

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

**OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE DOCE DE LEITE COM
SUBSTITUIÇÃO DE PARTE DO LEITE POR SORO DE QUEIJO *IN NATURA***

FRANCIELLE CRISTINA FENERICH
Engenheira de Alimentos, UEM, 2005.

Orientador: Prof. Dr. Mauro Antonio da
Silva Sá Ravagnani.

Coorientadora: Prof^ª. Dr^ª. Rosângela
Bergamasco.

Dissertação de Mestrado
submetida à Universidade
Estadual de Maringá, como parte
dos requisitos necessários à
obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Química, área de
concentração Desenvolvimento de
Processos.

Maringá – PR – Brasil

Julho de 2009.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

Esta é a versão final da Dissertação de Mestrado apresentada por Francielle Cristina Fenerich perante a Comissão Julgadora do Curso de Mestrado em Engenharia Química em 07 de julho de 2009.

COMISSÃO JULGADORA


Prof. Dr. Mauro Antonio da Silva Sá Ravagnani
Orientador


Prof.ª Dr.ª Rosângela Bergamasco
Coorientadora


Prof. Dr. Antonio Roberto Giriboni Monteiro
Membro


Prof. Dr. Paulo Roberto Paraíso
Membro

FENERICH, FRANCIELLE CRISTINA

Otimização do processo de produção de doce de leite com substituição de parte do leite por soro de queijo in natura. [Paraná] 2009

LX, 82 p. 29,7 cm (PEQ/UEM. M.Sc., Engenharia Química, 2009)

Dissertação – Universidade Estadual de Maringá-PEQ

1. Otimização de Processos
2. Doce de leite
3. GAMS

I. PEQ/UEM II. Título (série)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, pela inteligência suprema.

Ao professor Dr. Mauro A. S.S. Ravagnani, por ter acreditado neste trabalho, pela efetiva orientação e pela amizade.

À professora Msc. Grasielle S. Madrona, pelos dados fornecidos para realização do trabalho e também pelo apoio e amizade.

À professora Dra. Rosangela Bergamasco, pela coorientação durante o desenvolvimento do trabalho.

Aos amigos e familiares pelo incentivo, pelo apoio e todo amor e carinho dedicados durante esta longa jornada.

À CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - pela concessão da bolsa de estudo para o desenvolvimento deste trabalho.

“Toda teoria específica é, na verdade, um modelo matemático de um pedaço da realidade”

Bunge, M.

OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE DOCE DE LEITE COM SUBSTITUIÇÃO DE PARTE DO LEITE POR SORO DE QUEIJO *IN NATURA*

AUTORA: FRANCIELLE CRISTINA FENERICH

ORIENTADOR: PROF. DR. MAURO ANTONIO DA SILVA SÁ RAVAGNANI

COORIENTADORA: PROF. DRA. ROSANGÊLA BERGAMASCO

Dissertação de Mestrado; Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química; Universidade Estadual de Maringá; Av. Colombo, 5790, BL E46 – 09; CEP: 87020-900 – Maringá – PR, Brasil, defendida em 7 de julho de 2009.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo desenvolver um modelo matemático para minimizar o custo de produção do doce de leite substituindo parte do leite por soro de queijo *in natura*, e através da modelagem matemática, determinar a quantidade máxima de soro de queijo *in natura* que pode ser utilizada na produção de doce, permitindo que o produto final continue com a aprovação do consumidor e da legislação vigente para o produto. Para o desenvolvimento do modelo matemático os balanços de massa, de energia e os balanços por componente do processo de produção de doce leite foram utilizados. A função objetivo desenvolvida é o somatório dos custos multiplicado pelas quantidades de matérias-primas. O modelo desenvolvido foi inserido no software GAMS (General Algebraic Modeling System).

Foram realizados três estudos de caso. No primeiro caso estudou-se a produção do doce de leite utilizando leite de vaca e soro de queijo *in natura*. No segundo caso estudou-se a produção do doce de leite utilizando leite de cabra e soro de queijo *in natura*. No terceiro caso estudou-se a produção de doce de leite utilizando leite de vaca e leite de cabra. Para todos os casos foram desenvolvidos

modelos para os doces padrões (doce de leite somente com leite de vaca e o doce somente com leite de cabra) para que fosse possível a comparação de custos.

Os resultados obtidos por meio da aplicação dos modelos desenvolvidos mostram que a melhor porcentagem para mistura de leite de vaca e soro de queijo *in natura* na produção do doce de leite, é 73,3% de leite de vaca e 26,7% de soro de queijo *in natura*. A produção de doce de leite com leite de cabra e soro de queijo *in natura* pode ocorrer na proporção de 50% de leite de cabra e 50% de soro de queijo *in natura*. A mistura do leite de cabra com o leite de vaca pode implicar na maximização do rendimento do produto final, ou seja, um aumento no rendimento do processo.

Diante dos resultados obtidos pode-se concluir que o modelo desenvolvido para o doce de leite com soro de queijo *in natura* é um modelo representativo, pois assim como os resultados obtidos em ensaios de laboratório, ele minimizou o custo de produção, chegando a uma porcentagem ideal para as quantidades de leite de vaca e soro de queijo *in natura*, além de possibilitar sua aplicação em outros casos, como por exemplo, com outros tipos de leite. Já os modelos desenvolvidos para o doce de leite de cabra com soro de queijo *in natura* e o doce de leite com leite de vaca e leite cabra, precisam ser levados a prática para que o modelo seja validado.

O otimizador GAMS foi um software eficiente na resolução dos modelos, apresentando também rapidez na resolução para este tipo de problema.

Palavras-chaves: Otimização, Programação Não-Linear, Doce de Leite, Soro de Queijo.

**OPTIMIZATION OF THE PROCESS OF PRODUCTION OF “DOCE DE LEITE”
WITH THE REPLACEMENT OF PART OF THE MILK FOR *IN NATURA* CHEESE
WHEY**

AUTHOR: FRANCIELLE CRISTINA FENERICH

SUPERVISOR: PROF. DR. MAURO ANTÔNIO SILVA SÁ RAVAGNANI

COOSUPERVISOR: PROF^a DR^a ROSÂNGELA BERGAMASCO

Master Thesis; Chemical Engineering Post-Graduate Program; State University of Maringá; Av. Colombo, 5790, BL E46 – 09; CEP: 87020-900 – Maringá – PR, Brazil, presented on 7th July, 2009.

ABSTRACT

The objective of this work was to develop a mathematical model to minimize the cost of “doce de leite” production, replacing the milk for the cheese whey *in natura*, and through mathematical modeling to determine the maximum amount of cheese whey *in natura* which can be used in the “doce de leite” production, allowing the final product remains with the approval of the consumer and the law for the product. The mathematical model was developed using the balances of mass, energy and component of the “doce de leite” production process. The objective function of the problem was developed through the summation of costs multiplied to quantities of raw materials. It was also defined the variables and the parameters for the problem.

Three cases were studied. In the first case, it was studied the “doce de leite” production with cow’s milk and cheese whey. In the second case, was studied the “doce de leite” production with goat’s milk and cheese whey. In the third case, was studied the “doce de leite” production with cow’s milk and goat’s milk. In all cases

were developed a standard “doce de leite” (“doce de leite” with only cow’s milk and doce de leite with only goat’s milk) allowing the comparison of costs.

The results obtained from the models developed shown that the best completion percentage for both the mixture of cow's milk and cheese whey *in natura*, in the production of “doce de leite” was 73,3% cow's milk and 26,7% of cheese whey. The production of “doce de leite” with goat milk and cheese whey can happen with 50% of goat milk and 50% of cheese whey. The mix of goat milk and cow milk can involve in earning maximization of final product, which means, an increase in the process performance.

In front of the results obtained, one can conclude that the developed model for the “doce de leite” with cow’s milk and cheese whey is a representative model, because the same way that the results were obtained in laboratories tests, it minimized the cost of production, finding a ideal percentages for cow’s milk and cheese whey, besides its application in other cases with different milks. The models developed for “doce de leite” with goat’s milk and cheese whey *in natura* and the “doce de leite” with cow’s milk and goat’s milk, need to be taken in practice to the model can be validated.

The optimizer GAMS was an efficient software in the resolution of the models, also showing a quickly resolution for this type of problem.

Key words: Optimization, Non-Linear Programming, “Doce de Leite”, Cheese Whey.

