados das variações de temperatura e os calores específicos para cada efeito, dos quais estão sumarizados na Tabela 29.

Tabela 29 - Calores específicos e variações de temperaturas das correntes de alimentação e concentradas ao longo do evaporador.

Corrente	Variável	c _p (kJ/kg.K)	ΔT (K ou °C)
C ₂	C _{pa}	3,435	55,00
C ₃	C _{p1}	3,377	64,10
C ₆	C _{p2}	3,241	47,04
C ₉	C _{p3}	2,449	30,00

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2018.

Adicionalmente, as entalpias determinadas para os vapores podem ser observadas na Tabela 30.

Tabela 30 – Entalpias dos vapores determinadas após a convergência da solução numérica e interpolação.

Corrente	Variável	Entalpia (kJ/kg)
S	H _s	2.776,30
V ₁	H ₁	2.616,80
V ₂	H ₂	2.586,90
V ₃	H ₃	2.429,80

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2018.

Sabe-se que o calor latente pode ser entendido como a energia na forma de calor cedida pelo vapor quando há a condensação, que pode ser determinado pela diferença entre a entalpia da água como vapor saturado e a entalpia da água como líquido saturado. Os dados dos calores latentes interpolados na quinta iteração estão apresentados na Tabela 31.

Tabela 31 – Calor latente das correntes contidas no sistema de evaporação de três estágios da MDLGV.

Correntes	ΔH	Variável	Calor latente (kJ/kg)
S e L	H _s – h _L	λ_s	2.014,20
V ₁ e C ₅	H ₁ – h _{C5}	λ_1	2.347,60
V ₂ e C ₈	H ₂ – h _{C8}	λ_2	2.389,10

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2018.

As temperaturas de ebulição e as pressões (vácuo) que devem ser aplicadas nas correntes de alimentação de soro de leite em cada efeito podem ser observadas na Tabela 32.

Tabela 32 - Dados de temperatura de ebulição e pressão (vácuo) para cada efeito do evaporador.

Evaporador	T _{eb} (°C)	Pressão (vácuo) (kPa)
E-201	64,10	24,56
E-202	47,05	10,88
E-203	30,00	4,25

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2018.

Os calores cedidos, do vapor para a solução, em seus respectivos efeitos podem ser observados junto a Tabela 33.

Tabela 33 – Calores cedidos pelo vapor em cada efeito do evaporador.

Evaporador	Variável	Calor cedido (kW)
E-201	q ₁	6.141,10
E-202	q ₂	6.139,30
E-203	q ₃	6.459,60

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2018.

Com os dados do calor cedido pelo vapor em cada efeito, foi possível estimar as áreas de cada efeito do evaporador, disponíveis na Tabela 34.

Tabela 34 – Áreas de troca térmica determinadas para cada efeito do evaporador.

Evaporador	Variável	Área de troca térmica (m ²)
E-201	A ₁	16,96
E-202	A ₂	181,17
E-203	A ₃	333,57

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2018.

Os valores apresentados pela Tabela 34 podem ser interpretados como a área útil de contato indireto da solução a ser concentrada com a corrente de vapor. Os coeficientes de troca de calor adotados para o dimensionamento do equipamento (evaporador) afetam diretamente no valor inferior para a área de troca térmica no primeiro estágio, sendo o mesmo um dos fatores que influenciam no desvio das áreas quando comparado com os efeitos posteriores.

Contudo, as discrepâncias significativas entre as áreas se devem principalmente devido a grande diferença entre as variações de temperaturas, que estabelecem uma relação inversamente proporcional da área com a variação de temperatura. No entanto, essas diferenças se fazem necessárias para garantir a formação de vapor e atender as exigências do processo.

Nos estágios E-202 e E-203, as variações de temperaturas foram bem próximas, mas as áreas como apresentadas na Tabela 34, ainda apresentam desvios quando comparadas. Isso pode ser explicado quando submetida a uma avaliação da concentração do segundo efeito ($x_2 = 0,158$) com a do terceiro efeito ($x_3 = 0,500$), onde é possível observar a partir da Tabela 33, que para compensar a proximidade das variações de temperatura, há um aumento do calor cedido do vapor para atingir as especificações do processo no terceiro efeito. Outra abordagem pode ser realizada analisando a Equação (98), onde o aumento do calor cedido pelo vapor pode ocasionar no aumento da área de troca térmica do estágio.

Como já abordado nesse desenvolvimento, a economia de vapor é um importante indicativo para verificar a eficiência do número de efeitos utilizados. Nesse balanço energético foi possível determinar o valor da economia do sistema de evaporação, calculada numericamente, cujo valor encontrado após a convergência dos resultados foi de 2,69 kg de água evaporada por kg de vapor consumido.

O desenvolvimento aqui realizado, no que se refere à solução numérica utilizada, pode ser observada no Apêndice L do presente trabalho.

12.2 BALANÇO DE ENERGIA NOS TROCADORES DE CALOR

Nos trocadores de calor as utilidades necessárias para a operação dos mesmos podem ser o vapor ou a água fria, que tem como objetivo aquecer ou resfriar a corrente de processo, respectivamente. Dessa forma, calculou-se essas utilidades considerando que o vapor entra saturado e sai em forma de líquido saturado, ou seja, não há calor sensível envolvido na troca térmica. Outra consideração realizada é que o ar se comporta como gás ideal.

Os valores encontrados a partir do balanço de energia, utilizando-se as Equações (73), (74) ou (75), estão dispostos nas Tabelas 35 e 36, juntamente com as temperaturas de entrada e saída das correntes de processo. Os cálculos realizados podem ser observados no Apêndice M, cujos detalhes estão disponíveis para o entendimento do desenvolvimento do balanço energético para estes equipamentos.

Tabela 35 - Dados obtidos com o balanço de energia para os trocadores de calor.

Trocador de Calor	Descrição	Fluido	Taxa mássica do fluido (kg/dia)	Energia trocada (J/dia)	T _{entrada} corrente (°C)	T _{saída} corrente (°C)
TC - 201	Aquecimento do soro do leite diluído	Vapor	69.838,11	1,41E+11	5	55
TC - 202	Resfriamento da água do evaporador	Água fria	582.252,71	5,86E+10	55,41	25
TC - 203	Resfriamento do vapor do evaporador	Água fria	6.070.383,77	6,10E+11	30	25
TC - 204	Aquecimento da água pré-microfiltração	Vapor	4.797,60	9,67E+09	30	50
TC - 205	Aquecimento da água para diluição	Vapor	4.676,88	9,42E+09	25	50
TC - 301	Resfriamento do soro concentrado pós-ultrafiltração	Água fria	4.790,10	4,82E+08	50	25
TC - 401	Aquecimento da água pré-ultrafiltração	Vapor	1.459,55	2,94E+09	25	50
TC - 402	Resfriamento do soro concentrado pós-ultrafiltração	Água fria	1.465,79	1,47E+08	50	25
TC - 501	Resfriamento do vapor e ar após a secagem	Água fria	443.442,92	4,46E+10	170	25
TC-502	Resfriamento do vapor e ar após a secagem	Água fria	135.539,88	1,36E+10	170	25

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2018.

Tabela 36 - Dados obtidos com o balanço de energia para os trocadores de calor por resistência elétrica.

Trocador de Calor	Descrição	Energia trocada (J/dia)	Potência Requirida (kW)	T _{entrada} corrente (°C)	T _{saída} corrente (°C)
TC-601	Aquecimento do ar para o <i>Spray Dryer</i>	5,24E+10	607,00	25	200
TC-602	Aquecimento do ar para o <i>Spray Dryer</i>	1,60E+10	185,76	25	200

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2018.

12.3 BALANÇO DE ENERGIA NA CALDEIRA

A caldeira, como já mencionado, é o equipamento responsável por gerar e fornecer energia para toda a planta industrial. A taxa mássica de vapor requerida foi obtida realizando-se a soma de todas as correntes dos demais equipamentos onde o mesmo é empregado. Após isso, calculou-se, então, com auxílio das Equações (73), (74) ou (75), a quantidade de calor produzido na caldeira e, em seguida, em posse do poder calorífico da madeira, que é de 12.080,2 kJ/kg (ENGEMAN, 2018), obteve-se a massa de cavacos necessária para essa geração energética, como apresentado na Tabela 37 abaixo. Adicionalmente, considerou-se que o combustível utilizado é madeira seca e livre de umidade, que possui massa específica de aproximadamente 350 kg/m³ (FOELKEL, 2018), o que fornece um volume de 6.418,48 m³ de madeira por dia. O desenvolvimento para esse balanço energético pode ser observado junto ao Apêndice N.

Tabela 37 - Balanço energético realizado para a caldeira.

Componente	Água/Vapor	Madeira
Taxa mássica (kg/dia)	339.504,54	74.882,28
Temperatura de Entrada (°C)	25	-
Temperatura de Saída (°C)	180	-
Energia (J/dia)	9,05E+11	-9,05E+11

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2018.

12.4 BALANÇO DE ENERGIA NO *SPRAY DRYER*

A utilidade necessária para a operação do *Spray Dryer* é o ar quente, empregado para realizar a secagem por atomização do soro do leite. Dessa forma, calculou-se a taxa mássica de ar quente, através do balanço de energia, novamente

utilizando as Equações (73), (74) ou (75), considerando que a pressão do ar no atomizador é 30 psi e as temperaturas de entrada e saída do ar são, respectivamente, 200 °C e 170 °C. Considerou-se também que a secagem ocorre de maneira rápida o suficiente para que o produto saia com a mesma temperatura da corrente de entrada do equipamento e que o ar trata-se de um gás ideal.

Os resultados dos balanços de energia para a produção do *Whey Protein Concentrado* e *Isolado* estão apresentados nas Tabelas 38 e 39 a seguir, respectivamente. Adicionalmente, é possível observar parte dos cálculos realizados para este balanço energético no Apêndice O contido no presente trabalho.

Tabela 38 - Balanço de energia no *Spray Dryer* para a linha de produção do WPC.

Corrente	43	Vapor	Ar	WPC
Taxa mássica (kg/dia)	7.634,73	3.435,63	298.211,90	4.213,77
Temperatura de Entrada (°C)	25	-	200	-
Temperatura de Saída (°C)	-	170	170	50
Energia (J/dia)	-	9,13E+09	-9,13E+09	-

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2018.

Tabela 39 - Balanço de energia no *Spray Dryer* para a linha de produção do WPI.

Corrente	43	Vapor	Ar	WPI
Taxa mássica (kg/dia)	2.336,26	1.051,31	91.254,22	1.342,68
Temperatura de Entrada (°C)	25	-	200	-
Temperatura de Saída (°C)	-	170	170	50
Energia (J/dia)	-	2,79E+09	-2,79E+09	-

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2018.

13 INTEGRAÇÃO ENERGÉTICA (REDES DE TROCADORES DE CALOR)

Na indústria química e petroquímica atual a conservação de energia tornou-se um dos temas de maior preocupação e relevância. O contínuo aumento dos custos de insumos energéticos, redução de disponibilidade dos combustíveis e aumento das restrições ambientais à emissão de poluentes inerente à geração de energia, têm justificado o investimento em projetos industriais que minimizem seu consumo energético (BENINCA, 2008).

Desde a primeira metade do século 20 procurava-se uma abordagem sistemática para a otimização do consumo energético das plantas industriais (LINNHOFF, 1989). Entenda-se por otimização energética como o máximo aproveitamento da energia disponível das correntes de processo, com o mínimo consumo adicional de utilidades (vapor de aquecimento, água de resfriamento, etc.). Essa definição centra o foco de análise nas correntes de processo e permutadores de calor que promovem a troca de energia entre elas, levando ao conceito de Integração Energética pelo Projeto de Redes de Trocadores de Calor, que consiste em técnicas para o dimensionamento de trocadores de calor e determinação da topologia da rede (combinação entre correntes de processo) com o objetivo de minimizar o consumo energético (BENINCA, 2008).

No fim da década de 70, através do trabalho de Boland e Linnhoff (1979), a Tecnologia *Pinch* surgiu como a solução para o problema de otimização energética, propondo-se a oferecer ferramentas simples e práticas que apresentavam de forma gráfica conclusões rápidas sobre a necessidade energética mínima e a quantidade ótima de trocadores de calor para um dado processo industrial (LINNHOFF, 1993). De fato, a Tecnologia *Pinch* permite que se estime até mesmo a área de troca térmica total necessária, estabelecendo assim alvos (*targets*) que podem ser buscados durante o desenvolvimento do projeto. Pode-se conhecer previamente a demanda mínima de energia, o número e área total dos trocadores de calor e, de posse dessas informações, avaliar a viabilidade econômica de um projeto em análise ou estimar o potencial de redução energética de um processo existente.

A Análise *Pinch* parte de uma definição inicial do problema a ser avaliado, no qual as operações unitárias são eliminadas, mantendo-se apenas as correntes de processo que as interligam, e as correntes de utilidades disponíveis. As correntes de

processo são caracterizadas por suas temperaturas de início e fim, e pela quantidade de energia que carregam: o produto da vazão mássica (\dot{m}) pelo calor específico (c_p) considerado constante. Os parâmetros utilizados para desenvolver a integração energética do processo da MDLGV estão dispostos na Tabela 40.

Tabela 40 - Parâmetros utilizados para o desenvolvimento da integração energética.

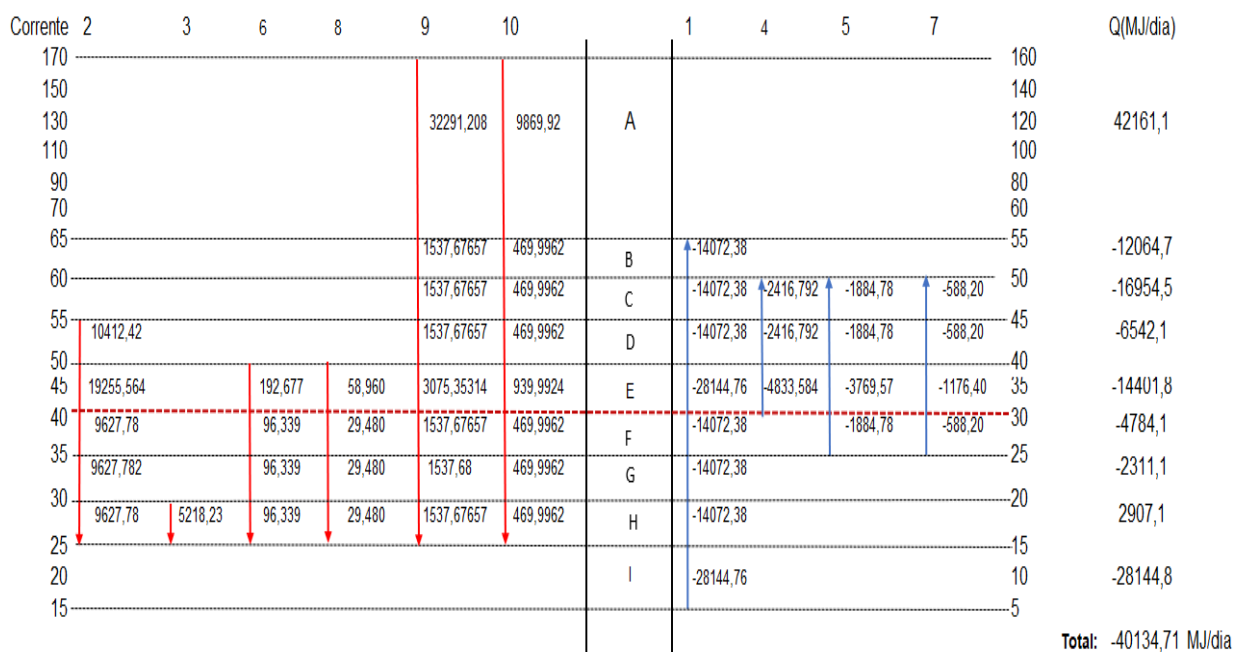
Corrente	Intervalo	\dot{m} (kg/dia)	c_p (J/kg.K)	$\dot{m} \cdot c_p$ (MJ/dia.K)	T_{entrada}	$T_{\text{saída}}$
1	1-2	824000	3415,6	2814,48	5	55
2	13-14	459560	4190,0	1925,56	55	25
3	10-15	249080	4190,0	1043,65	30	25
4	17-19	115360	4190,0	483,36	30	50
5	25-26	89965,82	4190,0	376,96	25	50
6	30-31	7634,74	2523,7	19,27	50	25
7	36-37	28076,30	4190,0	117,64	25	50
8	41-42	2336,27	2523,7	5,90	50	25
9	46C-55C	301632,86	1019,6	307,54	170	25
10	46I-55I	92247,81	1019,0	94,00	170	25

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2018.

Uma informação chave para a análise do problema é a mínima diferença de temperatura admitida entre uma corrente quente e uma corrente fria qualquer que troquem calor entre si, o chamado *approach* mínimo, ou ΔT_{min} . Este parâmetro afeta diretamente o resultado da análise: quanto menor o ΔT_{min} , mais calor pode ser trocado entre correntes quente e frias e, portanto, maior o aproveitamento energético levando a menores custos operacionais da rede projetada; no entanto maiores serão as dimensões dos trocadores envolvidos, levando a maiores custos de investimento.

Para o desenvolvimento da integração energética do processo produtivo da MDGLV utilizou-se $\Delta T=10$ °C, como pode ser observado na Figura 51.

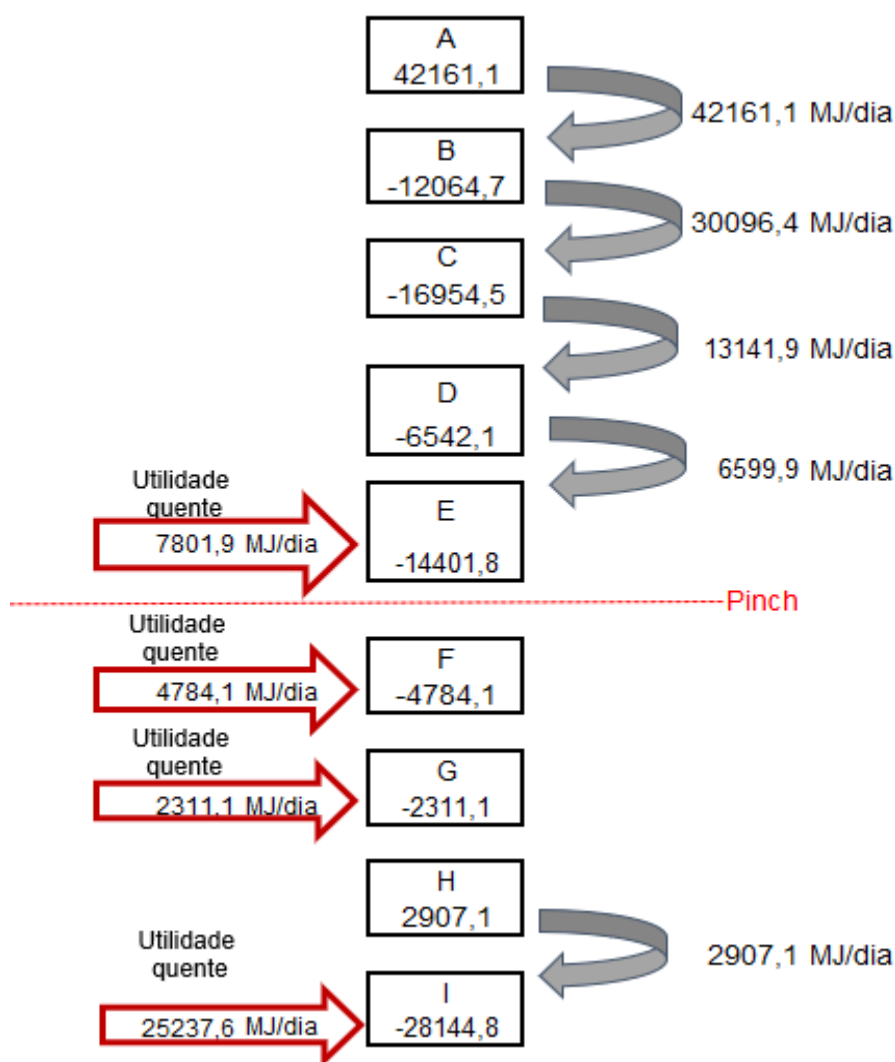
Figura 51 - Diagrama de temperatura.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2018.

O elemento que dá origem ao nome da metodologia, o ponto de *pinch*, representa o ponto de estrangulamento que divide o processo em duas sub-regiões, como pode ser observado na Figura 52, que dispõe de um diagrama cascata que apresenta o ponto de *pinch* do processo.

Figura 52 - Diagrama cascata.

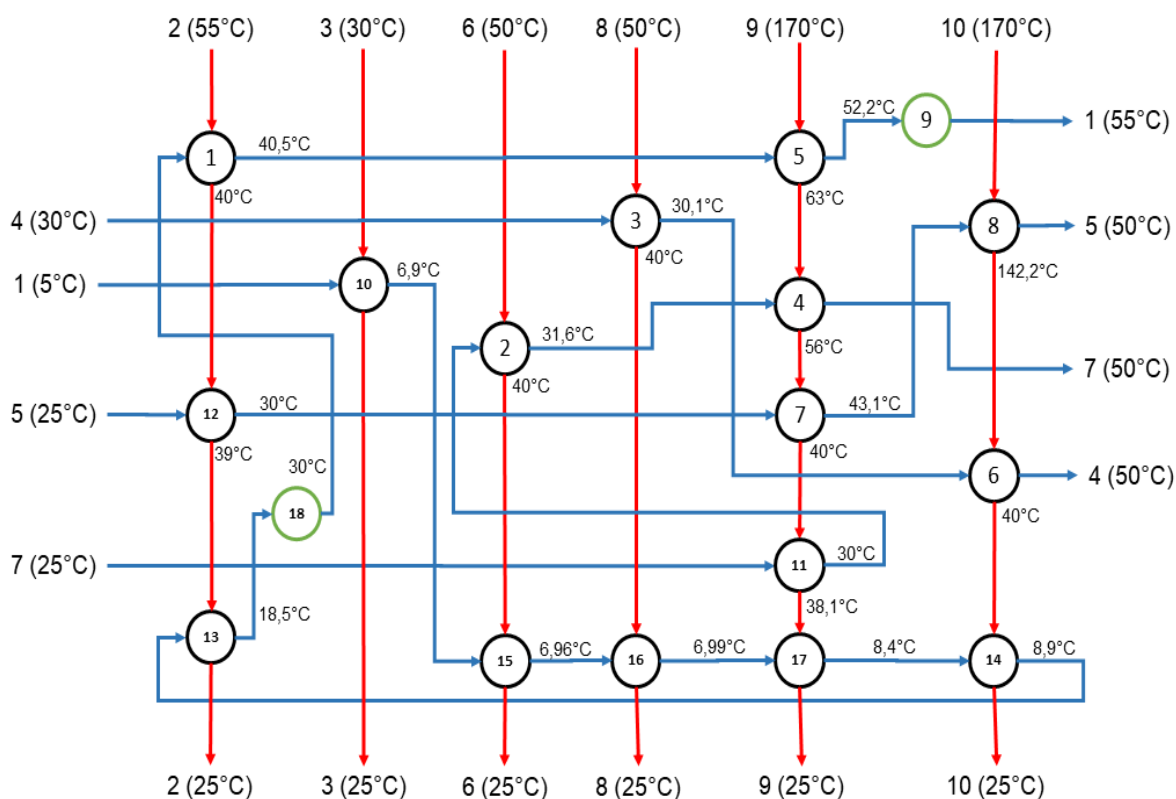


Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2018.

A região acima do *pinch* é deficitária em energia, de forma que, além do calor fornecido pelas correntes quentes, necessita de energia externa (na forma de utilidades quentes), para suprir a demanda das correntes frias. O inverso ocorre na região abaixo do *pinch*, onde as correntes quentes são superavitárias de energia, e precisam entregar parte de seu calor às utilidades frias, esse desenvolvimento pode ser observado junto ao Apêndice P.

Diante do diagrama cascata, conhecendo o ponto de *pinch*, é possível construir a rede de trocadores necessárias para realização da integração energética. Para a MDLGV, a rede de trocadores aplicada ao processo pode ser observada na Figura 53.

Figura 53 - Rede de trocadores de calor.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2018.

Com base na rede de trocadores construída foi possível estimar a recuperação dos vapores empregados no processo, dos quais são provenientes da caldeira. Essa recuperação é dada pela razão das diferenças entre a utilidade quente antes e depois da realização da integração pela utilidade quente antes da integração, como pode ser observada na Equação (107).

$$\text{Recuperação}(\%) = \frac{\text{Utilidade quente antes da integração} - \text{Utilidade quente após a integração}}{\text{Utilidade quente antes da integração}} \quad (107)$$

Com a integração energética aplicada ao processo da MDLGV é possível observar uma recuperação de cerca de 83%. A técnica tradicional adotada para a integração energética da planta sob consideração, no entanto, presume parâmetros fixos: temperaturas e vazões das correntes de processo são fixas, representando o cenário de projeto de operação.

Levando-se em conta que indústrias reais operam em condições variáveis e diferentes daquelas estabelecidas em projeto, seja por modificação das condições de

entrada (mudança de vazão, temperatura ou composição da carga, temperatura ambiente oscilando ao longo do dia, etc.) ou pela deterioração da eficiência dos equipamentos de processo (sujidade, perda de atividade de catalisadores, etc.), uma abordagem que considerasse as variações em relação ao projeto tornaria a análise mais robusta e melhor aplicável.

14 PRODUTOS

A MDLGV no ato de suas atividades iniciais apresenta dois principais produtos corporativos em embalagens de 25 kg, sendo esses o *Whey Protein* Concentrado e Isolado, cujos nomes são UTliFe PRotein e UTliFe isoPRotein, respectivamente. Um esboço das embalagens desses produtos pode ser observado nas Figuras 54 e 55. Ressalta-se que a embalagem é fabricada em papel, do tipo *kraft*, que tem em sua característica grande resistência a estouros e rasgos, além de ser um material não higroscópico, ou seja, não absorve a umidade do ambiente, sendo muito empregados para embalagens industriais. Os preços serão discutidos na análise econômica do presente trabalho.

Figura 54 - Embalagem de *Whey Protein* Concentrado da MDLGV.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2018.

O UTliFe PRotein é um composto em pó de *Whey Protein* Concentrado, com 79% de concentração em proteínas, segue todos os padrões de controle de qualidade e boas práticas de fabricação oferecendo aos clientes um produto de excelência.

Figura 55 - Embalagem de *Whey Protein* Isolado da MDLGV.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2018.

Já o UTLiFe isoPRotein, apresenta um composto em pó de *Whey Protein* Isolado, cuja concentração alcança 90,5% de proteínas em sua composição, o que garante competitividade no mercado frente aos produtos existentes, pois segue todos os padrões de qualidade e boas práticas de fabricação, assim como todos os produtos da marca MDLGV.

Futuramente a empresa se planeja para apresentar ao mercado novos produtos provenientes do soro do leite, expandindo seus negócios fora do ambiente corporativo, ou seja, dispondo de mercadorias também para o consumidor final, como bebidas lácteas (pasteurizadas e fermentada), ricota, doce de leite com soro, entre outros. Também há uma perspectiva de expandir sua produção na área de laticínios com a comercialização de toda a cadeia de leite em pó (integral, desnatado, zero lactose e enriquecido com maltodextrina), a fim de para aumentar a lucratividade, crescer no mercado nacional e tornar a marca MDLGV consolidada em todo território visando a expansão internacional.

15 UNIDADE DE TRATAMENTO DE EFLUENTE

A necessidade industrial de gerar o menor impacto ambiental possível vêm ganhando espaço no cenário socioeconômico atual, devido ao desenvolvimento tecnológico das máquinas, dos processos e com a expansão da capacidade produtiva das indústrias de modo mais sustentável. Isso ocorre devido a conscientização sobre os recursos não-renováveis e os efeitos que a poluição excessiva pode trazer a curto prazo. Sendo que estes fatores podem interferir diretamente na qualidade de vida e no dia a dia da população.

Para as indústrias, a eficiência do sistema de tratamento de efluentes é uma das medidas para reduzir o impacto e a poluição ambiental. Pelo balanço material realizado observa-se que há uma grande quantidade de água residuária em boas condições para reutilização, proveniente da evaporação, corrente residuária R₁. A separação dessa água para reuso é uma alternativa ecológica que a MDLGV encontrou para evitar o desperdício desse recurso tão importante para a humanidade.

15.1 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE E PADRÕES DE LANÇAMENTO

Os parâmetros de entrada do efluente da MDLGV foram definidos com base na composição do soro do leite doce sem processamento, visando dimensionar a unidade de tratamento em condições críticas, para que o lançamento do efluente no corpo receptor esteja de acordo com os padrões do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

A estação foi projetada para tratar todos os efluentes gerados na planta, bem como um excedente que corresponde a 30% do volume máximo de matéria-prima recepcionada diariamente. Na Tabela 41 constam os principais parâmetros do soro do leite doce segundo Henares (2015).

Tabela 41 - Parâmetros do soro do leite doce.

Parâmetros	Faixa de variação
Sólidos suspensos voláteis	24 – 5.700 mg/L
Sólidos suspensos totais	135 – 8.500 mg/L
DQO	500 – 4.500 mg/L
DBO	450 – 4.790 mg/L
Proteína	210 – 560 mg/L
Gorduras/Óleos e graxas	35 – 500 mg/L
Carboidratos	252 – 931 mg/L
Amônia	10 – 100 mg/L
Nitrogênio	15 – 180 mg/L
Fósforo	20 – 250 mg/L
Sódio	60 – 807 mg/L
Cloretos	48 – 469 mg/L
Cálcio	57 – 112 mg/L
Magnésio	22 – 49 mg/L
Potássio	11 – 160 mg/L
pH	5,3 – 9,4
Temperatura	12 – 40 °C

Fonte: HENARES, 2015.

As exigências legais de lançamento devem ser avaliadas de acordo com a legislação vigente para a classe de cada corpo hídrico. As instalações da MDLGV encontram-se próximas ao rio Iapó, que de acordo com a COBRAPE (2014), encontra-se na Classe 3, o que permite que os efluentes tratados na ETE sejam dispostos junto a esse corpo hídrico respeitando as normas pré-estabelecidas, mantendo a fidelidade da empresa junto ao meio ambiente.

Segundo a resolução 357/05 do CONAMA (2005), no Artigo 16, as condições da qualidade da água na emissão para corpos hídricos de Classe 3 devem respeitar os seguintes parâmetros:

- ser virtualmente ausentes os materiais flutuantes, inclusive espumas não naturais;
- ser virtualmente ausentes os óleos e graxas;
- ser virtualmente ausentes substâncias que comuniquem gosto ou odor;
- não haver corantes de fontes antrópicas;
- ser virtualmente ausentes os resíduos sólidos objetáveis;
- possuir DBO de até 10 mg.L⁻¹ em 20 °C, turbidez de até 100 UNT e cor verdadeira de até 75 mg.Pt.L⁻¹;
- apresentar OD maior que 4 mg.L⁻¹ O₂ e pH entre 6,0 a 9,0.

15.2 TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS

O tratamento de efluentes consiste em adequar os descartes provenientes do processo junto às normas da legislação vigente. Diante dos parâmetros exigidos, são realizados procedimentos referentes à necessidade de remoção dos sólidos em suspensão, faz-se também um estudo para minimizar as quantidades de gorduras bem como a possibilidade de remover a carga de materiais orgânicos solúveis e semissolúveis, além de avaliar tratamentos referentes ao odor e sabor.

O tratamento de efluentes pode ser dividido em processos físicos, químicos ou biológicos (JORDÃO, 2011). As separações físicas se enquadram na remoção de substâncias que não se encontram dissolvidas, para essas operações faz-se o uso da caixa de gordura e da decantação. Para os processos químicos ou biológicos, são adicionados agentes químicos e/ou microrganismos para a digestão e oxidação da matéria orgânica (GIORDANO, 2004). As etapas da unidade de tratamento de efluentes para a MDLGV são compostas por um tanque de equalização, lagoas de estabilização, reator de lodo ativado e decantador.

15.3 PROCESSOS, NÍVEIS DE TRATAMENTOS E BALANÇO DE MASSA

Os resíduos das correntes R₂, R₃, R₄, R₆, R₇ e R₈ (Figura 15) serão realocados para um tanque de equalização, pois podem sair dos processos em temperaturas elevadas e com diferentes concentrações de matérias orgânicas, sólidos suspensos e pH. O objetivo é corrigir as discrepâncias entre as correntes dos resíduos e uniformizar as propriedades físico-químicas do efluente, é válido ressaltar que as características dos efluentes na indústria de alimentos, no geral, são livres de areias e sólidos grosseiros.

Como critério de praticidade e economia de espaço, o tanque de equalização será projetado para funcionar também como uma caixa de gordura que, por considerações realizadas para o balanço material, irá remover toda a gordura do efluente. O tempo de retenção, para equalização das propriedades físico-químicas e térmicas, foi estimado em 1 dia. A corrente proveniente do evaporador (R₁) será remanejada como água de reuso após ser tratada em uma torre de filtração. As correntes R₅ e R₉, provenientes do *Spray Dryer*, compostas apenas por água, são absorvidas pelo ar e liberadas na atmosfera, após tratamento térmico.

Não há quantidades significativas de sólidos finos ou grossos em suspensão, que justifiquem o emprego de lagoas de coagulação e flotação. Dessa forma, para o tratamento das substâncias orgânicas dissolvidas, semidissolvidas e finamente particuladas, que são provenientes das parcelas de proteína, lactose e cinzas removidas durante os processos, optou-se pela implementação de uma lagoa anaeróbica (LAN), seguida por uma lagoa facultativa (LF) e, posteriormente, por um sistema de lodo ativado (LA) com decantador. Ainda, devido à necessidade de controle da vazão de despejo no corpo hídrico, foi conectada uma calha Parshall.

As lagoas de estabilização são unidades projetadas para atuar por meio de mecanismos predominantemente biológicos, dessa forma sua utilização é favorável nas indústrias de laticínios devido às características do efluente, que possui grande quantidade de matéria orgânica dissolvida. O objetivo dessa fase é reduzir a carga orgânica com a utilização de microrganismos que irão digerir-la e oxidá-la por meio de processos biológicos (SILVA; EYNG, 2014). Para o projeto da ETE, a MDLGV adotou uma lagoa anaeróbia e outra facultativa, sendo que a primeira possui uma profundidade maior, a fim de manter baixa a quantidade de oxigênio, o que permite a proliferação de microrganismos anaeróbios. A segunda, por sua vez, trabalha também com os aeróbios, com a finalidade de digerir a carga orgânica do efluente (ALMEIDA; GROSSI, 2014).

O sistema de lodo ativado situa-se após as lagoas de estabilização e possui o intuito de garantir a adequação dos parâmetros do efluente na legislação. O processo de biodegradação da matéria orgânica consiste em transformá-la em gás carbônico, água e lodo, por meio do fornecimento de oxigênio, proveniente do ar atmosférico (GIORDANO, 2004).