ÍNDICE

CAPÍTULO I	1
INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO II	4
REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1 Doce de Leite.....	4
2.2 Leite	6
2.3. Soro de Queijo.....	8
2.4. Efluente de Laticínio	9
2.5. Doce de Leite de Cabra	11
CAPÍTULO III	14
OTIMIZAÇÃO DE PROCESSOS	14
3.1. Modelagem do Processo	15
3.2. Programação Não Linear	17
CAPÍTULO IV	21
INTERFACE GAMS	21
4.1. <i>Nonlinear program</i> (NLP).....	21
CAPÍTULO V	23
DESENVOLVIMENTO DO MODELO	23
CAPÍTULO VI	32
ESTUDOS DE CASOS	32
6.1. Caso 1	32
Caso 1.2.	36
Caso 1.3.	37
6.2. Caso 2	40
6.3. Caso 3	52
CAPÍTULO VII	55
CONCLUSÕES.....	55
CAPÍTULO VIII	57
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	57

REFERÊNCIAS.....	58
ANEXOS	63
1. Portaria nº354 de 04/9/1997 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.....	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.2.1. Resolução gráfica do problema de programação não linear, retirado de TAVARES e CORREIA (1999). -----	19
Figura 6.1.1. Diagrama de custo por quilograma de produto na simulação do processo de produção de doce de leite com soro de queijo <i>in natura</i> . -----	34
Figura 6.1.2. Diagrama das quantidades de leite de vaca na simulação do processo de produção de doce de leite. -----	35
Figura 6.1.3. Diagrama da quantidade de soro de queijo <i>in natura</i> na simulação do processo de produção de doce de leite. -----	36
Figura 6.1.4. Diagrama comparativo entre os valores das variáveis do doce de leite padrão e do doce de leite com soro de queijo <i>in natura</i> . -----	39
Figura 6.2.1.1. Diagrama de Custo da Simulação do Doce de Leite com Leite de Cabra e Soro de Queijo <i>in natura</i> .-----	43
Figura 6.2.1.2. Diagrama das quantidades de leite de cabra na simulação do doce de leite de cabra com soro de queijo <i>in natura</i> . -----	44
Figura 6.2.1.3. Diagrama das quantidades de soro de queijo <i>in natura</i> na simulação do doce de leite de cabra com soro de queijo <i>in natura</i> . -----	45
Figura 6.2.1.4. Diagrama de Comparação entre os Doces de Leite com Leite de Cabra, Leite de Vaca e Soro de Queijo <i>in natura</i> . -----	46
Figura 6.2.2.1. Diagrama comparativo entre o Caso 2.1, o Caso 2.2 e o modelo para o doce de leite de cabra padrão.-----	50
Figura 6.3.1. Diagrama de Custo por Quilograma de Produto da Simulação de produção de doce de leite com leite de vaca e leite de cabra -----	53

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1. Características físicas e químicas do doce de leite, segundo a Portaria nº354 de 04/09/1997 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. -----	5
Tabela 2.2. Composição média de diferentes tipos de leite.-----	8
Tabela 5.1. Rendimento, tempo de fabricação e Brix dos doces de leite obtidos logo após a fabricação.-----	23
Tabela 5.2. Parâmetros para o Caso 1 -----	28
Tabela 5.3. Calores Específicos. -----	29
Tabela 5.4. Preços dos componentes do doce de leite. -----	30
Tabela 5.5. Parâmetros para o Caso 2.-----	31
Tabela 6.1. Resultados do Caso 1 -----	32
Tabela 6.1.2. Simulação com diferentes valores para a quantidade de doce de leite produzido. -----	33
Tabela 6.1.2. Resultados do Caso 1.2. -----	37
Tabela 6.1.3. Resultado da Modelagem do Doce Padrão-----	38
Tabela 6.2.1.1. Resultados do Caso 2.1.-----	40
Tabela 6.2.1.2. Resultados da Modelagem do Doce de Leite de Cabra Padrão. ----	41
Tabela 6.2.1.3. Resultados das simulações realizadas com leite de cabra e soro de queijo <i>in natura</i> .-----	42
Tabela 6.2.2.1. Resultados do Caso 2.2.-----	47
Tabela 6.2.2.2. Resultados do Caso 2.2.1. -----	48
Tabela 6.2.2.3. Resultados do Caso 2.2.-----	49
Tabela 6.3.1. Simulações do Doce de Leite com Leite de Vaca e Leite de Cabra.--	52

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

No início dos anos oitenta entendia-se que a idéia de competitividade estava aliada à produtividade e qualidade, sendo que a melhora dessas duas variáveis implicaria num aumento de competitividade. Nesta época, qualidade era vista como um adjetivo do produto, enquanto que a produtividade representava o aspecto de rigidez organizacional. Apresentar qualidade, hoje, não é mais requisito adicional e sim, fundamental. As organizações buscam hoje meios de aumentar desempenho, eficácia e integração de processos, e qualquer melhoria que venha representar alto nível de competitividade entre as organizações; e é nessa busca que se descobre a *Otimização de Processos*.

A otimização de processos pode ser entendida como uma ferramenta auxiliada por microcomputadores, avanços tecnológicos e ferramentas matemáticas que promove a eficiência e eficácia organizacional em todos os níveis de gestão. As ferramentas de otimização indicam as atividades de maior produtividade, como também os preços de maior competitividade. Os problemas em engenharia de processos ou de operações de processos têm muitas possibilidades e infinitas soluções; a otimização de processos auxilia na seleção do melhor e mais eficiente método de solução. (HIMMELBLAU, 2006).

No trabalho de Otimização de Processos faz-se uma simulação do processo, de forma estruturada, que nada mais é que um fenômeno de modelagem, “uma representação substitutiva da realidade” (GOLBARG, 2000).

Segundo GOLDBARG (2000), “um modelo não é igual à realidade, mas suficientemente similar para que as conclusões obtidas através de sua análise ou operações possam ser estendidas à realidade”.

O Processo de Modelagem consiste primeiramente na definição do problema, seguido da formulação e construção do modelo inicial que passará por uma validação para enfim chegar até a simulação do modelo. Se durante a validação for constatado que o modelo não é adequado, deve-se reformular o modelo, validá-lo novamente para poder aplicá-lo. A eficácia do modelo de otimização depende da adequação de sua tradução, ou seja, de sua formulação. Por GOLDBARG (2000), a

Modelagem Matemática pode ser definida como a junção de técnicas e algoritmos destinados a estruturar e solucionar os modelos quantitativos que podem ser expressos matematicamente.

A programação matemática, na prática, é fortemente direcionada ao apoio da tomada de decisão no gerenciamento de sistemas de grande porte com muitas variáveis. A técnica permite a modelagem de inter-relações entre variáveis que dificilmente seriam visíveis de forma intuitiva. Com a utilização dos meios de processamento automático de dados, os Programas de Programação Matemática, podem-se examinar inúmeras configurações viáveis do problema e selecionar, dentre certos critérios, as “melhores” (GOLDBARG, 2000).

Para TIGRE (2008), economista da Universidade Federal do Rio de Janeiro, vive-se a “Era da Tecnologia da Informação”, que para ele é conhecida como o terceiro paradigma industrial, sendo que o primeiro consiste na Revolução Industrial Britânica, que dominou a economia mundial no século XIX, o segundo paradigma é o surgimento do Fordismo nos Estados Unidos, dominante na maior parte do século XX e o terceiro é o paradigma da Tecnologia da Informação, centrada no Japão e cujos impactos começaram a ser vividos a partir da década de oitenta. Ainda segundo TIGRE (2008) “o novo paradigma que se avizinha é intensivo em conhecimento e poupador de matérias-primas e energia. É necessário mudar o modelo de crescimento e encontrar inovações que permitam novas oportunidades de lucro e crescimento”. E é nesta linha de pensamento que as indústrias vêm buscando novas alternativas de produção ou até mesmo incrementos que viabilizem aproveitamento de energia e matéria-prima.

Nos últimos anos a produção de doce de leite vem sendo estudada visando a substituição de parte do leite, utilizado como matéria-prima principal para a produção do doce, o soro de queijo *in natura*. Esta adaptação do processo de produção do doce é interessante às pequenas indústrias de queijo, pois o soro de queijo *in natura* faz parte do final do processo e geralmente é descartado como efluente final, gerando custo para o tratamento anterior ao lançamento do efluente no corpo receptor. E além da minimização do impacto ambiental e redução do custo de tratamento, este novo processo implica na reutilização de matéria-prima e redução de custo de produção uma vez que o soro de queijo *in natura* apresenta preço menos elevado que o leite.

De acordo com MADRONA (2007), a agregação do soro de queijo em substituição a parte do leite no processo de produção de doce de leite, pode ser feita sem que as características organolépticas do produto sejam comprometidas, que os limites exigidos pela legislação vigente para este produto sejam respeitados e que o produto continue sendo aceito pelo consumidor.

O presente trabalho tem como objetivo desenvolver um modelo de otimização para a minimização do custo global do processo de produção industrial do doce de leite, levando em conta as quantidades de matéria-prima e o custo de energia envolvidos no processo. Dessa forma, através da modelagem matemática e de programas computacionais específicos para a solução destes modelos, é possível identificar o limite máximo de soro de queijo *in natura* e mínimo de leite pasteurizado para a produção do doce, sendo este o leite de vaca ou leite de cabra, garantindo que os requisitos exigidos pela legislação sejam atendidos.

Uma vez desenvolvido o modelo matemático e encontradas as quantidades ideais de soro de queijo *in natura* e leite, pode-se analisar a viabilidade econômica desta substituição no processo de uma indústria que já produz doce de leite, como também a implantação de uma nova linha de processamento para aquela indústria que produz somente queijo e que pode reaproveitar o soro de queijo.

CAPÍTULO II

REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Doce de Leite

O doce de leite pode ser definido como uma mistura de leite e açúcar de cana ou beterraba (sacarose), onde poderá também ser adicionado glicose (açúcar de milho), aromatizantes, frutas e bicarbonato de sódio para a redução de acidez (COELHO e ROCHA, 1981).