A Figura 56 apresenta as faixas de remoção, para diversos tratamentos conforme divulgado pela SABESP em 2009, em que:

FS+FA: Fossa séptica seguida de filtro anaeróbio;

LF: Lagoas facultativas;

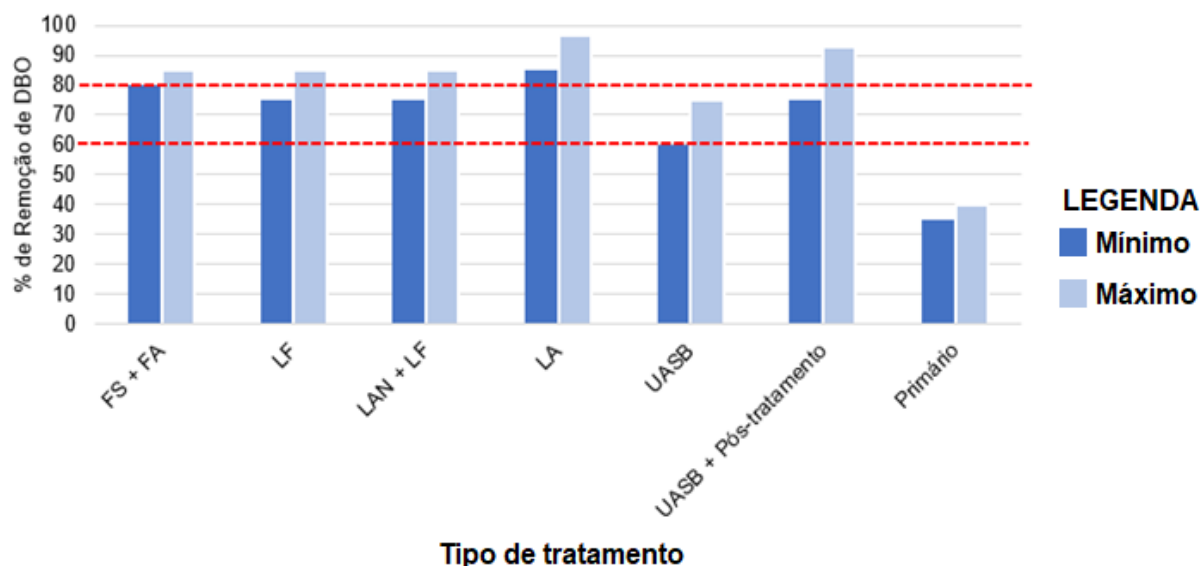
LAN+LF: Lagoas anaeróbias seguidas por lagoas facultativas;

LA: Lodos ativados;

UASA+Pós-tratamento: Reatores UASB sem pós-tratamento;

PRIMÁRIO: Tratamento primário (remoção dos sólidos sedimentáveis e parte da matéria orgânica).

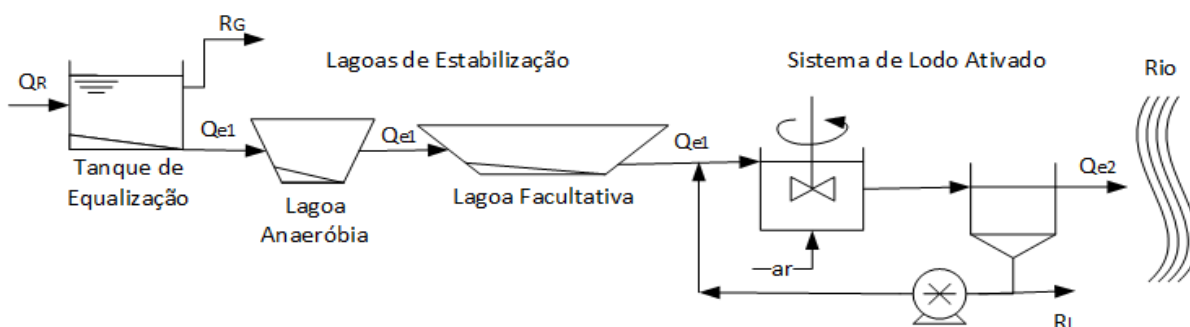
Figura 56 - Dados de remoção de DBO de acordo com o tipo de tratamento.



Fonte: SABESP, 2009.

Com base no esquema da Figura 57 realizou-se o balanço de massa para a ETE, sendo Q_R a soma das correntes de resíduos do processo, exceto R_1 , o que resulta em $456.923 \text{ L.dia}^{-1}$.

Figura 57 - Esquema para o sistema de tratamento de efluente industrial.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2017.

Portanto, para o balanço global no tanque de equalização, tem-se que:

$$Q_R = R_G + Q_{e1} \quad (108)$$

A Equação (109) apresenta o balanço de massa para a gordura, considerando que a caixa de gordura promove remoção total deste componente.

$$R_G = x_g Q_R \quad (109)$$

Para as lagoas anaeróbia e facultativa considera-se que não há acúmulo significativo de lodo, portanto, pode-se assumir o fluxo de entrada igual ao de saída. No presente trabalho foram adotadas remoções de 55% e 85% para as lagoas anaeróbia e facultativa, respectivamente, conforme os dados divulgados pela SABESP (2009).

Para o sistema de lodo ativado, a aeração acontece com ar atmosférico e há um reciclo parcial do lodo. É importante ressaltar que o lodo excedente é destinado para um aterro sanitário.

A Tabela 42 apresenta os dados de vazão, carga de DBO e teor de gordura das correntes, que foram calculados por meio de balanços materiais.

Tabela 42 - Resultados do balanço de massa para estação de tratamento de efluente.

Corrente	Q_R	Saída da LAN	Saída da LF	Saída do LA	R_L
Fluxo (L/dia)	456.923,4	454.979,6	454.979,6	454.924,9	>54,7
DBO (mg/L)	1.914,0	861,3	129,2	9,0	N.D.
Gordura (kg)	1.943,8	-	-	-	-

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2017.

A partir dos dados é possível observar que o efluente tratado se enquadra nos padrões exigidos pela legislação, portanto, o lançamento no corpo hídrico é permitido.

16 ANÁLISE ECONÔMICA

16.1 INVESTIMENTOS

O projeto financeiro da MDLGV Ltda tem por objetivo verificar se é possível o desenvolvimento e faturamento pretendido pela empresa, além de indicar o nível de atratividade do negócio. Para isso, foi feito um levantamento dos investimentos necessários para compra de terreno, equipamentos, mobília e outros utensílios administrativos, conforme apresentado na Tabela 43 abaixo. O valor referente às obras civis para construção da empresa (incluindo a Estação de Tratamento de Efluentes) foi estimado com auxílio do software Archicad, utilizado para fazer o projeto 3D e 2D, já apresentado anteriormente.

Tabela 43 - Investimentos fixos e pré-operacionais.

Descrição	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	TOTAL (R\$)
Tanque de Armazenamento	8	279.000,00	2.232.000,00
Evaporador	1	3.906.000,00	3.906.000,00
Torre de Filtração	1	37.000,00	37.000,00
Membrana de Microfiltração	2	1.214.742,75	2.429.485,50
Membrana de Ultrafiltração	4	1.214.742,75	4.858.971,00
Tanque Pulmão	12	31.620,00	379.440,00
Spray Dryer	1	446.400,00	446.400,00
Bomba Centrífuga	4	20.000,00	80.000,00
Bomba de deslocamento positivo	5	25.000,00	125.000,00
Compressor	1	43.000,00	43.000,00
Trocador de calor	12	-	109.652,76
Caldeira	1	4.000.000,00	4.000.000,00
Empacotadora	1	310.000,00	310.000,00
Móveis e utensílios administrativos	-	-	200.000,00
Terreno	-	-	1.120.000,00
Obras Civis	-	-	5.500.000,00

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2018.

É importante destacar que cada trocador de calor, como já apresentado em tópicos anteriores, possui um preço diferente e, por isso, não foi exibido um valor unitário na Tabela acima para esse equipamento.

16.2 FINANCIAMENTO

Uma simulação de financiamento foi feita através do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico (BNDES), que atualmente é o principal meio para

financiamentos a longo prazo e apoia empreendedores de todos os portes em todos os segmentos da economia brasileira, visando o progresso do país.

A categoria escolhida foi a “BNDES Finem – Aquisição de bens de capital”, que tem como objetivo o financiamento para aquisição de máquinas e equipamentos. A taxa de juros nesta modalidade é composta pelo Custo Financeiro, pela Remuneração do BNDES e pela Taxa de Risco de Crédito e é calculada por meio da Equação (110).

$$\text{Taxa de Juros} = \text{Fator Custo} \times \text{Fator Taxa do BNDES} \times \text{Fator Taxa de Risco} - 1 \quad (110)$$

$$\text{Fator} = \frac{\text{Taxa}}{100} + 1 \quad (111)$$

O Custo Financeiro é dado pela Taxa de Longo Prazo (TLP), que é projetada com base na expectativa da inflação para os próximos 12 meses, cuja porcentagem é igual a 6,71% ao ano. A Remuneração do BNDES tem por objetivo cobrir as despesas administrativas e operacionais e é um referencial mínimo igual a 0,9% ao ano. Por fim, a Taxa de Risco de Crédito reflete a remuneração para cobrir o risco de investimento no empreendimento. Trata-se de uma tarifa variável de acordo com o cliente, mas a partir de diversas pesquisas feitas sobre outros empreendimentos similares, estipulou-se uma taxa de risco igual a 3% ao ano. Dessa forma, depois de feitos os cálculos, a taxa de juros total resultou em 10,9% ao ano, o que equivale a 0,866% ao mês. É importante ressaltar que todas as cotações foram feitas em maio de 2018.

Na categoria de financiamento escolhida utiliza-se o Sistema de Amortização Constante (SAC). Nesse sistema, a amortização é um valor fixo, que pode ser calculado pela razão entre o montante financiado e o número de prestações. Os juros são aplicados em cima do saldo devedor, fazendo com que o preço das parcelas diminua a cada prestação.

O período para pagamento foi definido em 7 anos pelos sócios. O valor de algumas parcelas pode ser observado na Tabela 44.

Tabela 44 - Valor referente às parcelas do financiamento pelo SAC.

Número da Parcela	Valor (R\$)	Saldo Devedor (R\$)
1	375.846,70	18.059.366,53
2	373.962,60	17.841.783,80
3	372.078,50	17.624.201,07
4	370.194,40	17.406.618,34
5	368.310,30	17.189.035,61
10	358.889,90	16.101.121,97
20	340.048,90	13.925.294,67
30	321.208,00	11.749.467,38
40	302.367,00	9.573.640,09
50	283.526,10	7.397.812,80
60	264.685,10	5.221.985,50
70	245.844,20	3.046.158,21
80	227.003,20	870.330,92
84	219.466,80	0

Fonte: BNDES, 2018.

16.3 DESPESAS

Com a finalidade de calcular o preço de venda do produto *Whey Protein*, fez-se uma estimativa dos custos de produção. Para isso, com base no balanço de massa apresentado, foi possível calcular a quantidade de soro de leite necessário para produzir 25 kg de *Whey Protein*. Por meio de pesquisas na região de Castro, foi possível estimar os valores da matéria-prima, embalagem e energia elétrica como sendo R\$0,04/L, R\$ 0,25/unidade e R\$ 0,41/kWh, respectivamente, como apresentado na Tabela 44. Diante desses valores foram acrescentados os impostos apropriados: Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS), Programa de Integração Social (PIS), Contribuição para Financiamento da Seguridade Social (COFINS), Imposto sobre Serviços de Qualquer Natureza (ISS) e Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI).

O modelo de tributação escolhido foi o de lucro real, que é obrigatório para empreendimentos com receita maior que R\$ 48 mi/ano. Sendo assim, o regime de apuração que esta empresa está sujeita é o regime de incidência não cumulativa, o que implica em alíquotas de PIS e COFINS iguais a 1,65% e 7,6%, respectivamente. A alíquota do ICMS para o estado do Paraná é igual a 18% e a porcentagem do ISS é de 5% para a cidade de Castro. Ainda, de acordo com a Tabela 45 de Incidência do Imposto sobre Produto Industrializado (TIPI), a alíquota referente tanto ao WPC quanto ao WPI é igual a 0%, ou seja, esses produtos não são tarifados nessa modalidade de imposto. A soma de todas as taxas dos impostos descritos resultou em 32,25% e a porcentagem de lucro foi definida em 300%.

Tabela 45 - Estimativa de gastos com energia elétrica.

Equipamento	Quantidade	Energia Elétrica Requerida (kW)	Energia Requerida TOTAL (kWh)	Custo de Energia TOTAL (R\$)
Caldeira	1	0	0	0
Evaporador	1	0	0	0
Trocador de Calor Placas	10	0	0	0
Trocador de Calor por Resistência 1	1	610	14.640	5.921,00
Trocador de Calor por Resistência 2	1	190	4.560	1.844,25
Membrana de MF	2	10,5	504	203,84
Membrana de UF	4	10,5	1.008	407,68
<i>Spray Dryer</i>	1	49,05	1.177,2	476,11
Bomba Centrífuga	4	9,19	882,59	356,96
Bomba Deslocamento Positivo	5	7,36	882,6	356,96
Compressores	1	132	3.168	1.281,27
Tanques Pulmão	12	6,7	1.929,6	780,41
Tanques de Armazenamento	8	0,75	144	58,24
Torre de Filtração	1	0	0	0
Empacotadora	1	10	240	97,07

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2018.

A Tabela 46 apresenta as quantidades e os respectivos preços para o soro do leite e energia elétrica utilizados em cada linha de produção.

Tabela 46 - Custo diário para produção de WPC e WPI.

Descrição	WPC		WPI	
	Quantidade Requerida	Custo (R\$)	Quantidade Requerida	Custo (R\$)
Soro do Leite	624.884,59 kg/dia	25.745,24	199.115,41 kg/dia	8.203,55
Energia Elétrica	8.778 kWh/dia	3.550,19	2.780 kWh/dia	6.874,66
CUSTO TOTAL		29.295,43		15.078,21

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2018.

A partir do custo diário, calculou-se o valor por quilograma de cada um dos produtos, sabendo que a produção é de 4.213,8 kg/dia para o WPC e 1.342,7 kg/dia para o WPI. Sobre esta quantia, foram aplicadas as taxas de imposto já descritas acima e após isso se determinou o preço do saco com 25 kg como sendo R\$ 948,18 para o WPC e R\$ 1.534,26 para o WPI.

Além do gasto com matéria-prima e energia elétrica, também faz parte das despesas da empresa a remuneração dos funcionários. Determinou-se um salário de R\$1.218,80 para os colaboradores operacionais, conforme a convenção coletiva com base na categoria da Classificação Nacional das Atividades Econômicas (CNAE). Os

ordenados das demais funções foram estabelecidos em um valor compatível com o mercado. São muitos os encargos sociais que devem ser contabilizados na folha de pagamento, entre todos, destaca-se o Instituto Nacional do Seguro Social (INSS), que tem o propósito de garantir a aposentadoria e demais benefícios do trabalhador brasileiro. Pode-se citar também o Fundo de Garantia por Tempo de Serviço (FGTS) que é de responsabilidade do empregador e objetiva auxiliar o trabalhador em caso de demissão. Outros encargos muito importantes são o Risco de Acidente de Trabalho (RAT) e o Salário Educação que se destinam a cobrir despesas resultantes de acidentes de trabalho e custear programas, projetos e ações voltadas para a educação básica pública, respectivamente. A soma das porcentagens de todos os encargos resulta em, aproximadamente, 92%.

Na folha de pagamento também deve constar os benefícios que a MDLGV oferecerá aos seus colaboradores como, por exemplo, o plano de saúde, que terá um valor de R\$100,00 por funcionário. Ademais, serão ofertados vales transporte e alimentação nas quantias de R\$150,00 e R\$200,00, respectivamente.

Outra variável a ser contabilizada na folha de pagamento é o adicional noturno, que é obrigatório durante o período das 22h às 5h e corresponde a 20% sobre o valor da hora diurna. Também se calculou o adicional de periculosidade que equivale a 30% do salário. Para isso, considerou-se que 4 funcionários exercem atividades perigosas (2 durante o dia e 2 à noite). Por fim, determinou-se a parcela referente ao adicional de insalubridade média, que, por sua vez, é igual a 20% do salário mínimo. Para tanto, assumiu-se que o número de trabalhadores exercendo atividades insalubres é igual a 10, sendo 5 diurnos e 5 noturnos.

A folha de pagamento desta empresa resultou em R\$438.951,15 mensais e a descrição completa da mesma encontra-se no Apêndice Q, bem como todo o detalhamento dos cálculos desenvolvidos para essa etapa, análise econômica.

Mais um fator que deve ser considerado nas despesas da empresa é a taxa de depreciação dos equipamentos, que é estipulada pela Receita Federal de acordo com a categoria que o mesmo se enquadra. Na Tabela 47 estão apresentados os equipamentos pertencentes à MDLGV, bem como a categoria a qual pertence e a respectiva taxa de depreciação anual.

Tabela 47 - Depreciação dos equipamentos.

Equipamento	Categoria da Tabela de Depreciação da Receita	Taxa de Depreciação anual (%)
Caldeira	8402	10
Evaporador	8419	10
Trocador de Calor	8419	10
Membrana de MF	8421	10
Membrana de UF	8421	10
<i>Spray Dryer</i>	8419	10
Bombas	8413	10
Compressores	8414	10
Tanques Pulmão	7309	10
Tanques de Armazenamento	7309	10
Empacotadora	8422	10

Fonte: RECEITA FEDERAL, 1998.

A partir da Tabela 47, estimou-se uma depreciação anual total de R\$1.891.994,93, que equivalem a R\$157.666,24 mensais.

De acordo com a quantidade de vapor necessária no processo produtivo, calculou-se o volume de cavacos necessários para a geração desta utilidade na caldeira (6.418,48 m³/mês). A partir desses dados e com o preço do m³ da madeira, que em maio de 2018 teve sua cotação fechada em R\$37,02/m³, estimou-se o gasto médio mensal como sendo aproximadamente R\$237.612,13. Gastos adicionais com, telefone, internet e insumos administrativos (papel, café, materiais de limpeza, entre outros) foram estimados em um total de R\$640,00.

Por fim, após todas essas estimativas, foi possível determinar a despesa mensal da empresa que corresponde à soma de todos os fatores já apresentados anteriormente e que resultou em R\$2.047.247,09.

16.4 RECEITAS

Para estimar as receitas da empresa, é razoável estimar que 90% da produção mensal é vendida, pois deve-se considerar o estoque e as possíveis perdas no processo. Assim sendo, calculou-se o faturamento a partir da quantidade de sacos produzidos de ambos os produtos em 1 mês, ou seja, 30 dias de operação fabril.

O lucro bruto mensal pode ser encontrado ao se realizar a diferença entre o faturamento e os gastos da empresa. Como o modelo de tributação da empresa é o Lucro Real, a alíquota a ser aplicada é de 15% sobre o lucro bruto e, caso essa parcela ultrapasse R\$ 20.000, há um adicional de 10%. Portanto, a partir das considerações realizadas, estima-se um ganho líquido de R\$581.629,95 mensais.

16.5 VIABILIDADE FINANCEIRA

Como ferramentas para analisar a viabilidade financeira deste empreendimento, foram utilizados o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR).

O VPL pode ser calculado pela Equação (112) abaixo. Consiste em considerar todos os fluxos de caixa (FC) no tempo zero, corrigidos pela Taxa Mínima de Atratividade (TMA), que representa o mínimo de retorno que a empresa deseja obter. Dos métodos tradicionais de engenharia econômica, o VPL é o mais recomendado, pois pode ser aplicado a qualquer fluxo de caixa, além de levar em conta o valor do dinheiro no tempo.

$$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{FC}{(1+TMA)^t} \quad (112)$$

Para que o empreendimento seja considerado atrativo, ou seja, gere lucro, a VPL deve resultar em um valor maior que zero. É importante destacar que quanto maior o valor o VPL, mais lucrativo será o negócio.

A TIR é um método atrelado ao VPL, pois representa a taxa de retorno considerando o valor do dinheiro no tempo. Pode ser encontrada igualando o VPL a zero, ou seja, empatando as entradas e saídas dos fluxos de caixa. A vantagem de usar a TIR é a facilidade de comparação entre investimentos, pois seu resultado é expresso em percentual, diferentemente do VPL, que possui caráter absoluto. A análise de viabilidade utilizando esse método é simples: a TIR deve ser superior à TMA e, quanto maior seu valor, maior a lucratividade e rendimento do negócio.

Para realização dos cálculos desses parâmetros, adotou-se a TMA de 6,4% ao ano, conforme definido pelo Sistema Especial de Liquidação e de Custódia (SELIC), que é utilizado como referência na política monetária. O VPL calculado para a MDLGV Ltda resultou em um valor igual a R\$2.125.898,38 e demonstrou que o investimento será recuperado em 7 anos. A TIR, por sua vez, resultou em 9% ao ano. Ambos os valores comprovam que o empreendimento proposto é economicamente viável e trará lucratividade aos sócios.

17 CONCLUSÃO

Diante do presente trabalho, pode-se concluir que todo o desenvolvimento do mesmo foi de importância expressiva para aplicar todos os conhecimentos adquiridos durante todo o curso, principalmente, no que diz respeito aos balanços materiais e energéticos, bem como estudos de elaboração de projetos visando a otimização diante da lucratividade e rendimento. Referente aos balanços materiais foi possível projetar todo o processamento com base na produção diária requerida do produto.

Com relação aos balanços energéticos, foi possível estimar a quantidade de utilidades requeridas para o desenvolvimento de todo o setor de processamento, é válido ressaltar que as energias calculadas seguiram o princípio da primeira Lei da termodinâmica, o que permitiram determinar as temperaturas de entrada das utilidades, sejam elas para aquecimento ou resfriamento das diversas etapas do processo produtivo.

Referente à análise econômica desenvolvida foi possível estimar o preço dos produtos finais, bem como a quantidade de tempo necessária para quitar o investimento realizado junto às instalações, sendo que os preços dos principais produtos foram de R\$37,93 por quilograma de *Whey Protein Concentrado* e R\$61,37 por quilograma de *Whey Protein Isolado*, e, o tempo estimado para a recuperação de todo o investimento foi de 7 anos.

REFERÊNCIAS

ALIBRA. **A Alibra**. 2017. Disponível em: < <http://www.alibra.com.br/> >. Acesso em: 23 de setembro de 2017.

ALMEIDA, C. C. **Avaliação de suplementos nutricionais à base de Whey Protein**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Medicina Veterinária da Faculdade de Veterinária da Universidade Federal Fluminense. Niterói, RJ, 2014.

ALMEIDA, E. J. M.; GROSSI, L. J. **Estudo do processo de tratamento de água da indústria de laticínio**. Universidade Federal de Alfenas - Campus de Poços de Caldas. Poços de Caldas, 2014.

ARAÚJO, E. C. C. **Evaporadores**. 87 p. Apostila. São Carlos: EdUFSCar, Série Aparentamentos. ISBN 978-85-7600-094-5, 2002.

AZEVEDO, B; M; B.; **Ultrafiltração de Concentrados de Soro de Leite de Mistura para Fabrico de Queijão**. Técnico Lisboa – Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Química. Lisboa, 2015.

BADINO, A. C., CRUZ. A. J. G. **Fundamentos de Balanço de Massa e Energia**. Editora Edfscar. 2011.

BALDASSO, C. **Fracionamento dos Compostos de Soro de Leite através da Tecnologia de Separação por Membrana (Tese de Doutorado)**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Química, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Porto Alegre, 2011.

BALDASSO, C.; BARROS, T. C.; TESSARO, I.C. **Concentration and purification of whey proteins by ultrafiltration. Desalination**, Elsevier B.V. v. 278, p 381-386, junho de 2011.

BARÃO, G. **Castro, a Cidade do leite** – Especial para a Gazeta do Povo (Agronegócio) (2015). Disponível em: <<http://www.gazetadopovo.com.br/agronegocio/especiais/agroleite/castro-a-cidade-do-leite-8i9b53pe8fdx55gusne51asdq>>. Acesso em: 23 de setembro de 2017.

BENINCA, M. **Integração Energética de uma Planta de Eteno com Aspectos de Flexibilidade: Aplicação da Análise Pinch em Conjunto com a Otimização Matemática**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Programa de pós-graduação em engenharia química - Dissertação de mestrado. Porto Alegre, 2008.

BOLAND, D.; LINNHOFF, B. **The Preliminary Design Of Networks For Heat Exchange By Systematic Methods**. Chem. Eng., April, pp 222, 1979.

BOSCHI, J. R. **Concentração e Purificação das Proteínas do Soro de Queijo por Ultrafiltração**. 119 p. Dissertação de mestrado (Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2006.

BRASIL, N. I. do. **Introdução à Engenharia Química**. Editora Interciência. 2ª edição. Rio de Janeiro. 2004.

BRASIL, A. N. **Máquinas Termohidráulicas de Fluxo**. Universidade de São Paulo. Lorena, SP. 2010.

BNDES, Banco Nacional do Desenvolvimento. **BNDES Finame – BK Aquisição e Comercialização**. Maio de 2018. Disponível em: <<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/bndes-finame-bk-aquisicao-comercializacao>>. Acesso em: 02 de maio de 2018.

CABRAL, S. R. **Otimização da ultrafiltração em modo de diafiltração para redução do teor de lactose em concentrados proteicos**. Dez/2015. 100 p. Dissertação de mestrado – Técnico Lisboa. 2015.

CASTRO, S. S. **Avaliação experimental e modelagem da elevação do ponto de ebulição do leite adicionado de sacarose**. 2006. Dissertação de *Magister Scientiae* – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2006.

CALDEIRA, L. A.; FERRÃO, S. P. B.; FERNANDES, S. A. A.; MAGNAVITA, A. P. A.; SANTOS, T. D. R. Desenvolvimento de bebida láctea sabor morango utilizando diferentes níveis de iogurte e soro lácteo obtidos com leite de búfala. **Ciência Rural**, v.40, n.10, p.2193-2198, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782010001000023&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 23 de setembro de 2017.

CIÊNCIA DO LEITE. **As Proteínas do Leite**. 2008. Disponível em: <<http://cienciadoleite.com.br/noticia/133/as-proteinas-do-leite>>. Acesso em: 30 de agosto de 2017.

COBRAPE. Plano da Bacia Hidrográfica do Tio Tibagi. Companhia Brasileira de Projetos e Empreendimentos. **Nota técnica, Revisão 01**. Novembro de 2014.

CONAMA. **Resolução CONAMA nº357**, de 17 de março de 2005, p. 58-63. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>> Acesso em: 25 de outubro de 2017.

COSTA, A. R. **Propriedades termofísicas, realógicas e interfaces de leite e soro bovinos concentrados em evaporador a vácuo**. 2014. Tese de *Doctor Scientiae* – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2014.

ÇELIK, K. **Whey every aspect**. Edited by Prof. Dr. Kemal Çelik. İstanbul Caddesi, İstanbul Çarşısı. Nu.: 48/48-49 iskitler, Altındağ-ANKARA. *Whey Handbook For The Dairy Sector*, 2015.

DEFENDI, R. O. **Modelagem e simulação de processos em regime permanente: estudos de casos envolvendo sistemas de equações lineares, não-lineares e diferenciais**. Curso de Engenharia Química. 23 março a 20 de abril de 2018, 200 p.,

Notas de Aula. UTFPR - Disciplina de Análise e simulação de processos. Apucarana, 2018.

DINHEIRO RURAL. **A redescoberta do Soro do Leite**. 2013. Disponível em: <<http://www.dinheiorural.com.br/secao/agronegocios/redescoberta-do-soro-do-leite>>. Acesso em: 23 de setembro de 2017.

DINO. **Franquia de suplementos e artigos esportivos estreia na ABF Franchising Expo 2017**. Disponível em: <<https://www.terra.com.br/noticias/dino/franquia-de-suplementos-e-artigos-esportivos-estrela-na-abf-franchising-expo-2017,87a74d579e5b9976c3cc4f0abc84cd93zso9llj9.html>> Acesso em: 23 de setembro de 2017.

EMBAFLUX, Indústria e Comércio de Máquinas Ltda. **Pack Line 640 G**. 2018. Disponível em: <<http://www.embaflux.com.br/pt-br/produto/pack-line-640-g>>. Acesso em: 05 de junho de 2018.

ENGEMAN, Engenharia S/A. **Caldeiras a Lenha**. 2018. Disponível em: <<http://engeman.ind.br/caldeiras/>>. Acesso em: 04 de junho de 2018.

FELDER, R.M., ROUSSEAU, R.W. **Princípios Elementares dos Processos Químicos**. Editora Ltc. 3ª edição. 2005.

FILHO, C. G. **Campos Gerais, onde o leite e a soja se encontram**. Especiais - EFAPI 2015, AgroNegócio – Gazeta do Povo. Disponível em: <<http://www.gazetadopovo.com.br/agronegocio/especiais/efapi/campos-gerais-onde-o-leite-e-a-soja-se-encontram-59u1eyya6co5w5h74yqq8g3hp>>. Acesso em: 25 de setembro de 2017.

FOELKEL, C. **Peso de um metro cúbico estéreo de madeira de eucalipto**. 2018. Mensagem recebida por Éttore Santiago <etoresantiago@ovi.com> de Celso Foelkel em 31 de janeiro de 2018.

FRANKLIN ELECTRIC, Indústria de motobombas S.A. **Tabela para seleção de bombas e motobombas – Schneider Motobombas**. 2017. Disponível em: <<http://www.schneider.ind.br/media/205160/tabela-de-selecao-schneider-motobombas-2017.pdf>>. Acesso em: 18 de maio de 2018.

GIORDANO, G. **Tratamento e controle de efluentes industriais**. Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente da Universidade Estadual do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2004.

GEANKOPLIS, C. J. **Transport processes and separation process principles: includes unit operations**. 4th ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall PTR. Pearson Education, 1026 p, 2009.

GOOGLE EARTH. **Image Landsat / Copernicus 2018**. Localização: 24°46'48.1"S 50°01'09.8"W. Disponível em: <https://earth.google.com/web/@-24.7800278,-50.0193889,993.10990026a,948.67097024d,35y,0h,45t,0r/data=CjsaORlxCgAZiPji5q_HOMAh5LPhVXsCScAqGzI0wrA0Nic0OC4xIIMgNTDCsDAXJzA5LjgiVxgCIAEoAigC> Acesso em: 14 de abril de 2018.

HARAGUCHI F. K.; ABREU W. C.; PAULA H. Proteínas do soro do leite: composição, propriedades nutricionais, aplicações no esporte e benefícios para a saúde humana. **Revista Brasileira de Nutrição**, v. 19, n. 4, p. 479-488, 2006.

HENARES, J. F. **Caracterização do efluente de laticínio: análise e proposta de tratamento**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Campo Mourão. Campo Mourão, 2015.

IBGE. **IBGE mapeia a infraestrutura dos transportes no Brasil**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Agência IBGE Notícias, Brasil, 2014. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/14707-asi-ibge-mapeia-a-infraestrutura-dos-transportes-no-brasil.html>>. Acesso em: 23 de setembro de 2017.

IBGE. **Indicadores IBGE: Estatística da Produção Pecuária**. Junho de 2017. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Pecuaria/Fasciculo_Indicadores_IBGE/abate-leite-couro-ovos_201701caderno.pdf>. Acesso em: 23 de setembro de 2017.

IBGE. **Produção da Pecuária Municipal**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, v. 43, Brasil, 2015. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/84/ppm_2015_v43_br.pdf>. Acesso em: 23 de setembro de 2017.

INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS. **Edição Especial 20 anos**. n. 120. mai/jun 2016. Disponível em: <http://www.revistalaticinios.com.br/download/edicoes_anteriores/IL-120.pdf>. Acesso em: 23 de setembro de 2017.

INDUSTRIATIVIDADE. **Faturamento da indústria de suplementos alimentares cresce 10%**. 2017. Disponível em: <<http://industriatividade.com.br/faturamento-da-industria-de-suplementos-alimentares-cresce-10/>>. Acesso em: 23 de setembro de 2017.

INTERNATIONAL WHEY CONFERENCE. **Conference Info**. 2017. Disponível em: <<http://www.internationalwheyconference.org/whey/conference-info>>. Acesso em: 25 de setembro de 2017.

ITAQUA, Resistências. **Resistência Tubular Trocador de Calor**. 2018. Disponível em: <<http://www.itaquaresistencias.com.br/resistencia/resistencias-tubulares/resistencia-tubular-trocador-de-calor>>. Acesso em: 05 de junho de 2018.

JIANGYIN, 6Z Heat Exchanger Manufacturing Co. Ltd. **Plate Heat Exchanger**. 2018. Disponível em: <<http://www.jylzhr.com/en/products/>>. Acesso em: 05 de junho de 2018.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 6. Edição, Rio de Janeiro: ABES, 2011.

JÚNIOR, D. **Cotação de trocadores de calor por resistência elétrica.** Ligação realizada para Dionísio Júnior <Telefone: 01147551022> em 04 de junho de 2018.

KAESER, Compressores do Brasil Ltda. 2018. **Sopradores Compactos: Economia e Tecnologia.** Disponível em: < http://www.kaeser.com.br/Products_and_Solutions/Blowers/COMPACT-rotary-blowers/default.asp>. Acesso em: 27 de maio de 2018.

KOCH, Membrane Systems. **DAIRY - PRO MF-0.1 ELEMENTS: Microfiltration Sanitary Spiral Elements Series.** 2017. Disponível em: <<https://www.kochmembrane.com/KochMembraneSolutions/media/Product-Datasheets/Spiral%20Microfiltration/dairy-pro-mf-elements-datasheet.pdf>>. Acesso em: 31 de maio de 2018.

KOCH^a, Membrane Systems. **DAIRY - PRO HpHT UF-10K and UF-5K ELEMENTS: High pH and Temperature Cleanable Ultrafiltration Sanitary Element Series.** 2018. Disponível em: < <https://www.kochmembrane.com/KochMembraneSolutions/media/Product-Datasheets/Spiral%20Ultrafiltration/dairy-pro-hpht-uf-elements-datasheet.pdf>>. Acesso em: 31 de maio de 2018.

KOCH^b, Membrane Systems. **DAIRY – PRO Sanitary Spiral Wound Elements – Advanced Membrane Filtration for Dairy Processing.** 2018. Disponível em: < <https://www.kochmembrane.com/KochMembraneSolutions/media/Brochures/Markets%20-%20Dairy/dairy-pro-brochure.pdf>>. Acesso em: 31 de maio de 2018.

KORETSKY, M. D. **Termodinâmica para Engenharia Química.** LTC. 2007.

LEONHARDT, M. **Estudo de agentes inibidores da reação de Maillard em leite condensado.** Trabalho de conclusão de curso (Química Industrial) – Universidade do Vale do Taquari. Lajeado, 2015.

LINHARES, F. R.; DIAS, J. O.; ALMEIDA, M. C.; SILVA, V. L. L. O. Cadeia produtiva suplementos de proteína: Um estudo de caso. XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção - **A Gestão dos Processos de Produção e as Parcerias Globais para o Desenvolvimento Sustentável dos Sistemas Produtivos.** Salvador, BA, Brasil, 08 a 11 de outubro de 2013.

LINNHOFF, B. **Pinch Technology For The Synthesis Of Optimal Heat And Power Systems.** J. Energy Res. Tech., Vol. 111/137, 1989.

LINNHOFF, B. **Pinch Analysis – A State-Of-The-Art Overview.** Trans Icheme, Vol. 71, Part A, September, 1993.

LINTER, Filtros Industriais. **Filtragem de água – acessórios (Tanques – Filtro de carvão ativado).** 2018. Disponível em:<<http://www.linterfiltros.com.br/filtro-carvao-ativado/>>. Acesso em: 17 de maio de 2018.

LUCIDCHART, Lucid Software Inc. **O que é um fluxograma de processo de produção?** 2018. Disponível em:< <https://www.lucidchart.com/pages/pt/o-que-e-um-fluxograma-de-processo-de-producao>>. Acesso em: 22 de maio de 2018).

LUO, V. **Spray Dryer Quotation**. 2018. Mensagem recebida por Vicky Luo <WhatsApp:+86 136 9833 3933> em 15 de maio de 2018.

MIERZWA, J. C. **Sistemas de separação por membranas na remoção de material particulado: Microfiltração e Ultrafiltração**. Projetos de MF, UF, NF e OR. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2016. Disponível em: <http://www.pha.poli.usp.br/LeArq.aspx%3Fid_arq%3D1264&ved=2ahUKEwjSkZ6biLDbAhUMipAKHd_GBmcQFjABegQIBxAB&usg=AOvVaw0kch9Y3-XDYQBpv-byzs3n>. Acesso em: 31 de maio de 2018.

MINKS, A. M. D. **Relatório de estágio – ALIBRA Ingredientes LTDA**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Medianeira, Curso de Engenharia de Produção. Medianeira, 2012.

MORAN, Michael J. *et al.* **Princípios de termodinâmica para engenharia**. 7. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, XVI, 819 p., 2013.