O leite destinado à fabricação do doce de leite, além de ter ótima qualidade, pode ter no máximo 19°D (graus *Dornic* – medida utilizada para expressar acidez) de acidez que será reduzido a 13°D no momento da fabricação do doce juntamente com a padronização da gordura a 1,5%. No caso de adição de frutas e açúcares, estes devem ser também produtos limpos, de ótima qualidade como também livres de qualquer sinal de fermentação (COELHO e ROCHA, 1981).

De acordo com a Portaria nº354 de 04/09/1997 – Regulamento Técnico Mercosul para Fixação de Identidade e Qualidade de Doce de Leite do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, o doce de leite conforme sua consistência pode ser classificado em *doce de leite cremoso* (ou *em pasta*) e *doce de leite em tablete*. As características sensoriais são definidas como:

- Cor: castanho caramelado proveniente da reação de Maillard;
- Sabor e Odor: doce característico, sem sabores e odores estranhos;
- Consistência: cremosa ou pastosa, sem cristais perceptíveis sensorialmente.

Poderá ainda apresentar consistência semi-sólida ou sólida e parcialmente cristalizada quando a umidade não superar 20%*m/m*.

A Tabela 2.1 apresenta as características físicas e químicas exigidas pela Portaria nº354 de 04/09/1997, legislação vigente para o Doce de leite.

Tabela 2.1. Características físicas e químicas do doce de leite, segundo a Portaria nº354 de 04/09/1997 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Umidade	Máximo 30%
Matéria Gorda	6% a 9%
Cinzas	Máximo 2%
Proteína	Mínimo 5%

Antes do início do processo a gordura deve ser padronizada para 1,5% e a acidez reduzida para 13°D, utilizando como neutralizante o bicarbonato de sódio (NaHCO₃). Ao considerar 100 litros de leite com acidez 18°D, sabe-se que 1°D corresponde a 0,1g de ácido láctico por litro, assim tem-se $18^{\circ}D - 13^{\circ}D = 5^{\circ}D$ a reduzir por litro de leite, correspondente à 0,5g de ácido láctico por litro. Dessa forma, em 100 litros de leite é preciso neutralizar 50g de ácido láctico. Utilizando-se os pesos moleculares do ácido láctico e do bicarbonato de sódio, através de uma regra de três é possível encontrar a quantidade necessária de bicarbonato para neutralizar 50g de ácido láctico. O uso do leite com acidez elevada poderá resultar num doce com textura esfarinhada, entretanto o excesso de neutralizante pode provocar escurecimento no doce. Após esses dois processos, é adicionado ao leite o açúcar (sacarose) na quantidade de 18% a 20% calculado sobre a quantidade de leite. Inicia-se então o processo de concentração, no qual a pressão deve ser mantida constante durante todo o processo de cocção. Para a verificação do ponto do doce por ser usado um refratômetro (método industrial) ou ainda pingar uma gota do doce sobre uma superfície fria ou utiliza-se água para a verificação do endurecimento do doce. Após o término do processo de cocção, o doce deve ser resfriado até 70°C – 75°C, e depois envasado. Para assegurar a durabilidade do produto, este deve ser enlatado ainda quente, a lata deve estar completamente cheia, sem bolsa de ar, e o fechamento deve ser hermético para impedir a entrada de ar (COELHO e ROCHA, 1981).

2.1.1. Fabricação de Doce de Leite Alternativo

O produto final deve possuir todas as características organolépticas como cor, cheiro, textura e consistência idênticas ao produto elaborado exclusivamente com leite.

O soro de queijo é o produto resultante da fabricação de queijos coalhados, com acidez máxima de 13^oD e que resista ao tratamento térmico para sua seleção. Este tratamento térmico consiste na elevação de uma amostra de soro a temperatura de 70 – 75^oC. O soro apto deverá permanecer inalterado (não “talhar”), não estar salgado e não deve conter água de lavagem de massa. Em seguida deve ser filtrado, coado, clarificado ou desnatado. A fabricação do doce é semelhante ao doce padrão (elaborado somente com leite), seguido apenas da adição do soro de queijo juntamente ao leite antes da cocção (http://www.queijosnobrasil.com.br/apostila_doce_leite.htm).

A elaboração do doce de leite com leite e soro é basicamente um processo de concentração dos sólidos desta matéria prima, pela evaporação de sua água. Portanto o processo compreende a exposição do leite misturado com o soro, sob calor até que o mesmo atinja a concentração ideal a qual denomina-se de ponto. Para um doce de leite pastoso com soro a concentração final é de 68% de sólidos totais ou 68^o Brix. O ponto prático é idêntico do ponto do doce de leite tradicional (http://www.queijosnobrasil.com.br/apostila_doce_leite.htm).

A diminuição de custo juntamente com o aumento de rendimento na produção e a preocupação ambiental são os fatores principais que vem fazendo com que as empresas evitem o descarte de um subproduto, como o soro de queijo. Segundo MADRONA (2007), algumas empresas já utilizam o soro de queijo *in natura* com o objetivo de padronizar a gordura do leite, porém estuda-se ainda o controle da vida de prateleira do produto, fazendo que a prática mais comum seja a substituição parcial do leite pelo soro de queijo *in natura*.

2.2 Leite

A composição do leite é determinante para o estabelecimento da sua qualidade nutricional e adequação para o processamento e consumo humano. Estima-se que o leite possua em torno de cem mil constituintes distintos, embora a maioria deles não tenha ainda sido identificada (SILVA, 1997).

Sobre os principais constituintes do leite e sua utilização industrial, pode-se destacar:

- Água: é o constituinte quantitativamente mais importante, e é nele que estão dissolvidos, dispersos ou emulsionados os demais componentes. A maior

parte encontra-se como água livre, embora haja água ligada a outros componentes como proteínas, lactose e substâncias minerais (SILVA, 1997).

- Gordura: industrialmente proporciona produtos com maior sabor, é o principal constituinte da manteiga e está presente em muitos tipos de queijos assim como na confecção de outros laticínios (VIEIRA DE SÁ, 1978). Segundo SILVA (1997), este é o componente que mais sofre variações, em razão da alimentação, raça, estação do ano e período de lactação;
- Lactose: é o açúcar do leite, é energético e é fundamental para a obtenção da fermentação láctica, que é a base da fabricação de queijo, iogurtes, etc. Tratamentos térmicos ocasionam reações de escurecimento a partir da lactose, particularmente a reação de Maillard, como a diminuição do valor nutricional diretamente proporcional ao tempo de aquecimento (SILVA, P. 1997);
- Proteínas: no leite são classificadas como *caseína*, *lactoalbumina* e *lactoglobulina*. Industrialmente o valor da caseína é importantíssimo, pois é o principal constituinte do queijo, e isoladamente dá origem à *caseína industrial* que pode ser aplicada na indústria de plásticos, cola, tinta, etc. A *lactoalbumina* e *lactoglobulina* são conhecidas como as proteínas do soro, pois encontram-se no soro que resulta da fabricação do queijo e que por conseqüência são base para a fabricação do requeijão (VIEIRA DE SÁ, 1978);
- Sais Minerais: industrialmente são úteis apenas indiretamente, como por exemplo os sais de cálcio, cuja a presença no leite é fundamental para que se opere a coagulação do leite pelo coalho; os citratos que beneficiam a maturação das natas, etc (VIEIRA DE SÁ, 1978);
- Outras substâncias: sobre o ponto de vista industrial, a parte do leite constituída de enzimas, vitaminas, oligoelementos (elementos minerais presentes em quantidades ínfimas, mas que são essenciais), é só importante na medida em que sua presença torna-se indispensável para que alguns fenômenos aconteçam, em processos industriais que conferem ao produto as propriedades nutritivas e o diferenciam de outros produtos de origem animal ou vegetal (VIEIRA DE SÁ, 1978).

A composição média de diferentes tipos de leite pode ser observada na Tabela 2.2 (VIEIRA DE SÁ, 1978).

Tabela 2.2. Composição média de diferentes tipos de leite.

Composição	Leite de Vaca	Leite de Ovelha	Leite de Cabra
Água	87,2g	80,8g	86,1g
Gordura	3,6g	7,7g	4,8g
Lactose	4,5g	4,4g	4,4g
Proteína	3,0g	6,0g	3,9g
Sais	0,7g	0,9g	0,8g
Densidade a 15°C	1,032	1,038	1,030

2.3. Soro de Queijo

O soro é a fase aquosa que se separa da coalhada durante o processo de elaboração do queijo. Ele é constituído por água e substâncias solúveis como a lactose (açúcar do leite), proteínas solúveis, sais minerais solúveis e um pouco de gordura. Basicamente é constituído de 93% de água, e 7% de matéria seca, onde 71% é a lactose, 10% representam a proteína bruta, 8% são gordura e 11% são os minerais. O seu valor energético está estimado em 80% de nutrientes digestíveis totais (NDT) ou matéria seca (LIZIEIRE e CAMPOS, 2006).

Uma grande quantidade de soro é produzida durante a fabricação de queijo a qual normalmente é aproveitava para:

- Alimentação de porcos;
- Enriquecimento do valor nutritivo de pães;
- Fabricação de queijo de soro (ricota);
- Preparo da bebida achocolatada, entre outros.

A utilização do soro de queijo baseia-se em sua “funcionalidade”, que se refere em suas propriedades não-nutritivas, conferindo aos alimentos maior conveniência ao manuseio, melhor aparência na apresentação e melhor aceitação pelos consumidores. A maioria das propriedades funcionais do soro de queijo influencia no caráter sensorial do alimento, especialmente na estrutura (SGARBIERI, 1998).

O soro contém muitos microorganismos que necessitam de oxigênio para sua sobrevivência. Ao ser jogado em rios e córregos, os microorganismos podem causar a morte dos peixes devido à competição pelo oxigênio presente na água (BEZERRA, 2008). Segundo NEVES (1993), o soro de queijo pode ser visto sob dois aspectos: como agente de poluição, se considerado produto descartável, pois a descarga de soro em cursos d'água pode provocar a destruição da flora e fauna devido à sua alta demanda bioquímica de oxigênio (DBO), que é de 30.000 a 40.000mg de O₂ por litro de soro. Ou pode ser considerado produto nobre pelo seu teor de proteínas solúveis, ricas em aminoácidos essenciais, pela presença de vitaminas do grupo B e pelo elevado teor de lactose e sais.

Em decorrência dos problemas enfrentados pelas indústrias para efetuarem o tratamento do soro como resíduo industrial, adequando-o às exigências dos órgãos de inspeção e saúde pública, começou-se na década de 60 os testes de aproveitamento para o soro de queijo (KOSIKOWSKI, 1967; NELSON & BROWN, 1969 , *apud* SQUILASSI *et al*, 2009).

Os concentrados protéicos do soro apresentam características funcionais desejáveis para a indústria de alimentos, tais como, boa solubilidade, viscosidade, capacidade estabilizante, emulsificante, espumante, geleificante e boa absorção de água (MATHUR & SHAHANI, 1979). Assim, estas proteínas têm encontrado uma série de aplicações na indústria de alimentos, incluindo sopas desidratadas, molho para saladas, alimentos infantis, dietéticos e geriátricos, sorvetes, queijos, produtos de panificação, confeitarias, iogurtes, carnes, bebidas lácteas e como suplemento alimentar (HIDALGO & CAMPER, 1977, *apud* SQUILASSI *et al*, 2000).

2.4. Efluente de Laticínio

A indústria de laticínios gera efluente líquido, resíduos sólidos e emissões atmosféricas passíveis de impactar o meio ambiente. O volume e a composição do efluente proveniente de laticínio variam com o produto fabricado e os métodos utilizados para isto, podendo conter leite e produtos do leite, detergentes, desinfetantes, areia, lubrificantes, açúcar, pedaços de frutas, essências e condimentos diversos que são diluídos nas águas de lavagem de equipamentos, tubulações, pisos e demais instalações da indústria (MACHADO, et al., 2002; *apud* SILVA, 2006).

Na indústria de produção de queijo, os líquidos residuais, cuja quantidade chega ao dobro do volume de leite tratado, tem conteúdo de lactose tão mais elevado quanto maior for a quantidade de soro. O pH pode descer abaixo de 4, causando uma fermentação láctea. O lançamento deste resíduo rico em matéria orgânica, direto em curso d'água, pode acarretar diversos problemas uma vez que a quantidade de líquido é suficiente para afetar a fauna e a flora do curso de água. Em efeito, ao longo de algum tempo, aparecem algas filamentosas cinzentas e acastanhadas, formando uma capa de barro sobre o leito do curso da água, e os peixes morrem rapidamente. Este fenômeno é consequência da fermentação e das matérias orgânicas presentes no líquido lançado. O efluente líquido é considerado um dos principais responsáveis pela poluição causada pela indústria de laticínios, pois em muitos casos o soro de queijo é descartado junto com os efluentes líquidos, sendo considerado um forte agravante devido ao seu alto potencial poluidor (MACHADO, et al., 2002). Atualmente ainda se constitui a incorreta prática de descartar o soro, direta ou indiretamente, nos cursos d'água (MACHADO, et al., 2002; *apud* SILVA, 2006).

No Brasil, alguns laticínios além de lançarem o soro de queijo em rios também o empregam na alimentação de animais como sucedâneo lácteo do leite bovino representando uma opção de baixo custo para o criador na alimentação de suínos e bovinos (UGIETTE, 1990; *apud* SILVA, 2000). De acordo com o Regulamento de Inspeção Sanitária, RIISPOA (<http://www.agricultura.gov.br>), o soro de leite em pó é definido como “produto destinado à alimentação de animais, resultante da evaporação e secagem do soro proveniente da fabricação de queijos ou de caseína”.

Em uma pesquisa realizada em Minas Gerais, constatou-se que o estado possui cerca de 1250 indústrias de laticínios formalmente constituídas, sem qualquer tipo de tratamento de seus efluentes líquidos lançados diretamente nos corpos receptores, o que permitiu o autor concluir que a poluição provocada pelos efluentes líquidos de laticínios assume proporções que exigem conscientização e implementação de estações de tratamento para minimizar este impacto ambiental (SILVA, 2006).

Devido ao alto custo de implantação de instalações de tratamento biológico para o soro, e considerando o alto valor nutricional de suas proteínas e capacidade funcional, é aconselhável o emprego de alternativas viáveis para o aproveitamento

do soro de queijo na alimentação, o que contribui consideravelmente para a redução do volume de efluente gerado por laticínios (OLIVEIRA, 2006).

2.5. Doce de Leite de Cabra

Pesquisas desenvolvidas pela Embrapa Caprinos, com o doce de leite pastoso, foi demonstrado a viabilidade tecnológica e econômica na elaboração deste alimento por comunidades rurais e empresariais. Estudos de mercado no Brasil sobre o consumo de doces mostram que existem 114 milhões de consumidores regulares que consomem, per capita, 2,04 quilos de doce por ano. Este mercado representa cerca de R\$ 6 bilhões, o que mostra o potencial do produto para ser inserido no mercado nacional (LAGUNA, 2003).

O doce de leite pastoso, elaborado com leite de cabra, é de fácil fabricação e apresenta teores elevados de proteína, minerais e uma baixa atividade da água e de umidade, favorecendo a sua conservação por até 60 dias, sem adição de amido, estabilizante e conservante. O processo de elaboração é de, aproximadamente, duas horas e vinte minutos, utilizando 37,5% de açúcar a menos do que o processo tradicional

(http://www.acosc.org.br/acosc/infortecnicas/ac_infortecnicasdetalhes.jsp?codigo=10).

No processo de fabricação, grande parte da água é evaporada permitindo a concentração de sólidos solúveis de 75 a 80%. Neste processo utiliza-se apenas 12,5% de açúcar, enquanto tradicionalmente usa-se quantidades maiores (20-30%). Isto representa uma redução significativa no teor de açúcar com consequência econômica, porém o leite de cabra apresenta custo mais elevado que o leite de vaca (http://www.acosc.org.br/acosc/infortecnicas/ac_infortecnicasdetalhes.jsp?codigo=10).

As características físico-químicas deste doce são similares aos de leite de vaca, proporcionando assim, novas alternativas para os consumidores. Favorecer novas oportunidades de mercado para produtores e fabricantes de derivados caprinos que, através esta tecnologia, poderá agregar valor ao leite (http://www.catalogosnt.cnptia.embrapa.br/catalogo20/catalogo_de_produtos_e_servicos/arvore/CONTAG01_462_16112006135351.html).

O leite de cabra "in natura" deve ser de boa qualidade, apresentando uma acidez titulável não superior a 19 °D que deverá ser reduzida próxima de 13 °D, com a utilização de bicarbonato de sódio. Depois de corrigida a acidez, inicia-se o

processo de aquecimento do leite, para se obter uma concentração adequada do produto. A quantidade de açúcar refinado a ser usada é de 12,5%. A adição de açúcar deve ser feita após a fervura do leite ou quando começa a mudar de cor branca leitosa para branca cremosa. Isto se observa quando o leite já perdeu em torno de 25,0% de água. Antes de adicionar o açúcar, este deve ser diluído no mesmo leite do tacho, na proporção de 1,5 litros de leite por quilo de açúcar. Quando o produto apresentar uma concentração de 58,0% a 60,0% de sólidos, determinada por refractômetro, pode-se adicionar a glicose líquida de milho na proporção de 0,3%. A utilização deste produto confere um bom brilho ao doce, melhor consistência e minimiza-se a cristalização. Um outro momento em que pode-se adicionar a glicose é durante os vinte minutos finais do processo. Quando o doce atingir uma concentração de sólidos solúveis de 75,0% a 80,0%, o processo deve ser finalizado, fechando a fonte de calor e esperando que a temperatura do doce diminua a 75°C. O doce pode ser colocado ainda quente em potes de vidro, latas ou potes fabricados com polietileno de alta densidade, prolipropileno, poliestireno ou cloreto de vinila. Estes devem ser secos e previamente lavados com água sanitária ou fervente, incluindo as tampas. A embalagem deve evitar que o doce perca umidade, além de dificultar a passagem do oxigênio e protegê-lo de contaminações microbianas. A permeabilidade ao oxigênio pode acarretar o surgimento de sabores e odores desagradáveis, resultante da decomposição de peróxidos originados da oxidação da gordura.

O armazenamento deve ser feito em lugar limpo e arejado, com temperatura de 20°C a 30°C. Os lotes para estocagem devem sempre especificar as datas de fabricação e vencimento, para se ter controle do estoque e, assim, comercializar na ordem de fabricação, sendo a vida de prateleira do produto estimada no máximo de 60 dias.