MSS, Membrane System Specialists, INC. **Ultrafiltration - Whey Sweet Whey (pH 5.8 - 6.5), Production of WPC35-WPC65, Production of WPI**. 2017. Disponível em: <<http://www.mssincorporated.com/ultrafiltration.html>>. Acesso em: 24 de outubro de 2017.

NUNES, L.; SANTOS, M. L. **Caracterização físico-química de soros obtidos de diferentes tipos de queijos**. 2016. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/horizontecientifico/article/viewFile/31172/17270>>. Acesso em: 14 de setembro de 2017.

NUTRIÇÃO ESPORTIVA BRASIL. **Mercado de suplementação é oportunidade para investimentos**. 2017. Disponível em: <<http://www.nutricaoesportivabrasil.com.br/single-post/2017/08/01/Mercado-de-suplementa%C3%A7%C3%A3o-%C3%A9-opoportunidade-para-investimentos>>. Acesso em: 23 de setembro de 2017.

NIITSU, M.; ICHINOSE, D.; HIROOKA, T.; MITSUTOMI K.; MORIMOTO, Y.; SARUKAWA, J.; NISHIKINO, S.; YAMAUCHI, K.; YAMAZAKI, K. Effects of combination of whey protein intake and rehabilitation on muscle strength and daily movements in patients with hip fracture in the early postoperative period. **Clinical Nutrition**, v.35, p.943-949, 2016.

ORDÓÑEZ, J. A.; RODRÍGUEZ, M. I. C.; ÁLVAREZ, L. F.; SANZ, M. L. G.; MINGUILLÓN, G. D. G. F.; PERALES, L. H.; CORTECERO, M. D. S. **Tecnología de Alimentos: Alimentos de Origen Animal**. v. 2. Porto Alegre, RS: Artmed, 2005.

PANTEC. **Pantec tecnologia em Alimentos**. 2017. Disponível em: <<http://www.pantec.com.br/index.php/about/42-special-offers/86-pantec-tecnologia-em-alimentos>>. Acesso em: 25 de setembro de 2017.

PERRY'S. **Chemical Engineers Handbook**. 8th. New York, NY: McGraw-Hill Companies, 2007.

PELEGRINI, D. H. G.; CARRASQUEIRA, R. L. Aproveitamento do soro do leite no enriquecimento nutricional de bebidas. **Brazilian Journal Food Technology**, v.62, n.6, p.1004-11, 2008.

PREFEITURA DE CASTRO, **A cidade** - Dados Gerais (Castro – Prefeitura Municipal de Castro) (2017). Disponível em: <<http://www.castro.pr.gov.br/index.php/cidade/dados-gerais>>. Acesso em: 23 de setembro de 2017.

PRODUÇÃO DA PECUÁRIA MUNICIPAL, Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Produção da Pecuária Municipal**, volume 43, 2015, Brasil -ISSN 0101-4234, Rio de Janeiro, v. 43, p.1-49, 2015.

PROST, J. S.; GONZÁLES, M. T.; URBICAIN, M. J. **Determination and correlation of heat transfer coefficients in a falling film evaporator**. Journal of Food Engineering, v. 73, p. 320-326, 2006.

RAMOS O.L.; PEREIRA, R.N.; RODRIGUES, R.M.; TEIXEIRA, J.A.; VICENTE, A.A. and Malcata, F.X. **Whey and Whey Powders: Production and Uses**. In: Caballero, B., Finglas, P., and Toldrá, F. (eds.) The Encyclopedia of Food and Health vol. 5, pp. 498-505. Oxford: Academic Press. Elsevier Ltd, 2016.

RECEITA FEDERAL. **Instrução Normativa SRF N° 162**. Anexo I. 31. Dezembro de 1998. Disponível em: <<http://normas.receita.fazenda.gov.br/sijut2consulta/anexoOutros.action?idArquivoBinario=36085>>. Acesso em: 20 de abril de 2018.

REVISTA COMÉRCIO & SERVIÇOS. FORÇA Suplementar. **Revista Comércio & Serviços**, edição 44, p.48-41, Junho de 2016.

ROUSSEAU, R. W. **Handbook of separation process technology**. New York: John Wiley & Sons, 1009 p. 1987.

RZR, Bombas Positivas. **Bomba de Engrenagens Internas – Modelo RZR-30.000-CVA**. Ligação efetuada para <+551144267632> em 29 de maio de 2018.

SABESP. Eficiência de remoção de DBO dos principais processos de tratamento de esgoto adotado no Brasil. **Reunião Sub-Grupo de Saneamento - CONAMA**. Janeiro de 2009. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/EFABF603/ApresentacaoRemocaoDBO.pdf>>. Acesso em: 24 de outubro de 2017.

SANT'ANNA Jr., G. L. **Tratamento biológico de efluentes: fundamentos e aplicações**. Interciência 2. ed. Rio de Janeiro, RJ: 2013.

SANTINI, M.; MELENDEZ, S. ABIAD divulga pesquisa sobre consumo de Suplementos Alimentares no Brasil. **Revista Higiene Alimentar**. 2016. Disponível em: < <http://higienealimentar.com.br/informativo/abiad-divulga-pesquisa-sobre-consumo-de-suplementos-alimentares-no-brasil-163.html> >. Acesso em: 23 de setembro 2017.

SENADONOTICIAS, **Cidade paranaense pode ganhar título de Capital Nacional do Leite** – Matérias – Projetos (2016). Senado Federal. Disponível em: <<http://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2016/09/28/cidade-paranaense-pode-ganhar-titulo-de-capital-nacional-do-leite>>. Acesso em: 23 de setembro de 2017.

SILVA, A. N. **Modelagem, simulação e análise técnico-financeira de uma unidade de processamento de soro de leite para produção integrada de concentrado proteico, lactose e etanol**. Dissertação de *Magister Scientiae* – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

SILVA, F. K.; EYNG, J. O tratamento de águas residuárias de indústria de laticínios: Um estudo comparativo entre os métodos de tratamento de biofiltros e com o sistema convencional de lagoas. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v.1, p. 4-22. Florianópolis, março de 2014.

SMITH, J. M.; VAN NESS, H. C.; ABBOTT, M. M. **Introdução à termodinâmica da engenharia química**. 7 ed. 697 p., ISBN 85-216-1194-3. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

SOARES, F. A. C. **Composição do Leite: Fatores que Alteram a Qualidade Química**. UFRGS. Porto Alegre, 2013. Disponível em: <<https://www.ufrgs.br/lacvet/site/wp-content/uploads/2013/10/leiteFred.pdf>>. Acesso em: 20 de setembro de 2017.

SOORO. **Indústria Sooro recebe visita técnica da diretoria da Acimacar e autoridades**. 2014. Disponível em:< <http://www.sooro.com.br/noticias/industria-sooro-recebe-visita-tecnica-da-diretoria-da-acimacar-e-autoridades/>>. Acesso em: 22 de setembro de 2017.

SOORO. **Sooro investe 35 milhões, duplica capacidade produtiva e inicia produção do WPCi 80**. 2017. Disponível em:<<http://www.sooro.com.br/noticias/sooro-investe-35-milhoes-duplica-capacidade-produtiva-e-inicia-producao-do-wpci-80/>>. Acesso em: 22 de setembro de 2017.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Universidade Federal do Mato Grosso. 4. ed. Belo Horizonte, 2014.

STUPPIELLO, B.; BUSTO, I. A. M. **Whey Protein: O Suplemento que Ajuda a Ganhar Massa Muscular**. 2015. Disponível em: <<http://www.minhvida.com.br/alimentacao/tudo-sobre/17634-whey-protein-o-suplemento-que-ajuda-a-ganhar-massa-muscular>>. Acesso em: 20 de setembro de 2017.

TAIKANG, Zhejiang Evaporator Co. **Triple Effect Falling Film Evaporator RNJM02**. 2018. Disponível em: <http://www.chinataikang.cn/products_detail/productId=34.html>. Acesso em: 23 de março de 2018.

TANGARÁ FOODS. **Quem somos – Uma empresa que alimenta o futuro**. 2017. Disponível em: <<http://www.Tangaráfoods.com.br/empresa/quem-somos.html>>. Acesso em: 23 de setembro de 2017.

TETRA PAK. **Filtração por Membranas – Soluções de filtração e serviço pós-venda para a indústria láctea.** Disponível em: < <https://www.tetrapak.com/br/processing/membrane-filtration>>. Acesso em: 28 de maio de 2018.

TETRA PAK. **Dairy Processing Handbook.** Lund, Suécia, 1993.

VALSECHI, O. A. **O Leite e seus Derivados.** UFSCAR. Araras, 2001. Disponível em: < <http://www.cca.ufscar.br/~vico/O%20LEITE%20E%20SEUS%20DERIVADOS.pdf>>. Acesso em: 20 de setembro de 2017.

VERONEZ, I. P. **Suplementos Alimentares.** Programa de Pós Graduação em Ciências Farmacêuticas (UNIFAL-MG). Portal educação: Artigos – Farmácia (2012). Disponível em: <<http://www.portaleducacao.com.br/farmacia/artigos/10711/suplementos-alimentares#ixzz2NkREMIHh>>. Acesso em: 23 de setembro de 2017.

VIAPIANA, I. V. **Dossiê proteínas do soro do leite: proteína do soro do leite.** Food Ingredients Brasil, nº41, p.26-28, 2017. Disponível em: < http://revista-fi.com.br/upload_arquivos/201707/2017070501642001500897382.pdf>. Acesso em: 28 de maio de 2018.

VIOTTO, W. H.; MACHADO, L. M. P. Estudo sobre a cristalização da lactose em doce de leite pastoso elaborado com diferentes concentrações de soro de queijo e amido de milho modificado. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v.62, n.4, p.16-21, 2007.

WGM, Sistemas Importação e Exportação Ltda. **Sistemas de membranas e eletrodialise.** 2018. Disponível em: < <http://www.wgmsistemas.com.br/sistemasdemembranas.asp>>. Acesso em: 23 de maio de 2018.

XIE, S. **Alibaba reply notification [MATHEUS Gomes has replied you].** Mensagem recebida por Sara Xie <lz006@jylzhr.com> em 29 de maio de 2018.

YANSEN, I. **Whey Protein: História e propriedades.** Fisiculturismo: Matérias – suplementos (2011). Disponível em: < <https://fisiculturismo.com.br/mat%C3%A9rias/suplementos/whey-protein-hist%C3%B3ria-e-propriedades-r286/>> Acesso em: 23 de setembro de 2017.

YI, P. **100000L SS316 Storage Tank with Cooling Jacket and Agitator from YDL INDUSTRY.** Mensagem recebida por Patrick Yi <patrick@hbyideli.com> em 22 de maio de 2018.

ZANINI, Indústria e Montagem Ltda. **Caldeiras Zanini Meppam tradição e rendimento a toda prova.** 2018. Disponível em: < <http://www.sermatec.com.br/produtos/caldeiras-fogotubulares/>>. Acesso em: 18 de maio de 2018.

ZAVAREZE, E. R.; MORAES, K. S.; SALASMELLADO, M. M. **Qualidade tecnológica e sensorial de bolos elaborados com soro de leite.** Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 30, n.1, p. 102-106, 2010.

ZION MARKET RESEARCH. **Global Whey Protein Market Is Set for a Rapid Growth and is Expected to Reach USD 12.4 Billion by 2021.** 2016. Disponível em: <<https://www.zionmarketresearch.com/news/global-whey-protein-market>>. Acesso em: 23 de setembro de 2017.

**ANEXO 1 – QUADRO ADAPTADO DOS CALORES ESPECÍFICOS OBTIDOS
EXPERIMENTALMENTE POR COSTA (2014)**

TST(%) T (°C)	11	15	19	23	27	31	34	39	44	50
5	3.311	3.202	3.070	2.940	2.892	2.730	2.794	2.573	2.460	2.271
10	3.326	3.217	3.087	2.941	2.913	2.751	2.801	2.596	2.487	2.298
15	3.335	3.218	3.089	2.964	2.930	2.764	2.830	2.616	2.500	2.312
20	3.338	3.226	3.108	2.970	2.937	2.776	2.842	2.632	2.518	2.325
25	3.347	3.227	3.116	2.976	2.952	2.792	2.852	2.648	2.536	2.339
30	3.356	3.242	3.122	2.970	2.968	2.808	2.864	2.663	2.553	2.367
35	3.356	3.247	3.128	2.988	2.966	2.818	2.968	2.680	2.562	2.382
40	3.354	3.243	3.136	2.990	2.977	2.826	2.874	2.703	2.568	2.404
45	3.369	3.250	3.148	2.998	2.986	2.841	2.886	2.725	2.593	2.464
50	3.379	3.272	3.143	3.023	3.000	2.865	2.907	2.768	2.629	2.546
55	3.397	3.279	3.169	3.035	3.017	2.888	2.920	2.813	2.664	2.625
60	3.410	3.289	3.186	3.050	3.020	2.899	2.940	2.837	2.710	2.671
65	3.428	3.305	3.201	3.064	3.037	2.910	2.952	2.859	2.726	2.674
70	3.448	3.316	3.216	3.084	3.057	2.943	2.986	2.880	2.753	2.675
75	3.465	3.343	3.242	3.107	3.071	2.963	2.994	2.896	2.772	2.671
80	3.489	3.351	3.257	3.123	3.078	2.977	3.014	2.911	2.790	2.671
85	3.513	3.375	3.277	3.136	3.110	2.992	2.982	2.926	2.807	2.673

APÊNDICE A – DETALHAMENTO DE CÁLCULOS PARA O BALANÇO MATERIAL DO EVAPORADOR

EVAPORAÇÃO			
A=B+R1			
A=	824000 Kg	B=	115360 Kg
R1=		708640 Kg	
xa=	0,93	xa=	0,5
xg=	0,002	xg=	0,014286
xp=	0,008	xp=	0,057143
xl=	0,049	xl=	0,35
xc=	0,011	xc=	0,078571
SÓLIDOS	0,07	SÓLIDOS	0,5
		SÓLIDOS	0

**APÊNDICE B – DETALHAMENTO DE CÁLCULOS PARA O BALANÇO
MATERIAL DA MICROFILTRAÇÃO 1**

MICROFILTRAÇÃO	
B=C+R2	vcf=B/R2= 20
C= 109592 Kg	R2= 5768 Kg
xa= 0,486466	xa= 0,757143
xg= 0,002256	xg= 0,242857
xp= 0,06015	xp= 0
xl= 0,368421	xl= 0
xc= 0,082707	xc= 0
SÓLIDOS 0,513534	SÓLIDOS 0,242857
Porcentagem de gordura que sai em R2=	0,85

APÊNDICE C – DETALHAMENTO DE CÁLCULOS PARA O BALANÇO MATERIAL DA MICROFILTRAÇÃO 2

MICROFILTRAÇÃO 2			
$(D+R3(\text{água})) \cdot 0,3 = D2 = G + R6$	$vcf = D2/R6 =$	20	
D2= 32877,6 Kg	G= 31233,72 Kg	R6= 1643,88 Kg	
xa= 0,901504	xa= 0,898338	xa= 0,961654	
xg= 0,002256	xg= 0,000356	xg= 0,038346	
xp= 0,051128	xp= 0,053819	xp= 0	
xl= 0,036842	xl= 0,038781	xl= 0	
xc= 0,008271	xc= 0,008706	xc= 0	
SÓLIDOS 0,098496	SÓLIDOS 0,101662	SÓLIDOS 0,038346	
Porcentagem de gordura que sai em R6=	0,85		
Porcentagem de D que vai para D2=	0,3		

**APÊNDICE D – DETALHAMENTO DE CÁLCULOS PARA O BALANÇO
MATERIAL DA ULTRAFILTRAÇÃO 1**

ULTRAFILTRAÇÃO 1	
C=D+R3	
D= 19626,18182 Kg	R3= 89965,82 Kg
xa= 0,45	xa= 0,494421
xg= 0,01259542	xg= 0
xp= 0,285496183	xp= 0,010991
xl= 0,205725191	xl= 0,403913
xc= 0,046183206	xc= 0,090674
SÓLIDOS 0,55	SÓLIDOS 0,403913
Porcentagem de lactose que sai em R3=	0,9
Porcentagem de cinzas que sai em R3=	0,9
Massa de sólidos= 10794,4 Kg	
Porcentagem de proteína que sai em R3=	0,15

APÊNDICE E – DETALHAMENTO DE CÁLCULOS PARA O BALANÇO MATERIAL DA ULTRAFILTRAÇÃO 2

ULTRAFILTRAÇÃO 2		
$(D+R3(\text{água})) \cdot 0,7 = D1 = E + R4$		
D1= 76714,4 Kg	E= 7634,735 Kg	R4= 69079,67 Kg
xa= 0,901504	xa= 0,45	xa= 0,951404
xg= 0,002256	xg= 0,022665	xg= 0
xp= 0,051128	xp= 0,436676	xp= 0,008517
xl= 0,036842	xl= 0,074038	xl= 0,032731
xc= 0,008271	xc= 0,016621	xc= 0,007348
SÓLIDOS 0,098496	SÓLIDOS 0,55	SÓLIDOS 0,048596
Porcentagem de lactose que sai em R4=	0,8	
Massa de sólidos = 4199,104	Kg	
Porcentagem de D que vai para D1=	0,7	
Porcentagem de cinzas que sai em R4=	0,8	
Porcentagem de proteína que sai em R4=	0,15	

APÊNDICE F – DETALHAMENTO DE CÁLCULOS PARA O BALANÇO MATERIAL DA ULTRAFILTRAÇÃO 3

ULTRAFILTRAÇÃO 3	
G=H+R7	
H= 3157,418 Kg	R7= 28076,3 Kg
xa= 0,45	xa= 0,948757
xg= 0,003523	xg= 0
xp= 0,452527	xp= 0,008981
xl= 0,076726	xl= 0,034514
xc= 0,017224	xc= 0,007748
SÓLIDOS 0,55	SÓLIDOS 0,051243
Porcentagem de lactose que sai em R7=	0,8
Massa de sólidos = 1736,58 Kg	
Porcentagem de D que vai para D2=	0,3
Porcentagem de cinzas que sai em R7=	0,8
Porcentagem de proteína que sai em R7=	0,15