(http://www.acosc.org.br/acosc/infortecnicas/ac_infortecnicasdetalhes.jsp?codigo=10).

O doce de leite de cabra pastoso pode apresentar alguns defeitos de fabricação, tais como:

- Coloração muito clara: resulta da utilização de baixa temperatura durante sua fabricação e pela acidez elevada da matéria-prima;
- Coloração muito escura: resulta de super aquecimento, excesso de bicarbonato ou emprego de leite muito ácido;

- Aspecto talhado: é produzido pelo excesso de açúcar e acidez elevada da matéria-prima;
- Textura açucarada: resulta da adição excessiva de açúcar;
- Separação de fases: é devido ao excesso de glicose;

Cristalização: resulta da presença de cristais de lactose. A cristalização é o defeito de maior ocorrência e de controle mais difícil, tornando-se aparente a partir de 45 dias de estocagem do produto (http://www.acosc.org.br/acosc/infortecnicas/ac_infortecnicasdetalhes.jsp?codigo=10).

Em uma pesquisa de análise sensorial no doce de leite de cabra, realizada pelos alunos da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, constatou-se a aprovação do doce em 70% dos julgadores, porém alguns julgadores acrescentaram a necessidade de algumas modificações no doce, como por exemplo, a melhora da textura do produto. O doce elaborado para a análise sensorial continha leite de cabra pasteurizado, 12,5% de sacarose, 0,3% de glicose e bicarbonato de sódio (FOLETTTO et. all, 2006)

CAPÍTULO III

OTIMIZAÇÃO DE PROCESSOS

A otimização de processos pode ser entendida como uma ferramenta que juntamente com a tecnologia e a matemática, busca atingir a maior eficiência e eficácia de qualquer processo, seja ele químico, físico, econômico, social, etc.

Os métodos de otimização, segundo BURTON e NICKLESS (1987) e citado por EIRAS (1996), surgiram com a necessidade de se descrever em termos matemáticos ou regras, a complexidade dos sistemas que ocorrem na prática. Muitos sistemas são representados por modelos que mudam com o tempo ou por parâmetros que variam ao acaso, portanto por diversas razões esses modelos podem ser imperfeitos, ainda que possam ser usados para prever condições ótimas de operação para um sistema. No entanto o modelo pode somente prever se um sistema está próximo do ótimo desejado, e nem sempre este ótimo é alcançado.

Na otimização de processos faz-se a simulação de um processo real, que nada mais é que a formulação de um conjunto de equações que compõe um modelo, é uma aproximação do processo real. A simulação é a obtenção da resposta temporal das variáveis de interesse (variáveis dependentes) de um modelo, quando se excita suas variáveis de entrada com sinais desejados e se definem os valores das condições iniciais das variáveis dependentes (GARCIA, 2005).

A modelagem matemática é um processo dinâmico, utilizado para a obtenção e validação de modelos matemáticos. É uma forma de abstração e generalização com a finalidade de prever tendências. A modelagem consiste essencialmente na arte de transformar situações da realidade em problemas matemáticos cujas soluções devem ser interpretadas na linguagem usual (GARCIA, 2005).

A importância de um modelo matemático consiste em ter sua linguagem concisa, expressando idéias de maneira clara e sem ambiguidade, além de proporcionar uma quantidade enorme de resultados (teoremas) que propiciam o uso de métodos computacionais para calcular suas soluções numéricas. (BASSANEZI, 2002)

Os processos de otimização estão divididos em estágios, caracterizados por decisões sobre a função objetivo a ser observada, pela determinação das variáveis que influenciam significativamente a resposta, e por fim a otimização propriamente dita das variáveis selecionadas (BASSANEZI, 2002).

3.1. Modelagem do Processo

A modelagem de um processo consiste numa forma de traduzir o processo por meio de equações matemáticas, formando um problema que através de sua resolução é possível obter soluções ótimas para o processo, mudar as variáveis simulando variações no processo e buscar as melhores soluções. Como mencionado anteriormente, de acordo com GOLDBARG (2000), o fenômeno de modelagem é “uma representação substitutiva da realidade”, e afirma ainda que “um modelo não é igual à realidade, mas suficientemente similar para que as conclusões obtidas através de sua análise ou operações possam ser estendidas à realidade”.

A Modelagem Matemática é a junção de técnicas e algoritmos destinados a estruturar e solucionar os modelos quantitativos que podem ser expressos matematicamente. O campo da programação matemática é vasto e suas técnicas consagram-se em face sua grande utilidade na solução de problemas de utilização. Podem-se destacar três subáreas nas técnicas de solução de problemas:

- *Programação Linear*: onde as variáveis são contínuas e apresentam comportamento linear, tanto em relação às restrições como em relação à função objetivo;
- *Programação Não-Linear*: quando existe qualquer tipo de não linearidade, seja na função objetivo ou nas restrições;
- *Programação Inteira*: se qualquer variável não puder assumir valores contínuos, ficando condicionada a assumir valores discretos.

A programação matemática, na prática, é fortemente direcionada ao apoio da tomada de decisão no gerenciamento de sistemas de grande porte com muitas variáveis. A técnica permite a modelagem de inter-relações entre variáveis que dificilmente seriam visíveis de forma intuitiva. Com a utilização dos meios de processamento automático de dados, os Programas de Programação Matemática, podem-se examinar inúmeras configurações viáveis do problema e selecionar, dentre certos critérios, as “melhores” (GOLDBARG, 2000).

Segundo HILLIER e LIEBERMAN (1990), para que a modelagem do processo seja realizada da melhor forma, é possível sumarizar as etapas a serem seguidas a fim de que o modelo realmente seja representativo. As etapas podem ser definidas como:

- 1) Formulação do problema;
- 2) Construção do modelo matemático que representa o processo em estudo;
- 3) Soluções derivadas do modelo;
- 4) Teste do modelo e de sua solução;
- 5) Estabelecimento de controles sobre o modelo;
- 6) Implementação da solução.

Para iniciar a formulação do problema, primeira etapa da modelagem, é preciso ter em mente quais são os objetivos do problema, que é o aspecto mais importante da formulação. A etapa seguinte então, tem-se a construção do modelo matemático, que é a representação idealizada do processo, escrita em expressões matemáticas que descrevem a essência do problema. Quando existem n variáveis decisivas a serem determinadas pelo modelo, estas são expressas numa função matemática chamada *Função Objetivo*. Pode haver várias restrições sobre os valores dessas variáveis decisivas, que também são representadas através de *Restrições* do tipo *Igualdade* e *Desigualdade* e as constantes (coeficientes) na função objetivo ou nas restrições, são chamadas de *Parâmetros*.

Segundo CONVERSE (1977), estas colocações – Função Objetivo, Variáveis decisivas (ou de variáveis de controle) e Restrição – é a forma geral de qualquer problema de otimização, onde geralmente deseja-se extremar alguma função, ou seja, levá-la ao extremo da maximização ou minimização, e esta função é justamente chamada de Função Objetivo. Porém, quando se deseja uma solução através de métodos matemáticos é preciso que o problema seja escrito em linguagem matemática, por exemplo:

Maximizar: $f(x_1, x_2, x_3)$

Restrito a: $g(x_1, x_2, x_3) = 0$

O enunciado pode ser interpretado da seguinte forma: Maximizar a função f , de x_1, x_2, x_3 , através da determinação de x_1, x_2, x_3 , restrito à condição de que uma outra função g de x_1, x_2, x_3 , assuma o valor de zero. CONVERSE (1977), afirma ainda que esta etapa de redução do processo (ou do problema) a uma forma simbólica é sem dúvida a mais trabalhosa e é onde são empregados os

conhecimentos da engenharia sobre o meio físico, químico, econômico, social e político; o restante reduz-se a matemática.

Os problemas de programação normalmente se encarregam de alocar recursos escassos (mão de obra, máquinas e matéria prima) na produção, de tal forma que os produtos obedeçam a certas especificações técnicas e observem certas restrições (disponibilidade de tempo de máquina, capacidade de aceitação do mercado consumidor, etc) e finalmente tentam maximizar ou minimizar uma função objetiva como lucro ou custo (FRITZCHE, 1978)

HILLIER e LIEBERMAN (1990) afirmam que modelos matemáticos têm muitas vantagens sobre a descrição verbal do problema e:

Uma vantagem óbvia é que o modelo matemático descreve o problema muito mais concisamente. Isso tende a fazer uma estrutura global do problema mais compreensível, e ajuda a revelar importantes relações de causa - e - efeito. Dessa forma, o modelo indica mais claramente quais dados são mais relevantes para as análises.

Os autores afirmam também que o modelo matemático é que forma a ponte entre as técnicas matemáticas e os computadores para analisar o problema.

Após a construção do modelo a próxima etapa é derivar uma solução a partir deste modelo. Pode parecer a parte mais complicada, mas pode ser um passo relativamente simples quando o algoritmo (produção de soluções iterativas) do modelo é aplicado em um computador que faz uso de programas específicos para a resolução de métodos matemáticos. Uma vez encontrada a solução ótima para o modelo, é preciso testá-la, partindo assim para a próxima etapa. Uma vez testado o modelo, repetidamente a fim de certificar que é mesmo um modelo representativo, é preciso estabelecer os controles sobre a solução. Nessa etapa é válido também estabelecer procedimentos sistemáticos para a detecção de mudanças e controle da solução, e para isso é necessário identificar as variáveis sensíveis do modelo e a análise estatística significativa de cada uma dessas variáveis. Por fim, depois de todas as etapas anteriores realizadas, tem-se a implementação do modelo.