APÊNDICE G – DETALHAMENTO DE CÁLCULOS PARA O BALANÇO MATERIAL DA ULTRAFILTRAÇÃO 4

ULTRAFILTRAÇÃO 4		
$H+R7(\text{água})=I+R8$		
I= 31233,72 Kg	J= 2336,265 Kg	R8= 28897,46 Kg
xa= 0,9444	xa= 0,45	xa= 0,984371
xg= 0,000356	xg= 0,004761	xg= 0
xp= 0,045746	xp= 0,519844	xp= 0,007417
xl= 0,007756	xl= 0,020739	xl= 0,006707
xc= 0,001741	xc= 0,004656	xc= 0,001506
SÓLIDOS 0,0556	SÓLIDOS 0,55	SÓLIDOS 0,015629
Porcentagem de lactose que sai em R7=	0,8	
Porcentagem de cinza que sai em R7=	0,8	
Porcentagem de proteína que sai em R7=	0,15	
Massa de sólidos=	1284,946 Kg	

**APÊNDICE H – DETALHAMENTO DE CÁLCULOS PARA O BALANÇO
MATERIAL DO *SPRAY DRYER***

SPRAY-DRYER			
E=F+R5			
F=	4213,768	Kg	R5= 3420,967 Kg
xa=	0,00348		xa= 1
xg=	0,041065		xg= 0
xp=	0,791193		xp= 0
xl=	0,134147		xl= 0
xc=	0,030115		xc= 0
SÓLIDOS	0,99652		SÓLIDOS 0

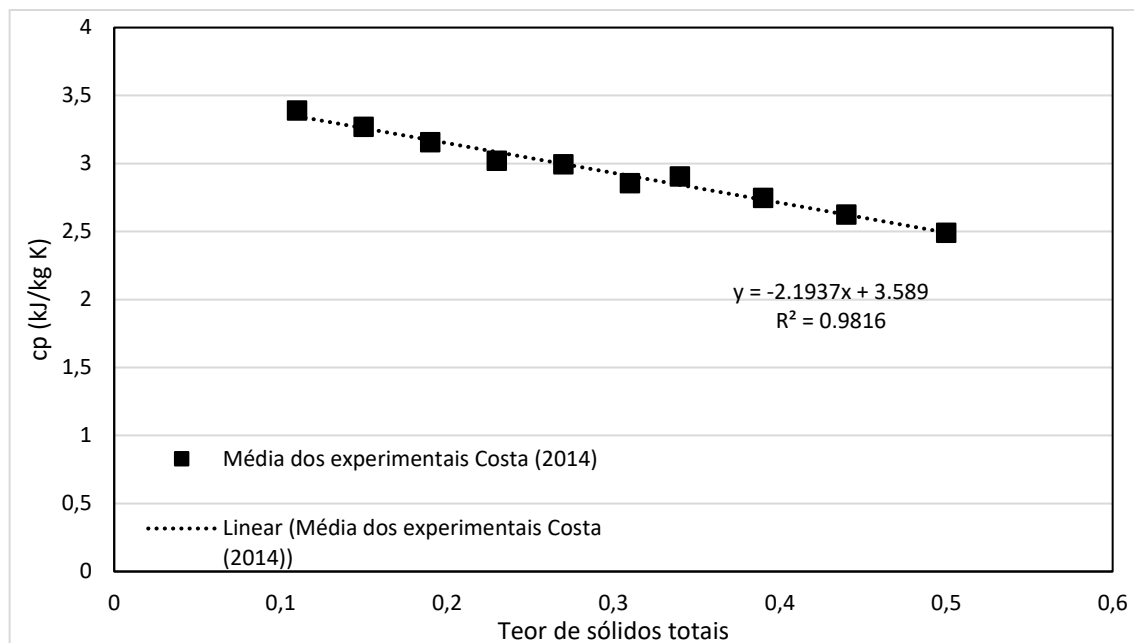
APÊNDICE I – DETALHAMENTO DE CÁLCULOS PARA O BALANÇO MATERIAL DA ETE

TRATAMENTO DE EFLUENTES - MDLGV LTDA	
EFLUENTES	
Efluente de reuso	Efluente de rejeitados
Rr= 713054,6 L/dia xa= 1	Rg= 240000 L/dia yg= 0,002
Rt= 216923,4 L/dia yg= 0,006748	Margem de segurança= 0,3
LAGOA ANAERÓBICA	
Qe1= 454979,6 L/dia DBO= 1914 mg/L	Qe2= 454979,6 L/dia DBO= 861,3 mg/L
Eficiência de remoção da DBO= 0,55	
CAIXA DE GORDURA	
Qr= 456923,4 L/dia yg= 0,004254	Qe1= 454979,6 L/dia Re= 1943,836 L/dia DBO= 1914 mg/L
LAGOA DE LODO ATIVADO	
Qe3= 454979,6 kg/dia DBO= 129,195 mg/L	Qe4= 454974,9 L/dia DBO= 9,04365 mg/L Rl= 54,66641 L/dia
Eficiência de remoção da DBO= 0,93	
LAGOA FACULTATIVA	
Qe2= 454979,6 kg/dia DBO= 861,3 mg/L	Qe3= 454979,6 L/dia DBO= 129,195 mg/L
Eficiência de remoção da DBO= 0,85	

**APÊNDICE J – MÉDIA DOS DADOS DE CALORES ESPECÍFICOS DE COSTA
(2014) EM RELAÇÃO A TEMPERATURA E TEOR DE SÓLIDOS TOTAIS
UTILIZADOS PARA OBTER O AJUSTE LINEAR**

Calor específico (kJ/kg K)	Teor de sólidos totais
3,389471	0,11
3,270706	0,15
3,158529	0,19
3,021118	0,23
2,994765	0,27
2,855471	0,31
2,906235	0,34
2,748588	0,39
2,625176	0,44
2,492235	0,50

**APÊNDICE K – AJUSTE LINEAR DA MÉDIA DOS CALORES ESPECÍFICOS
OBTIDOS EXPERIMENTALMENTE POR COSTA (2014), EM FUNÇÃO DO TEOR
DE SÓLIDOS TOTAIS**



APÊNDICE L – SOLUÇÃO NUMÉRICA DESENVOLVIDA PARA O BALANÇO ENERGÉTICO DO SISTEMA DE EVAPORAÇÃO DA MDLGV, SEGUNDO DEFENDI (2018)

```
1 - clear all
2 - clc
3
4 - E=1;
5 - Erro=0.001;
6 - i=1;
7
8 - while E>Erro
9
10  % Dados de entrada
11  C2=824000 %kg/dia
12  xA=0.07
13  TA=55 %°C
14  x3=0.5
15  Ts=180 %°C
16  T1=64.1 %°C
17  T3=30 %°C
18  U1=3123 %W/(m^2 K)
19  U2=1987 %W/(m^2 K)
20  U3=1136 %W/(m^2 K)
21  A1(1)=20.00 % m^2
22  A2(1)=200.00 % m^2
23  A3(1)=333.50 % m^2
24
25  % Balanço de massa
26  C9=C2*xA/x3 %kg/dia
27  V=C2-C9 %kg/dia
28
29  % Estimativa inicial para o vapor em cada estágio
30  V1(1)=V/3;
31  V2(1)=V/3;
32  V3(1)=V/3;
33
```

APÊNDICE L – SOLUÇÃO NUMÉRICA DESENVOLVIDA PARA O BALANÇO ENERGÉTICO DO SISTEMA DE EVAPORAÇÃO DA MDLGV, SEGUNDO DEFENDI (2018) (CONTINUAÇÃO)

```

34  % Balanço de massa |
35  -  C3(i)=C2-V1(i) %kg/dia
36  -  C6(i)=C3(i)-V2(i) %kg/dia
37  -  x1(i)=C2*xA/C3(i)
38  -  x2(i)=C3(i)*x1(i)/C6(i)
39
40  % Calor específico calculado
41  -  cpA=-2.1937*xA+3.589 %kJ/(kg °C)
42  -  cp1(i)=-2.1937*x1(i)+3.589 %kJ/(kg °C)
43  -  cp2(i)=-2.1937*x2(i)+3.589 %kJ/(kg °C)
44  -  cp3=-2.1937*x3+3.5457 %kJ/(kg °C)
45
46  % Variação de temperatura total
47  -  DT(i)=Ts-T3°C
48
49  % Cálculo de DT1 (fixo)
50  -  DT1=Ts-T1 %°C
51
52  % Atualização de DT3 e DT2
53  -  if i ~=1
54  -      DT3(i)=DT3(i-1)*A3(i-1)/A3(i) %°C
55  -      DT2(i)=DT(i)-DT1-DT3(i) %°C
56  -  end
57
58  % Estimativa de DT3 e DT2 para primeira iteração
59  -  DT2(1)=(DT(i)-DT1)/2; %°C
60  -  DT3(1)=DT(i)-DT1-DT2(1); %°C
61
62  % Dados de entalpias para o vapor (SMITH et al., 2013)
63  -  H=[2501.6
64  -      2519.9
65  -      2538.2
66  -      2556.4

```

APÊNDICE L – SOLUÇÃO NUMÉRICA DESENVOLVIDA PARA O BALANÇO ENERGÉTICO DO SISTEMA DE EVAPORAÇÃO DA MDLGV, SEGUNDO DEFENDI (2018) (CONTINUAÇÃO)

67	2574.4	100	2342.8]; %kJ/kg
68	2592.2	101	
69	2609.7	102	% Dados de temperaturas (SMITH et al., 2013)
70	2626.9	103	T=[0.01
71	2643.8	104	10
72	2660.1	105	20
73	2676.0	106	30
74	2691.3	107	40
75	2706.0	108	50
76	2719.9	109	60
77	2733.1	110	70
78	2745.4	111	80
79	2756.7	112	90
80	2767.1	113	100
81	2776.3	114	110
82	2784.3	115	120
83	2790.9	116	130
84	2796.2	117	140
85	2799.9	118	150
86	2802.0	119	160
87	2802.2	120	170
88	2800.4	121	180
89	2796.4	122	190
90	2789.9	123	200
91	2780.4	124	210
92	2767.6	125	220
93	2751.0	126	230
94	2730.0	127	240
95	2703.7	128	250
96	2670.2	129	260
97	2626.2	130	270
98	2567.7	131	280
99	2428.0	132	290

APÊNDICE L – SOLUÇÃO NUMÉRICA DESENVOLVIDA PARA O BALANÇO ENERGÉTICO DO SISTEMA DE EVAPORAÇÃO DA MDLGV, SEGUNDO DEFENDI (2018) (CONTINUAÇÃO)

133	300	166	2797.1
134	310	167	3347
135	320	168	3976.2
136	330	169	4692.3
137	340	170	5503
138	350	171	6416.6
139	360	172	7441.8
140	370]; %oC	173	8587.9
141		174	9865
142	% Dados de pressão (SMITH et al., 2013)	175	11284
143	P=[0.6117	176	12858
144	1.2281	177	14601
145	2.3392	178	16529
146	4.2469	179	18666
147	7.3851	180	22090]; %kPa
148	12.352	181	
149	19.947	182	% Dados de calor latente para o vapor (SMITH et al., 2013)
150	31.202	183	La=[2500.9
151	47.416	184	2477.2
152	70.183	185	2453.5
153	101.42	186	2429.8
154	143.38	187	2406.0
155	198.67	188	2382.0
156	270.28	189	2357.7
157	361.53	190	2333.0
158	476.16	191	2308.0
159	618.23	192	2282.5
160	792.18	193	2256.4
161	1002.8	194	2229.7
162	1255.2	195	2202.1
163	1554.9	196	2173.7
164	1907.7	197	2144.3
165	2319.6	198	2113.8

APÊNDICE L – SOLUÇÃO NUMÉRICA DESENVOLVIDA PARA O BALANÇO ENERGÉTICO DO SISTEMA DE EVAPORAÇÃO DA MDLGV, SEGUNDO DEFENDI (2018) (CONTINUAÇÃO)

```

199      2082.0
200      2048.8
201      2014.2
202      1977.9
203      1939.8
204      1899.7
205      1857.4
206      1812.8
207      1765.5
208      1715.3
209      1661.8
210      1604.6
211      1543.2
212      1476.9
213      1404.8
214      1325.9
215      1238.5
216      1140.3
217      1027.4
218      892.7
219      720.1
220      0]; %kJ/kg
221
222      % Cálculo da temperatura de condensação de vapor no 1° efeito
223 -     Ts1=Ts %°C
224
225      % Cálculo das temperaturas no 2° efeito
226 -     T2(i)=T1-DT2(i) %°C
227 -     Ts2=T1 %°C
228
229      % Cálculo da temperatura de condensação de vapor no 3° efeito
230 -     Ts3(i)=T2(i) %°C
231

```


APÊNDICE L – SOLUÇÃO NUMÉRICA DESENVOLVIDA PARA O BALANÇO ENERGÉTICO DO SISTEMA DE EVAPORAÇÃO DA MDLGV, SEGUNDO DEFENDI (2018) (CONTINUAÇÃO)

```

232     % Cálculo da temperatura de condensação de vapor que sai do 3° efeito
233 -     Ts4=T3 %°C
234
235     % Interpolações de dados para o vapor vivo
236 -     Hs=interp1(T,H,Ts) %kJ/kg
237 -     Las=interp1(T,La,Ts) %kJ/kg
238
239     % Interpolações de dados para o vapor do 1° efeito
240 -     H1=interp1(T,H,T1) %kJ/kg
241 -     La1=interp1(T,La,T1) %kJ/kg
242
243     % Interpolações de dados para o vapor do 2° efeito
244 -     H2(i)=interp1(T,H,T2(i)) %kJ/kg
245 -     La2(i)=interp1(T,La,T2(i)) %kJ/kg
246
247     % Entalpia para o vapor do 3° efeito
248 -     H3=interp1(T,La,T3) %kJ/kg
249
250     % Sistema linear dos balanços de massa e energia
251 -     M=[1 0 1 0 0 0
252         1 -1 0 -1 0 0
253         0 1 0 0 -1 0
254         cp1(i)*T2(i) 0 H1 0 0 -Las
255         -cp1(i)*T1 cp2(i)*T2(i) -La1 H2(i) 0 0
256         0 -cp2(i)*T2(i) 0 -La2(i) H3 0];
257 -     B=[C2
258         0
259         C9
260         C2*cpA*TA
261         0
262         -C9*cp3*T3];
263

```

APÊNDICE L – SOLUÇÃO NUMÉRICA DESENVOLVIDA PARA O BALANÇO ENERGÉTICO DO SISTEMA DE EVAPORAÇÃO DA MDLGV, SEGUNDO DEFENDI (2018) (CONTINUAÇÃO)

```

264      % Resolução dos balanços
265 -    R=M\B;
266
267      % Sendo a atualização das correntes:
268 -    C3(i+1)=R(1) %kg/dia
269 -    C6(i+1)=R(2) %kg/dia
270 -    V1(i+1)=R(3) %kg/dia
271 -    V2(i+1)=R(4) %kg/dia
272 -    V3(i+1)=R(5) %kg/dia
273 -    S(i+1)=R(6) %kg/dia
274
275      % Cálculo do calor cedido pelos dos vapores
276 -    q1(i+1)=S(i+1)*Las*1000/(24*3600) %W
277 -    q2(i+1)=V1(i+1)*La1*1000/(24*3600) %W
278 -    q3(i+1)=V2(i+1)*La2(i)*1000/(24*3600) %W
279
280      % Atualização das áreas
281 -    A1(i+1)=q1(i+1)/(U1*DT1) %m^2
282 -    A2(i+1)=q2(i+1)/(U2*DT2(i)) %m^2
283 -    A3(i+1)=q3(i+1)/(U3*DT3(i)) %m^2
284
285 -    if i~=1
286      % Atualização do desvio das áreas "E"
287 -    E(i)=((A1(i-1)-A1(i)))^2+((A2(i-1)-A2(i)))^2+((A3(i-1)-A3(i)))^2
288 -    end
289 -    i=i+1
290 -    end
291
292      %Cálculo da economia de vapor
293 -    Economia=(V1(i)+V2(i)+V3(i))/S(i)
294
295      % Fim

```

APÊNDICE M – DETALHAMENTO DE CÁLCULOS PARA O BALANÇO ENERGÉTICO NOS TROCADORES DE CALOR

BALANÇO DE ENERGIA NO TROCADOR TC201			
	1	2	Vapor
Corrente	824.000,00	824.000,00	69.838,11
Taxa mássica (kg/dia)	3.415,63	3.415,63	2.028,00
Cp (J/kg.K)	5,00	-	180,00
Temperatura de entrada (°C)	-	55,00	180,00
Temperatura de saída (°C)	-	-	2,02E+06
Calor Latente (J/Kg)	-	1,41E+11	-1,41E+11
Calor (J/dia)	-	-	-
	13	14	Utilidade fria
Corrente	459.560,00	459.560,00	582.252,71
Taxa mássica (kg/dia)	4.190,00	4.190,00	4.190,00
Cp (J/kg.K)	55,41	-	0,00
Temperatura de entrada (°C)	-	25,00	24,00
Temperatura de saída (°C)	-	-	2,02E+06
Calor Latente (J/Kg)	-	-	5,86E+10
Calor (J/dia)	-	-5,86E+10	-
	10	15	Utilidade fria
Corrente	249.080,00	249.080,00	6.070.383,77
Taxa mássica (kg/dia)	4.190,00	4.190,00	4.190,00
Cp (J/kg.K)	30,00	-	0,00
Temperatura de entrada (°C)	-	25,00	24,00
Temperatura de saída (°C)	-	-	2,02E+06
Calor Latente (J/Kg)	2,43E+06	-	6,10E+11
Calor (J/dia)	-	-6,10E+11	-
	17	19	Vapor
Corrente	115.360,00	115.360,00	4.797,60
Taxa mássica (kg/dia)	4.190,00	4.190,00	2.028,00
Cp (J/kg.K)	30,00	-	180,00
Temperatura de entrada (°C)	-	50,00	180,00
Temperatura de saída (°C)	-	-	2,02E+06
Calor Latente (J/Kg)	2,05E+06	-	-9,67E+09
Calor (J/dia)	-	9,67E+09	-