3.2. Programação Não Linear

Problemas que procuram maximizar ou minimizar uma função numérica de uma ou mais variáveis (ou funções), onde as variáveis (ou funções) estão sujeitas às

determinadas restrições, podem ser chamados de problemas de otimização (FRITZSCHE, 1978).

Um problema não linear de minimização (ou maximização) de uma função objetivo com restrições, genericamente pode ser definido da seguinte forma:

$$\begin{aligned} \text{Minimizar } f(x) \quad & x = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T \\ \text{Sujeito a } h_j(x) = 0 \quad & j = 1, 2, \dots, m \\ g_j(x) \geq 0 \quad & j = m+1, \dots, p \end{aligned}$$

A desigualdade da restrição geralmente é transformada em igualdade. Um método usado quando se tem apenas uma ou duas igualdades de restrição é resolver a equação para uma variável e eliminá-la da formulação do problema (HIMMELBLAU, 2006).

A não linearidade da função objetivo, ou então das restrições é responsável por um acréscimo de dificuldade significativo na resolução de problemas de otimização (TAVARES & CORREIA, 1999). Isso se deve a grande diferença entre as propriedades de uma programação linear, onde pode-se destacar que na programação linear o conjunto da região viável é convexo e tem um número finito de vértices (chamados de pontos extremos), o que nem sempre acontece na programação não linear, além de que um máximo (mínimo) local também é o máximo (mínimo) global ou absoluto na programação linear. Outra propriedade linear que também pode ser violada na programação não linear é quando o valor ótimo da função objetivo é limitado, pelo menos um vértice do conjunto convexo das soluções viáveis será ótimo; e movendo-se de um vértice a outro vértice adjacente será possível atingir um ponto ótimo, pois como existe somente um número limitado de vértices, o algoritmo será finito (FRITZSCHE, 1978).

Dessa forma, é normal recorrer a aproximações lineares para resolver problemas não lineares. Essas aproximações baseiam-se em dois processos fundamentais, na linearização da função obtida através da expansão numa série de Taylor em que são desprezados os termos de ordem igual à zero ou superior à segunda, e consiste também na consideração de polítopos convexos que contém o domínio não linear das soluções possíveis (TAVARES & CORREIA, 1999).

Um exemplo de um problema de programação não linear por TAVARES e CORREIA (1999) é:

$$\begin{aligned} \text{Maximizar } z = & -(x_1 - 2)^2 - 2(x_2 - 3)^2 \\ \text{Restrito à } & x_1 + x_2 \leq 4 \end{aligned}$$

$$x_1 - x_2 \leq 1$$

$$x_1 \geq 0 \quad x_2 \geq 0$$

O problema resolvido graficamente como apresentado na Figura 3.1.2.1.

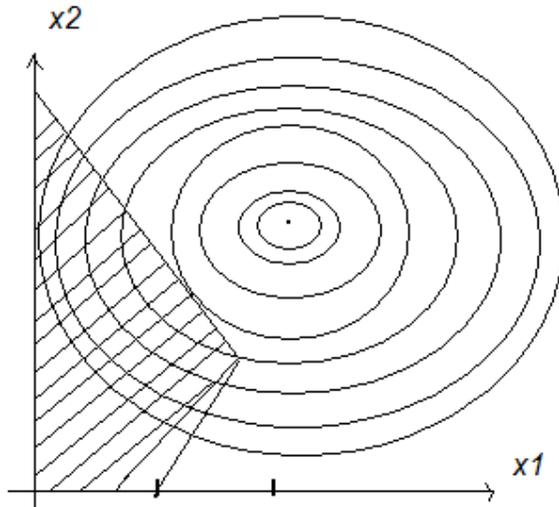


Figura 3.2.1. Resolução gráfica do problema de programação não linear, retirado de TAVARES e CORREIA (1999).

A função objetivo é formada por elipses com centro em $x_1 = 2$ e $x_2 = 3$. A solução ótima acontece no ponto $x^* = 4/3, 8/3$, onde uma elipse z é tangente a $x_1 + x_2 = 4$. Como o declive da elipse no ponto ótimo é igual a -1 , pode-se calcular esse ponto ótimo como $x^* = 4/3, 8/3$ e $z^* = -2/3$ (TAVARES & CORREIA, 1999).

O ponto que maximiza a função objetivo está numa aresta do conjunto convexo das soluções viáveis, mas não é um vértice. Consequentemente, um método que visa resolver problemas de programações não lineares não pode considerar pontos extremos (ou vértices), como faz o método simplex. Como também se pode evidenciar problemas não lineares em que as restrições são inativas, o conjunto das soluções viáveis pode ser não-convexo ou até desconectado (FRIETZSCHE, 1978).

Em problemas com n variáveis e m restrições de igualdade, se pode tentar eliminar m variáveis por substituição direta; se todas as restrições de igualdade puderem ser removidas, então não existem restrições de desigualdade, a função objetivo poderá ser diferenciada em relação às demais variáveis ($n-m$) e as derivadas serem feitas iguais a zero. Ou ainda, o código do computador para

otimização irrestrita pode ser empregado para obter x^* ; e se a função objetivo for convexa e as restrições formam uma região convexa, então haverá somente um ponto estacionário, que será o mínimo global (HIMMELBLAU, 1988).

Segundo TAVARES e CORREIA (1999), em problemas de programação não linear, os algoritmos normalmente nunca atingem exatamente a solução, mas geram uma seqüência de pontos cujo limite converge ao ponto ótimo e o processo de otimização termina quando um ponto está suficientemente perto do ponto da solução.

CAPÍTULO IV

INTERFACE GAMS

A escolha do software GAMS (General Algebraic Modeling System) para a resolução do modelo matemático desenvolvido neste trabalho ocorreu pelas facilidades oferecidas pelo próprio software.

O programa GAMS é um software que foi desenvolvido por A. Brooke, D. Kendrick e A. Meeraus, no final dos anos 80 em um Banco Mundial, por um grupo de economistas. Eles aproveitaram a experiência de seus trabalhos com programas de modelos econômicos, que requerem em primeiro lugar uma modelagem exaustiva, para uma posterior aplicação dos correspondentes do programa de otimização para só então chegar à solução numérica dos modelos propostos.

A grande diferença entre o GAMS e os outros softwares que permitem resolver problemas de otimização com algoritmos matemáticos é que o GAMS apresenta a vantagem da utilização de uma linguagem de modelagem que permite escrever a formulação matemática do problema no editor e posteriormente aplicar uma série de “solvers”, os programas de resolução, que já estão contidos no software. O GAMS carrega uma variedade de “solvers” para diferentes tipos de problemas e têm se tornado uma das principais linguagens de modelo de equilíbrio computacional, modelos de economia agrícola e modelos de refinaria de óleo. Ele é também uma das principais plataformas de experimentação com desenvolvimento em campo com modelos de programas de integração não linear, mistos, inteiros e modelos de otimização global.

O software GAMS permite expressar uma fórmula algébrica geral usando notações simbólicas. Isso permite modelagens concisas, aplicações exatas e em grande parte independente de dados. Tais formulações são inerentemente expansíveis, facilmente sujeitas ao contexto das mudanças, e facilmente argumentadas.

O modelo matemático desenvolvido neste trabalho é um modelo de otimização não linear, que o software GAMS define como:

4.1. *Nonlinear program (NLP)*

Matematicamente, um programa de programação não linear (NLP), aparece da seguinte forma:

Maximizar ou Minimizar $f(x)$

Sujeito a $g(x) <, =$ ou > 0

$L < x < U$

Onde,

x é um vetor de variáveis contínuas de números reais;

$f(x)$ é a função objetivo;

$g(x)$ representa o conjunto de restrições;

L e U são vetores de menor e maior valor das variáveis.

O solver utilizado para resolução do problema deste trabalho foi o CONOPT, que é um solver de larga escala de otimização não linear (NLP). Uma versão alternativa do CONOPT é distribuída e chamada para acelerar a resolução e é chamado de CONOPTD.

O CONOPT é adequado para modelos não lineares com muitas restrições, ele tem um método rápido para encontrar a primeira solução viável, o que é particularmente bem adaptado para os modelos com poucos graus de liberdade (onde o número de variáveis é aproximadamente o mesmo do número de restrições, ou seja, em um modelo quase quadrado). O CONOPT tem um passo prévio em que recursivas equações e variáveis são resolvidas e removidas do modelo. Um modelo em que muitas equações podem ser resolvidas uma a uma, o CONOPT aproveitará esta propriedade. Assim apenas as variáveis intermediárias utilizadas para definir os termos da função objetivo são eliminadas do modelo e as restrições são deslocadas para a função objetivo.

O solver CONOPT foi desenvolvido pela ARKI Consultoria e Desenvolvimento, na Dinamarca e é um método multi-solver. CONOPT e os outros GAMS NLP “solvers” muitas vezes complementam-se mutuamente. Se um solucionador falhar, algum outro, muitas vezes poderá ser capaz de resolver o modelo. Se de todos os “solvers” nenhum resolver o problema, indica que o modelo é muito difícil ou mal dimensionado, sendo necessário então de uma intervenção manual ou de um modelador experiente (<http://www.gams.com/>).

CAPÍTULO V

DESENVOLVIMENTO DO MODELO

Para o desenvolvimento do presente trabalho, foram utilizados dados anteriormente obtidos e testados em laboratório por MADRONA (2007), que desenvolveu um estudo de adição do soro de queijo no doce de leite em sua dissertação de mestrado, pela Universidade Estadual de Maringá, em 2007.

Em seu estudo, MADRONA (2007) fabricou doce de leite com as seguintes porcentagens de soro: 25% de soro de queijo *in natura* e mais 75% de leite de vaca, 50% de soro de queijo *in natura* e mais 50% de leite de vaca e como padrão, fabricou o doce com 100% de leite de vaca. Foi utilizado também o soro em pó, mas este não será alvo deste estudo. Para todos os doces utilizou-se a mesma quantidade de açúcar (21%), amido (0,49%) e bicarbonato de sódio (0,076%). Nesta etapa do trabalho de MADRONA (2007) é importante observar alguns aspectos, como rendimento e tempo de preparo, conforme Tabela 5.1.

Tabela 5.1. Rendimento, tempo de fabricação e Brix dos doces de leite obtidos logo após a fabricação.

Formulação	Tempo (min)	°Brix	Rendimento (%)
A (100% leite)	44	65	43,20
B (25% soro <i>in natura</i>)	43	64	41,50
C (50% soro <i>in natura</i>)	45	65	41,00

O soro de queijo *in natura* tem aproximadamente 93% de água, enquanto o leite de vaca tem 87%, sendo assim é importante salientar que o preparo do doce com a adição de soro de queijo *in natura* poderia levar mais tempo no processo de evaporação, uma vez que o mesmo contém maior quantidade de água. Porém, na análise realizada por MADRONA (2007), as quantidades de soro adicionadas ao doce de leite, tanto 25% de soro de queijo *in natura* como 50% não foram suficientes significativamente para alterar o tempo de preparo. Dessa forma, o presente estudo se faz coerente, tendo em vista a redução de custo global da fabricação de doce de leite.

A Portaria nº354 de 04/09/1997 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), legislação vigente para o doce de leite, especifica valores limites para as quantidades de gordura, proteína, cinzas, umidade, aditivos e coadjuvantes. Sendo assim, o modelo matemático foi desenvolvido tendo como base esses valores limites.

A primeira etapa da modelagem, de acordo com GOLDBARG (2000), se inicia com a definição do objetivo do problema, que neste caso de estudo é a redução do custo global da produção do doce de leite através da adição de soro de queijo *in natura* e diminuição da quantidade de leite. Porém, neste trabalho, somente considera-se custo global como sendo o custo da matéria-prima e custo de energia, isentando o problema dos custos de mão de obra, tendo em vista que este custo seria o mesmo para o doce padrão e para o doce de leite com soro de queijo *in natura* e que trabalhou-se com a comparação dos dois valores.

Sendo a *Função Objetivo* a minimização do custo global da produção, teremos então uma somatória das quantidades de matéria-prima, multiplicando cada uma delas por seu respectivo custo, somando-se ainda o custo de energia para a fabricação do doce de leite. Dessa forma, pode-se escrever a *Função Objetivo* como:

Custo do Doce = Σ (quantidade de matéria-prima)*(custo da matéria-prima) + custo de energia; ou seja:

$$C_D = \Sigma x \cdot C_x + C_E \quad (5.1)$$

Sendo:

C_D = Custo de produção do doce;

C_x = Custo unitário da matéria-prima;

C_E =Custo de energia;

x = Quantidade da matéria-prima.

Uma vez definida a função objetivo, é preciso definir as variáveis. Como dito anteriormente, as variáveis serão os limites especificados pela legislação vigente para o doce de leite, ou seja, teor de cinzas, gordura, proteína e umidade, bicarbonato de sódio, as quantidades de leite, de soro de queijo *in natura*, de água que evapora e o doce obtido no final do processo.

Segundo GOLDBARG (2000), a construção de modelos determina a inclusão de *parâmetros* e *constantes* que serão responsáveis pela definição e dimensionamento das relações entre as variáveis do modelo. Uma vez definidas as

variáveis e a função objetivo, fica fácil identificar quais serão os parâmetros do problema, que neste caso serão os preços de cada matéria-prima, os teores de gordura, proteína, cinzas e umidade presentes no leite, no soro de queijo, no açúcar e no bicarbonato, os calores específicos das matérias-primas e a variação de temperatura do processo.

Após definida a função objetivo, as variáveis e os parâmetros, parte-se para a construção das equações e inequações do modelo. O ponto inicial neste momento é o balanço de massa e o balanço de energia do processo.

Sabe-se que a fabricação do doce de leite é um processo de evaporação, onde se misturam o leite, açúcar, bicarbonato de sódio, amido (item opcional) e o soro de queijo especificamente neste caso. Dessa forma, o balanço global de massa do processo pode ser escrito da seguinte forma:

Leite(kg) + Soro de Queijo(kg) + Açúcar(kg) + Bicarbonato(kg) – Água(kg) = Doce de Leite(kg), ou seja:

$$L(\text{kg}) + S(\text{kg}) + A(\text{kg}) + B(\text{kg}) - W(\text{kg}) = D(\text{kg}) \quad (5.2)$$

Sendo:

L = Quantidade de leite que entra no processo;

S = Quantidade de soro de queijo que entra no processo;

A = Quantidade de açúcar que entra no processo;

B = Quantidade de bicarbonato de sódio que entra no processo;

W = Quantidade de água que evapora no processo;

D = Quantidade de doce de leite que se obtém no processo.

Através da equação 5.2. é possível escrever as equações para o balanço por componente do processo, que neste caso, serão as variáveis (gordura, proteína, cinzas e umidade). De forma global, o balanço de massa para componentes pode ser escrito da seguinte forma:

$$L^*x_{Li}(\text{kg}) + S^*x_{Si}(\text{kg}) + A^*x_{Ai}(\text{kg}) + B^*x_{Bi}(\text{kg}) - W^*x_{Wi}(\text{kg}) = D^*x_{Di}(\text{kg}) \quad (5.3)$$

Onde i = gordura (representado pela letra “g”), cinzas (representado pela letra “c”), proteína (representado pela letra “p”) e umidade (representado pela letra “w” minúscula).

De acordo com a equação acima, tem-se o seguinte balanço global para a gordura:

$$L^*x_{Lg}(\text{kg}) + S^*x_{Sg}(\text{kg}) + A^*x_{Ag}(\text{kg}) + B^*x_{Bg}(\text{kg}) - W^*x_{Wg}(\text{kg}) = D^*x_{Dg}(\text{kg}) \quad (5.4)$$

Onde:

$x_{Lg}(\text{kg})$ = Porcentagem de gordura presente no leite;
 $x_{Sg}(\text{kg})$ = Porcentagem de gordura presente no soro de queijo;
 $x_{Ag}(\text{kg})$ = Porcentagem de gordura presente no açúcar;
 $x_{Bg}(\text{kg})$ = Porcentagem de gordura presente no bicarbonato;
 $x_{Wg}(\text{kg})$ = Porcentagem de gordura presente na água;
 $x_{Dg}(\text{kg})$ = Porcentagem de gordura presente no doce de leite.

Sabendo que a água, o bicarbonato e o açúcar não contém gordura, pode-se eliminar as variáveis x_{Ag} , x_{Bg} e x_{Wg} , ficando com a seguinte equação de balanço para a gordura:

$$L \cdot x_{Lg}(\text{kg}) + S \cdot x_{Sg}(\text{kg}) = D \cdot x_{Dg}(\text{kg}) \quad (5.5)$$

Adaptando a equação 5.3. para o balanço de massa para as cinzas, tem-se:

$$L \cdot x_{Lc}(\text{kg}) + S \cdot x_{Sc}(\text{kg}) + A \cdot x_{Ac}(\text{kg}) + B \cdot x_{Bc}(\text{kg}) - W \cdot x_{Wc}(\text{kg}) = D \cdot x_{Dc}(\text{kg}) \quad (5.6)$$

Onde:

$x_{Lc}(\text{kg})$ = Porcentagem de cinzas presente no leite;
 $x_{Sc}(\text{kg})$ = Porcentagem de cinzas presente no soro de queijo;
 $x_{Ac}(\text{kg})$ = Porcentagem de cinzas presente no açúcar;
 $x_{Bc}(\text{kg})$ = Porcentagem de cinzas presente no bicarbonato;
 $x_{Wc}(\text{kg})$ = Porcentagem de cinzas presente na água;
 $x_{Dc}(\text{kg})$ = Porcentagem de cinzas presente no doce de leite.

De forma semelhante à gordura, no açúcar, no bicarbonato de sódio e na água também não existe teor de cinzas, reduzindo a equação 5.7 à:

$$L \cdot x_{Lc}(\text{kg}) + S \cdot x_{Sc}(\text{kg}) = D \cdot x_{Dc}(\text{kg}) \quad (5.7)$$

A mesma análise se aplica à proteína, chegando a seguinte equação de balanço de massa para proteína:

$$L \cdot x_{Lp}(\text{kg}) + S \cdot x_{Sp}(\text{kg}) = D \cdot x_{Dp}(\text{kg}) \quad (5.8)$$

Onde:

$x_{Lp}(\text{kg})$ = Porcentagem de proteína presente no leite;
 $x_{Sp}(\text{kg})$ = Porcentagem de proteína presente no soro de queijo;
 $x_{Dp}(\text{kg})$ = Porcentagem de proteína presente no doce de leite.