APÊNDICE M – DETALHAMENTO DE CÁLCULOS PARA O BALANÇO ENERGÉTICO NOS TROCADORES DE CALOR (CONTINUAÇÃO)

BALANÇO DE ENERGIA NO TROCADOR TC205		25	26	Vapor
25	↑	Corrente		
	○	Taxa mássica (kg/dia)	89.965,82	4.676,88
		Cp (J/kg.K)	4.190,00	2.028,00
		Temperatura de entrada (°C)	25,00	180,00
		Temperatura de saída (°C)	-	180,00
		Calor Latente (J/Kg)	-	2,02E+06
		Calor (J/dia)	9,42E+09	-9,42E+09
	26			↑
				Vapor

BALANÇO DE ENERGIA NO TROCADOR TC301		30	31	Utilidade fria
30	↑	Corrente		
	○	Taxa mássica (kg/dia)	7.634,74	4.790,10
		Cp (J/kg.K)	2.523,69	4.190,00
		Temperatura de entrada (°C)	50,00	0,00
		Temperatura de saída (°C)	-	24,00
		Calor Latente (J/Kg)	-	2,02E+06
		Calor (J/dia)	-	4,82E+08
	31			↑
				Utilidade fria

BALANÇO DE ENERGIA NO TROCADOR TC401		36	37	Vapor
36	↑	Corrente		
	○	Taxa mássica (kg/dia)	28.076,30	1.459,55
		Cp (J/kg.K)	4.190,00	2.028,00
		Temperatura de entrada (°C)	25,00	180,00
		Temperatura de saída (°C)	-	180,00
		Calor Latente (J/Kg)	-	2,02E+06
		Calor (J/dia)	2,94E+09	-2,94E+09
	37			↑
				Vapor

BALANÇO DE ENERGIA NO TROCADOR TC402		41	42	Utilidade fria
41	↑	Corrente		
	○	Taxa mássica (kg/dia)	2.336,27	1.465,79
		Cp (J/kg.K)	2.523,69	4.190,00
		Temperatura de entrada (°C)	50,00	0,00
		Temperatura de saída (°C)	-	24,00
		Calor Latente (J/Kg)	-	2,02E+06
		Calor (J/dia)	-	1,47E+08
	42			↑
				Utilidade fria

APÊNDICE M – DETALHAMENTO DE CÁLCULOS PARA O BALANÇO ENERGÉTICO NOS TROCADORES DE CALOR (CONTINUAÇÃO)

BALANÇO DE ENERGIA NO TROCADOR TC501 E TC502						
	46 - C	55 - C	utilidade fria C	46 - I	55 - I	utilidade fria I
Corrente						
Taxa mássica (kg/dia)	301.632,86	301.632,86	443.442,92	92.247,81	92.247,81	135.539,88
Cp 170-100 (J/kg.K)	1.019,57	1.044,09	4.190,00	1.018,99	4.190,00	4.190,00
Cp 100-25 (J/kg.K)	1.044,09	-	-	1.042,27	-	-
Temperatura de entrada (°C)	170,00	-	0,00	170,00	-	0,00
Temperatura de saída (°C)	-	25,00	24,00	-	25,00	24,00
Calor Latente água (J/kg)	-	2,05E+06	-	-	2,05E+06	-
Calor (J/dia)	-	-4,46E+10	4,46E+10	-	-1,36E+10	1,36E+10
x água	0,01	-	-	0,01	-	-
x ar	0,99	-	-	0,99	-	-
Cp água (J/kg.K)	4.190,00	-	-	4.190,00	-	-
Cp vapor (J/kg.K)	2.028,00	-	-	2.028,00	-	-
Cp ar (J/kg.K)	1.008,00	-	-	1.008,00	-	-
TOTAL Utilidade fria (kg/dia)	578.982,80					

Diagrama de um trocador de calor representado por um círculo. Duas setas apontam para o círculo: uma vindo de cima esquerda rotulada '46 C/I' e outra vindo de cima direita rotulada '55 C/I'.

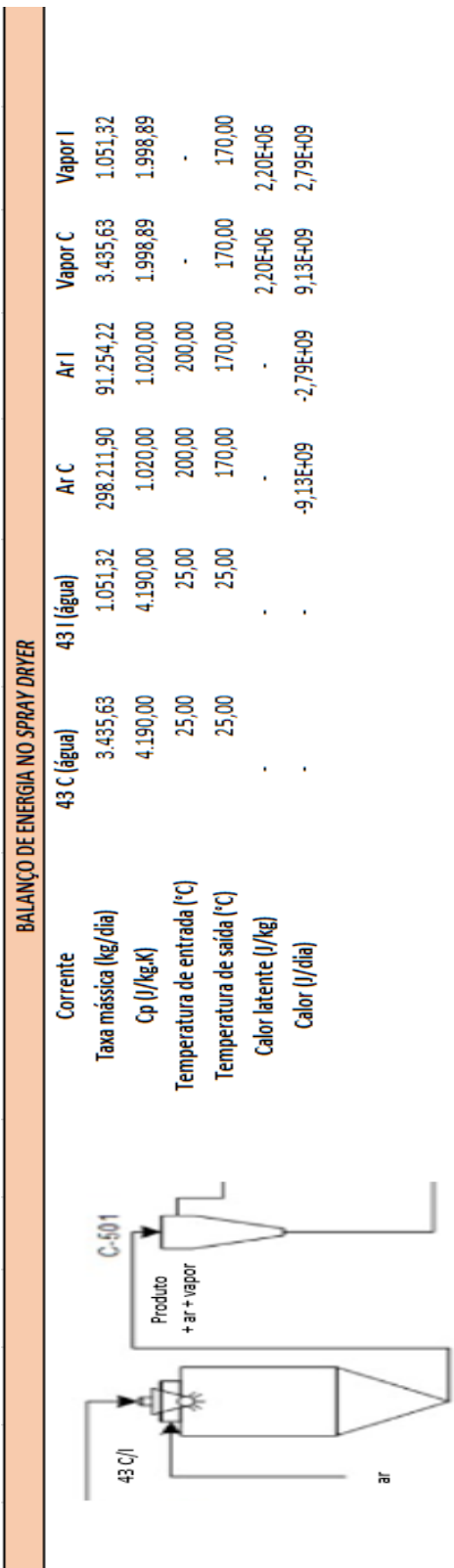
BALANÇO DE ENERGIA NO TROCADOR TC601 E TC602					
	Ar C	Ar quente C	Ar I	Ar quente I	
Corrente					
Taxa mássica (kg/dia)	298.211,90	298.211,90	91.254,22	91.254,22	
Temperatura de entrada (°C)	25,00	-	25,00	-	
Temperatura de saída (°C)	-	200,00	-	200,00	
Calor Latente água (J/kg)	-	-	-	-	
Calor (J/dia)	-	5,24E+10	-	1,60E+10	
Potência (kW)	-	607,0372394	-	185,756207	
Cp ar (J/kg.K)	1.005,00	-	1.005,00	-	

Diagrama de um trocador de calor representado por um círculo. Duas setas apontam para o círculo: uma vindo de cima esquerda rotulada 'Ar C/I' e outra vindo de cima direita rotulada 'Ar quente C/I'.

APÊNDICE N – DETALHAMENTO DE CÁLCULOS PARA O BALANÇO ENERGÉTICO NA CALDEIRA

BALANÇO DE ENERGIA NA CALDEIRA				
	Corrente	Vapor	Água	Madeira
Taxa mássica (kg/dia)	339504,54	339504,54	339504,54	74882,28
Cp (J/kg.K)	2028,00	4190,00	-	-
Temperatura de entrada (°C)	-	25,00	-	-
Temperatura de saída (°C)	180,00	-	-	-
Calor (J/dia)	9,05E+11	-	-	-
Poder calorífico (kJ/kg)	-	-	-	1,21E+04
Calor Latente água (J/kg)	2,02E+06	-	-	-2,02E+06

APÊNDICE O – DETALHAMENTO DE CÁLCULOS PARA O BALANÇO ENERGÉTICO NO *SPRAY DRYER*



APÊNDICE P – DETALHAMENTO DE CÁLCULOS PARA A INTEGRAÇÃO ENERGÉTICA

Integração Energética

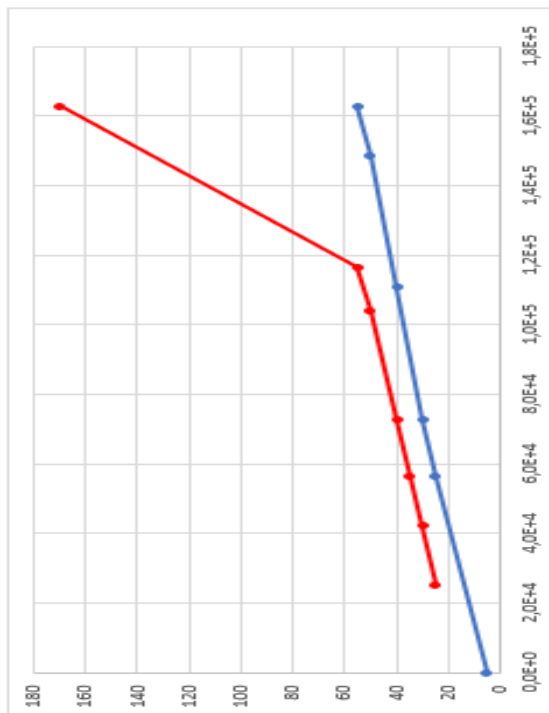
Corrente	Intervalo	m (kg/dia)	Cp (J/kg.K)	mCp (MJ/dia.K)	T_entrada	T_saida
1	1-2	824000	3415,6	2814,48	5	55 Fria
2	13-14	459560	4190,0	1925,56	55	25 Quente
3	10-15	249080	4190,0	1043,65	30	25 Quente
4	17-19	115360	4190,0	483,36	30	50 Fria
5	25-26	89965,82	4190,0	376,96	25	50 Fria
6	30-31	7634,74	2523,7	19,27	50	25 Quente
7	36-37	28076,30	4190,0	117,64	25	50 Fria
8	41-42	2336,27	2523,7	5,90	50	25 Quente
9	46C-55C	301632,86	1019,6	307,54	170	25 Quente
10	46I-55I	92247,81	1019,0	94,00	170	25 Quente

Delta T
10

Recuperação	82,64%
-------------	--------

Sem a integração	Com integração
Total de utilidade quente 231253,23	40134,7
Total de utilidade fria 727840,73	0,0
MJ/dia	MJ/dia

APÊNDICE P – DETALHAMENTO DE CÁLCULOS PARA A INTEGRAÇÃO ENERGÉTICA (CONTINUAÇÃO)

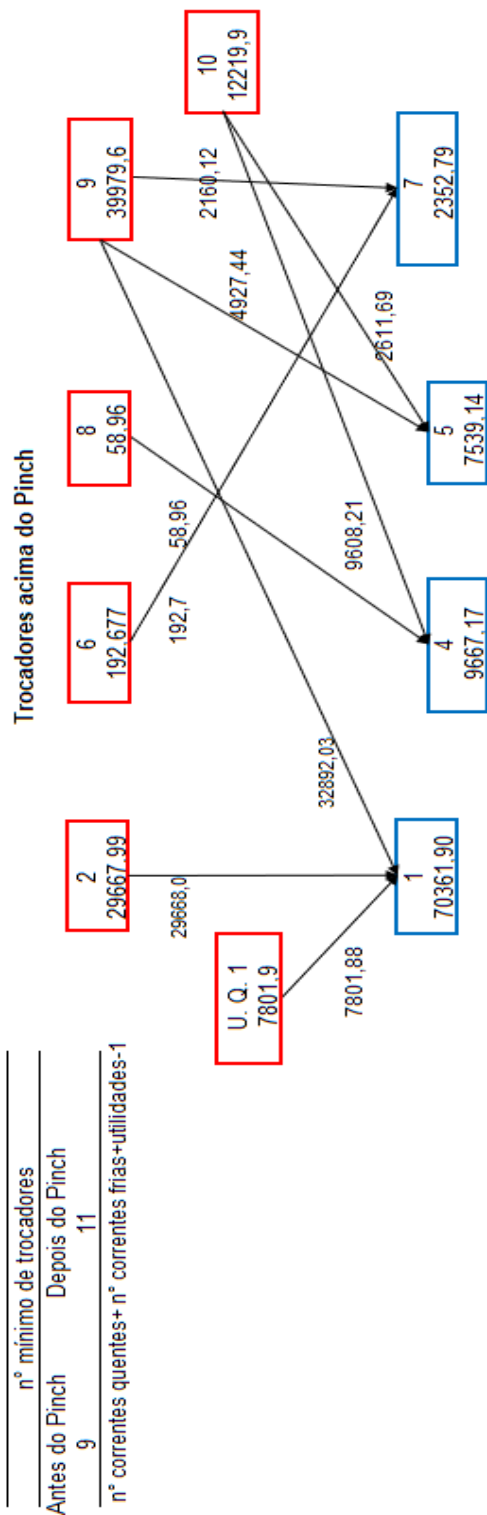


T x H acumulada fria	
T (°C)	Entalpia acumulada (MJ/dia)
55	162755,87
50	148683,49
40	110759,19
30	72834,88
25	56289,52
5	0
Com U.F.	

T x H acumulada quente	
T (°C)	entalpia acumulada (MJ/dia)
170	122621,16
55	76444,69
50	64024,59
40	40502,05
35	28740,77
30	16979,50
25	0
25237,6	

U. Q. acima 7801,9
U. Q. abaixo 32332,8

APÊNDICE P – DETALHAMENTO DE CÁLCULOS PARA A INTEGRAÇÃO ENERGÉTICA (CONTINUAÇÃO)

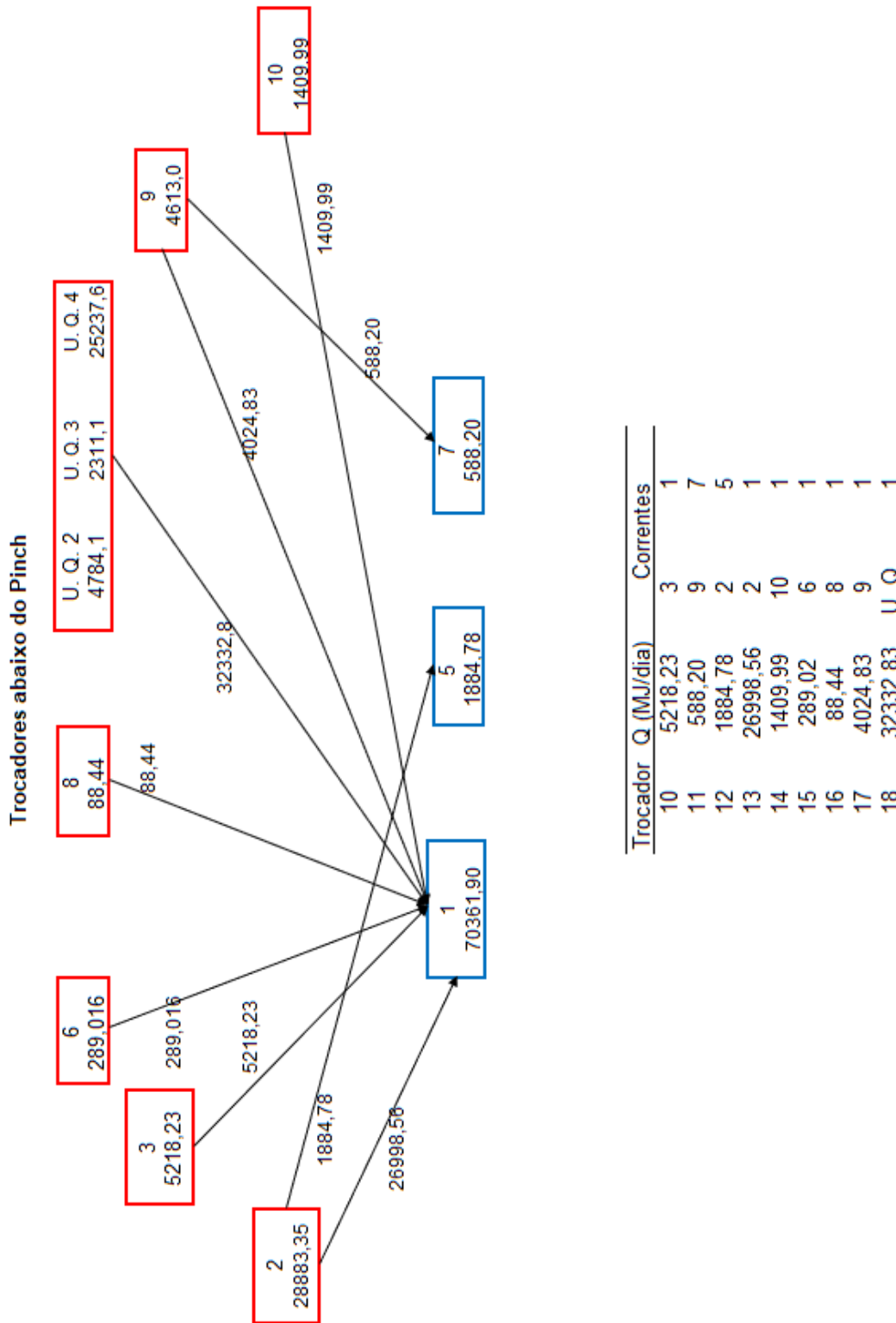


Trocador	Q (MJ/dia)	Correntes
1	29667,99	2
2	192,68	6
3	58,96	8
4	2160,12	9
5	32892,03	9
6	9608,21	10
7	4927,44	9
8	2611,69	10
9	7801,88	U. Q.

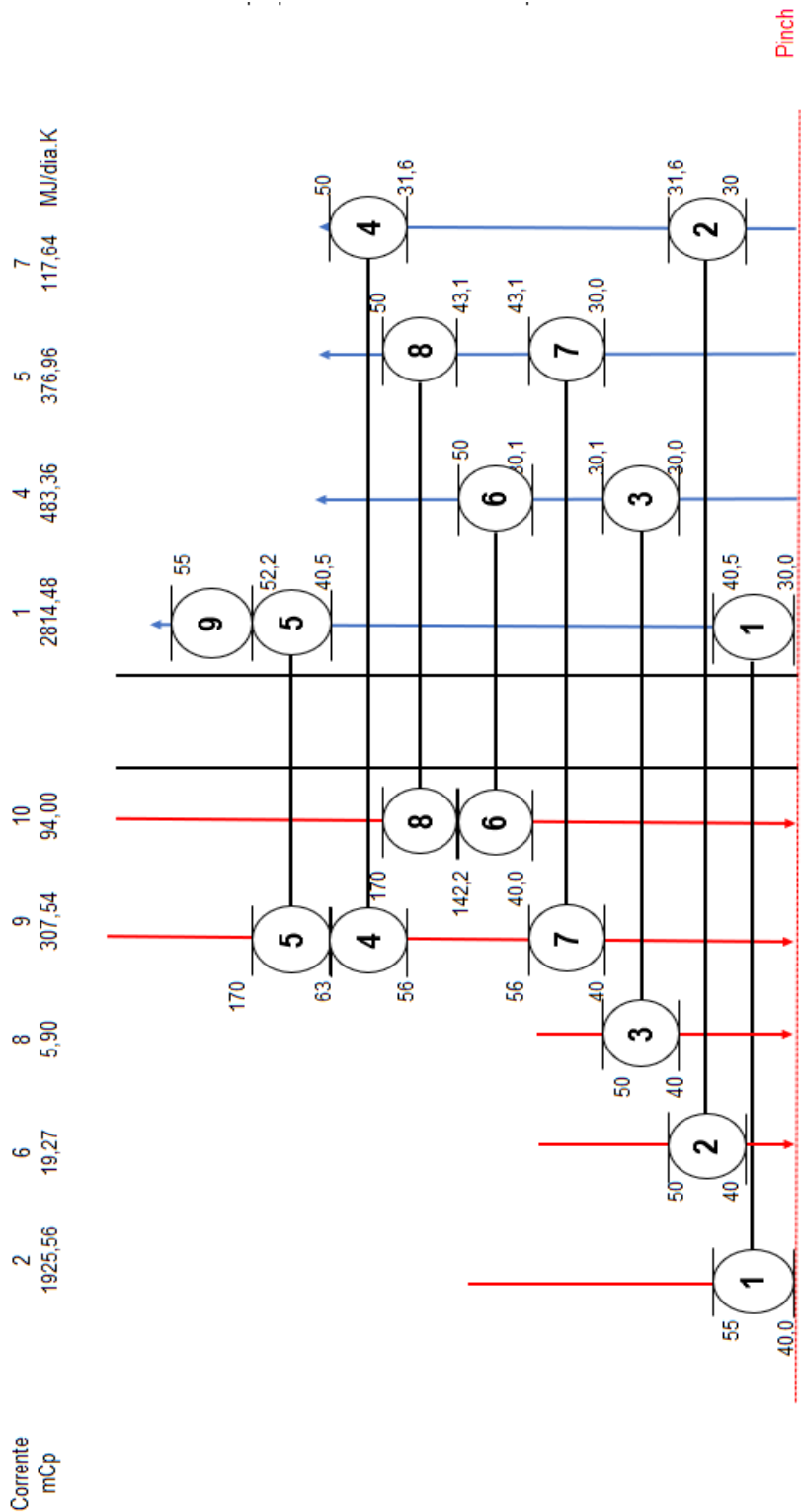
n° mínimo de trocadores	
Antes do Pinch	9
Depois do Pinch	11

n° correntes quentes + n° correntes frias + utilidades - 1

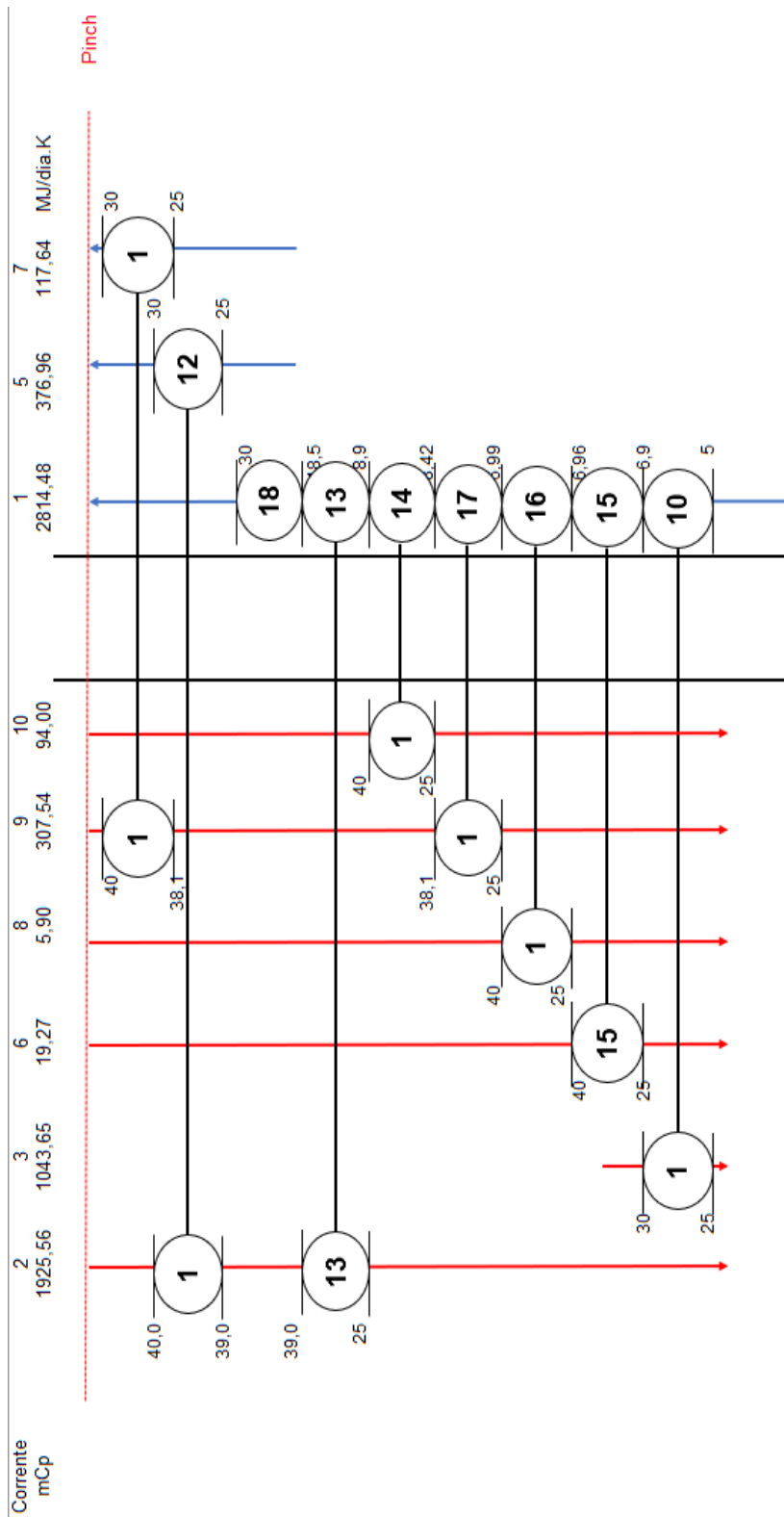
APÊNDICE P – DETALHAMENTO DE CÁLCULOS PARA A INTEGRAÇÃO ENERGÉTICA (CONTINUAÇÃO)



APÊNDICE P – DETALHAMENTO DE CÁLCULOS PARA A INTEGRAÇÃO ENERGÉTICA (CONTINUAÇÃO)



APÊNDICE P – DETALHAMENTO DE CÁLCULOS PARA A INTEGRAÇÃO ENERGÉTICA (CONTINUAÇÃO)



APÊNDICE Q – DETALHAMENTO DE CÁLCULOS PARA A ANÁLISE ECONÔMICA

INVESTIMENTOS				
Investimentos Fixos				
Máquinas e Equipamentos	Equipamento	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	TOTAL (R\$)
	Caldeira	1	4000000	4000000
	Evaporador	1	3906000	3906000
	Trocador de Calor			109652,8
	Membrana de MF	2	1214742,75	2429486
	Membrana de UF	4	1214742,75	4858971
	Spray Dryer	1	446400	446400
	Bombas Centrifugas	4	20000	80000
	Bombas Desl. Positivo	5	25000	125000
	Compressores	1	43000	43000
	Tanques Pulmão	12	31620	379440
	Tanques de Armazenamento	8	279000	2232000
	Torre de Filtração	1	37000	37000
	Empacotadora	1	310000	310000
	TOTAL EQUIPAMENTOS			
Móveis e Utensílios	Objeto	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	TOTAL
	Outros		200000	200000
	TOTAL MÓVEIS E UTENSÍLIOS			
Obras Civis	Obra	Metragem	Valor do m2 (R\$)	TOTAL
	Construção Fábrica			5500000
	Aquisição do Terreno			1120000
	TOTAL OBRAS CIVIS			
TOTAL INVESTIMENTOS FIXOS				25776949
ENTRADA DOS SÓCIOS	7500000			
TOTAL A FINANCIAR	18276949,26			

**APÊNDICE Q – DETALHAMENTO DE CÁLCULOS PARA A ANÁLISE
ECONÔMICA (CONTINUAÇÃO)**

CÁLCULO TAXA DE JUROS		
Descrição	Taxa % (a.a.)	Fator
TLP - Taxa de Longo Prazo	6,71	1,0671
Remuneração do BNDES	0,9	1,009
Taxa de Risco de Crédito	3	1,03
Taxa de Juros total ($\sum_{\text{fatores}} -1$)	0,109005017	
Taxa de Juros a.a. (%)	10,9005017	
Taxa de Juros a.m. (%)	0,865921196	

APÊNDICE Q – DETALHAMENTO DE CÁLCULOS PARA A ANÁLISE ECONÔMICA (CONTINUAÇÃO)

Depreciação									
Equipamento	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Vida útil (anos)	Taxa de Depreciação Anual	Depreciação Anual (R\$)	Depreciação Mensal (R\$)	Depreciação Mensal TOTAL (R\$)	Categoria Tabela Depreciação Receita	
Caldeira	1	400000	10	0,1	400000	33333,33333	33333,33333	8402	
Evaporador	1	3906000	10	0,1	390600	32550	32550	8419	
Trocador de Calor	0	109652,76	10	0,1	10965,276	913,773	913,773	8419	
Membrana de MF	2	1214742,75	10	0,1	121474,275	10122,85625	20245,7125	8421	
Membrana de UF	4	1214742,75	10	0,1	121474,275	10122,85625	40491,425	8421	
Spray Dryer	1	446400	10	0,1	44640	3720	3720	8419	
Bombas Centrífugas	4	20000	10	0,1	2000	166,6666667	666,6666667	8413	
Bombas Desl. Positivo	5	25000	10	0,1	2500	208,3333333	1041,666667	8413	
Compressores	1	43000	10	0,1	4300	358,3333333	358,3333333	8414	
Tanques Pulmão	12	31620	10	0,1	3162	263,5	3162	7309	
Tanques de Armazenamento	8	279000	10	0,1	27900	2325	18600	7309	
Empacotadora	1	310000	10	0,1	31000	2583,333333	2583,333333	8422	
TOTAL DEPRECIÇÃO MENSAL EQUIPAMENTOS (R\$)								157666,2438	

APÊNDICE Q – DETALHAMENTO DE CÁLCULOS PARA A ANÁLISE ECONÔMICA (CONTINUAÇÃO)

Folha de pagamento										
Função	Número de empregados	Salário Bruto Mensal (R\$)	Adicional Noturno (R\$)	Insalubridade (R\$)	Periculosidade (R\$)	Subtotal (R\$)	Encargos Sociais (R\$)	Total de Benefícios (R\$)	TOTAL (R\$)	
Diretor Presidente	1	25000				25000	23035	450	48485	
Gerentes	4	15000				60000	55284	450	115734	
Setor P&D	2	1218,8				2437,6	2246,00464	450	5133,60464	
Setor Qualidade	4	1218,8				4875,2	4492,00928	450	9817,20928	
Setor Compras	4	2800				11200	10319,68	450	21969,68	
Setor Vendas	4	2800				11200	10319,68	450	21969,68	
Setor Marketing	3	2800				8400	7739,76	450	16589,76	
Setor RH	4	2800				11200	10319,68	450	21969,68	
Setor Segurança do Trabalho	1	2800				2800	2579,92	450	5829,92	
Portaria e Recepção	4	1900				7600	7002,64	450	15052,64	
Colaboradores Operacionais Diurno	40	1218,8		954	731,28	50437,28	46472,90979	450	97360,18979	
Colaboradores Operacionais Noturno	20	1218,8	4432	954	731,28	30493,28	28096,50819	450	59039,78819	
TOTAL SALÁRIOS MENSAL (R\$)									438951,1519	

APÊNDICE Q – DETALHAMENTO DE CÁLCULOS PARA A ANÁLISE ECONÔMICA (CONTINUAÇÃO)

Estimativa de Custos de Produção									
	Produção Diária (Kg)	Quantidade de Dias Úteis para Produção	Produção Mensal (Kg)						
WPC	4213,8	21	88489,8						
WPI	1342,7	7	9398,9	824000					
Custo por L de Soro (R\$)	0,04								
Custo por Kg de Soro (R\$)	0,0412								
Produto	Soro Requerido (Kg)	TOTAL Custo Soro/dia (R\$)							
WPC	624884,5856	25745,24433							
WPI	199115,4144	8203,555072							
Custo TOTAL Matéria Prima/dia (R\$)		33948,8							
Valor kWh (R\$)	0,40444								24
Equipamento	Quantidade	Energia Requerida por Equipamento (W)	Energia Requerida Total em 1 dia (KWh)	Tempo de Operação (h)	Tempo de Operação (dia)	Costo Energético/dia (R\$)			
Caldeira	1	0	0	24	1	0			
Evaporador	1	0	0	24	1	0			
Trocador de Calor por Resistência 1	1	610000	14640	24	1	5921,0016			
Trocador de Calor por Resistência 2	1	190000	4560	24	1	1844,2464			
Membrana de MF	2	10500	504	24	1	203,83776			
Membrana de UF	4	10500	1008	24	1	407,67552			
Spray Dryer	1	49050	1177,2	24	1	476,106768			
Bombas Centrífugas	4	9193,73	882,53808	24	1	356,9579675			
Bombas Desl. Positivo	5	7355	882,6	24	1	356,958744			
Compressores	1	132000	3168	24	1	1281,26532			
Tanques Pulmão	12	6700	1929,6	24	1	780,407424			
Tanques de Armazenamento	8	750	144	24	1	58,23936			
Torre de Filtração	1	0	0	24	1	0			
Empacotadora	1	10000	240	24	1	97,0656			
Custo TOTAL Energético/dia (R\$)						11686,63746			
Custo Energia WPC/dia (R\$)	4423,778736								
Custo Energia WPI/dia (R\$)	7359,984327								
Custo TOTAL Operação/dia (R\$)						45635,49746			

APÊNDICE Q – DETALHAMENTO DE CÁLCULOS PARA A ANÁLISE ECONÔMICA (CONTINUAÇÃO)

Capacidade 1 Embalagem (Kg)	25								
Custo Unitário Embalagem (R\$)	0,25								
Custo TOTAL WPC/dia (R\$)	30169,02366	Custo/Kg WPC	7,169576549						
Custo TOTAL WPI/dia (R\$)	15563,5394	Custo/Kg WPI	11,60122619						
% Lucro	300 IPI			0 COFINS			7,6		
ICMS	18 PIS			1,65 ISS			5	(Categoria 10, Castro PR)	
Outros impostos	14,25								
PARA 1 KG DE PRODUTO	Preço Produção (R\$)	ICMS (R\$)	Outros (R\$)	Preço custo (R\$)	Lucro (R\$)	Preço de Venda (R\$)			
WPC	7,169576549	1,290523779	1,021664658	9,481764987	28,44529496	37,92705995			
WPI	11,60122619	2,088220713	1,653174731	15,34262163	46,02786489	61,37048652			
Preço Venda Saco 25 Kg (R\$)									
WPC	948,1764987								
WPI	1534,262163								
Estimativa do Faturamento Mensal da Empresa									
	Quantidade (Kg)	Quantidade de sacos	Preço de Venda Saco (R\$)	TOTAL	Impostos (R\$)				
WPC	88489,8	3539,592	948,1764987	3356157,949	204605,0924				
WPI	9398,9	375,956	1534,262163	576815,0658	35165,00165				
			TOTAL FATURAMENTO MENSAL (R\$)	3323882,629	90% venda				
Gastos Adicionais									
	m3 consumidos/mês	R\$/m3	TOTAL (R\$)						
Telefone/Internet	*		340						
Cavacos (Caldeira)	6418,48	37,02	237612,1296						
Gastos Adicionais (Insumos)	*		300						
TOTAL GASTOS ADICIONAIS (R\$)			238252,1296						
LUCRO									
LUCRO BRUTO (R\$)			1276635,536						
Taxa de Impostos			0,25						
Parcela Empréstimo (R\$)			375846,707						
LUCRO LÍQUIDO MENSAL (R\$)			581629,9454						

APÊNDICE Q – DETALHAMENTO DE CÁLCULOS PARA A ANÁLISE ECONÔMICA (CONTINUAÇÃO)

Cálculo do VPL		Cálculo da TIR		VPL = 0
$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t}$		t = período (anos ou meses) n = tempo total projeto (anos ou meses) i = taxa mínima de atratividade (TMA) FC = fluxo caixa por período		9%
Taxa mínima de atratividade (SELIC)		0,065		
Anos	FC (R\$)	VPL (R\$)	TOTAL VPL (R\$)	
0	-25776949,26	-25776949,3	2125898,383	
1	5087564,418	4777055,79		
2	5087564,418	4485498,4		
3	5087564,418	4211735,58		
4	5087564,418	3954681,3		
5	5087564,418	3713315,77		
6	5087564,418	3486681,48		
7	5087564,418	3273879,32		