E para a última variável, a umidade, tem-se a seguinte equação de balanço de massa:

$$L \cdot x_{Lw}(\text{kg}) + S \cdot x_{Sw}(\text{kg}) + A \cdot x_{Aw}(\text{kg}) + B \cdot x_{Bw}(\text{kg}) - W \cdot x_{Ww}(\text{kg}) = D \cdot x_{Dw}(\text{kg}) \quad (5.9)$$

Onde:

$x_{Lw}(\text{kg})$ = Porcentagem de água presente no leite;

$x_{Sw}(kg)$ = Porcentagem de água presente no soro de queijo;

$x_{Aw}(kg)$ = Porcentagem de água presente no açúcar;

$x_{Bw}(kg)$ = Porcentagem de água presente no bicarbonato de sódio;

$x_{Ww}(kg)$ = Porcentagem de água presente na própria água;

$x_{Dw}(kg)$ = Porcentagem de água presente no doce de leite.

Tendo a Portaria n° 354 de 04/09/1997 do MAPA como base para o desenvolvimento do modelo, é preciso adicionar os limites estabelecidos pela legislação ao modelo. A legislação prevê que o doce de leite cremoso deve ter no máximo 30% de umidade, no mínimo 5% de proteína, no máximo 2% de cinzas e a quantidade de gordura deve estar entre 6% a 9%. Dessas informações pode-se escrever as seguintes inequações:

$$x_{Dw} \leq 0,3 \quad (5.10)$$

$$x_{Dp} \leq 0,05 \quad (5.11)$$

$$x_{Dc} \leq 0,02 \quad (5.12)$$

$$0,06 \leq x_{Dg} \leq 0,09 \quad (5.13)$$

A quantidade de sacarose que deve ser adicionada ao doce de leite, de acordo com a Portaria n°354, é de no máximo 30kg para cada 100L de leite. Escolheu-se trabalhar com a quantidade de 20% de açúcar, seguindo os experimentos realizados por MADRONA (2007), porém sobre a soma da quantidade de leite mais a de soro de queijo. Dessa forma, a quantidade de açúcar foi calculada inserindo-se ao modelo a equação 5.14, onde A é a quantidade de açúcar, L é a quantidade de leite e S é a quantidade de soro.

$$A = 0,2*(L+S) \quad (5.14)$$

Já a quantidade de bicarbonato que se deve adicionar à mistura, é calculada a partir da acidez presente somente no leite, pois o soro para se trabalhar, já deve estar com acidez 13°D. O leite de vaca cru, normalmente apresenta acidez em torno de 18°D e deve ser corrigido para 13°D, ou seja, uma diferença de 5°D. Sabendo-se que 1°D corresponde à 0,1g de ácido láctico por litro, ou seja, 5°D = 0,5g de ácido láctico por litro de leite. O peso molecular do bicarbonato de sódio é 84 g/mol e do ácido láctico é 90 g/mol. Assim, por exemplo, em 100L de leite é necessário neutralizar 50g de ácido láctico com bicarbonato de sódio. Como 50g de ácido láctico está para o peso molecular de 90, para o peso molecular 84 do bicarbonato de sódio, tem-se 46,6g de $NaHCO_3$. Porém, este seria o valor para o bicarbonato com 100% de pureza, sabendo que ele apresenta apenas 80% de pureza, tem-se a

correção para 58,29g de $NaHCO_3$. Como o exemplo foi calculado para 100L de leite, entende-se que para cada litro de leite com acidez $18^\circ D$ será necessário adicionar 0,5829g de bicarbonato (COELHO & ROCHA, 1981). Sendo assim, a equação inserida no modelo para o cálculo da quantidade de bicarbonato será calculada de acordo com a equação 5.15, onde B é a quantidade de bicarbonato de sódio.

$$B = 0,58 * L \quad (5.15)$$

A equação 5.1. é a função objetivo do modelo, as equações seguintes (5.2 à 5.13) são as equações e inequações de restrição do problema, ou seja, é preciso chegar a um valor da função objetivo atendendo todas as restrições impostas no problema.

Na Tabela 5.2 pode-se observar os parâmetros que serão utilizados no desenvolvimento do modelo do Caso 1, retirados da literatura na obra de VIEIRA DE SÁ (1978).

Tabela 5.2. Parâmetros para o Caso 1.

Componentes/ Matéria-prima	Leite de Vaca (x_l)	Soro de Queijo (x_s)	Açúcar (x_a)	Bicarbonato (x_b)
Gordura (g)	3,4%	0,66%	0	0
Proteína (p)	3,3%	0,88%	0	0
Cinzas (c)	0,7%	0,53%	0	0
Umidade (w)	87%	93%	0,30%	0,25%
Outros (s)	5,6%	4,9%	99,7%	99,75%

O processo de produção de doce de leite é um processo de evaporação, com temperatura controlada para não ultrapassar $100^\circ C$, que é o limite para que não ocorram reações indesejadas durante a fabricação do doce. Dessa forma, o balanço de energia é calculado utilizando as fórmulas de calor latente e calor de específico. CARMEN e ESTEBAN (2002) abordam em sua obra o valor do calor específico do leite e do açúcar, conforme Tabela 5.3. O calor específico do soro de queijo foi calculado a partir dos valores do calor específico do leite e da água, de acordo com a porcentagem de água presente no soro de queijo e para o calor específico do leite de cabra, foi mantido o mesmo valor do leite de vaca.

Tabela 5.3. Calores Específicos.

Componente	Calor Específico
Leite de vaca	2,51 kJ/kg.K
Leite de cabra	2,51 kJ/kg.K
Soro de Queijo	2,62 kJ/kg.K
Água	4,19 kJ/kg.K
Açúcar	1,26 kJ/kg.K

Considerando que o soro de queijo seja formado por 93% de água e 0,07% de sólidos e o leite tem 87% de água e 13% de sólidos, o calor específico do soro de queijo foi calculado pela seguinte equação:

$$C_{\text{soro}} = (C_{\text{leite}} * \text{fração de leite}) + (C_{\text{água}} * \text{fração de água}) \quad (5.16)$$

Sendo que a fração de leite que está contido no soro, ou seja, a diferença de 93% (quantidade de água no soro de queijo) e 87% (quantidade de água no leite) é a quantidade a mais de água contida no soro de queijo, assim pode-se calcular a fração de água e de leite no soro de queijo.

Para o balanço de energia é preciso calcular a quantidade de energia necessária para aquecer a mistura até 100°C e quantidade de energia para que haja a evaporação da água contida na mistura. Na primeira parte do balanço utiliza-se então a equação abaixo:

$$Q = \sum m_i * C_i * \Delta T \quad (5.17)$$

Onde,

m_i = massa do componente i ;

C_i = calor específico do componente i ;

ΔT = diferença da temperatura de entrada e final do processo.

A eq. 5.17 pode também ser escrita da seguinte forma:

$$Q = (m_{\text{leite}} * C_{\text{leite}} + m_{\text{açucar}} * C_{\text{açucar}} + m_{\text{soro}} * C_{\text{soro}}) * \Delta T \quad (5.18)$$

E na segunda parte do balanço utiliza-se a equação do calor latente:

$$Q = m_{\text{evap}} * CL_{\text{água}} \quad (5.19)$$

Onde,

m_{evap} = massa de água evaporada durante o processo;

$CL_{\text{água}}$ = calor latente da água.

Incorporando as equações 5.18 e 5.19 ao modelo representativo do processo de produção de doce de leite, juntamente com as equações de balanço citadas

acima e os parâmetros é possível calcular o custo de energia e de produção do doce de leite, sendo que este custo será calculado tendo *lenha* como base para a produção de energia, que tem poder calorífico de 3700KJ/Kg.

Os parâmetros: preços dos leites, açúcar, soro de queijo *in natura* e bicarbonato de sódio, tem seus valores mostrados na Tabela 5.4. O preço do soro de queijo foi colocado como mínimo, tendo em vista o soro de queijo que é descartado no final do processo de produção de queijo, e não podendo ser inserido no processo como custo zero, colocou-se preço de apenas um centavo por quilograma de soro para que o modelo pudesse ser desenvolvido.

Tabela 5.4. Preços dos componentes do doce de leite.

Componente	Preço (R\$)
Leite de vaca	0,45/L
Soro de queijo <i>in natura</i>	0,01/L
Leite de cabra	0,70/kg
Bicarbonato de sódio	17,30/kg
Lenha	0,025/kg
Açúcar	1,00/kg

O segundo caso segue o mesmo raciocínio da primeira modelagem, porém substituindo o leite de vaca por leite de cabra e adicionando o soro de queijo *in natura* também, ou seja, é semelhante à primeira modelagem, porém com outro tipo de leite. Sendo assim a variável L do modelo, pode ser substituída pela variável Z que representa o leite de cabra. Dessa forma tem-se a inversão das variáveis x_{Lg} , x_{Lc} , x_{Lp} , x_{Lw} , m_L , C_L , nas variáveis x_{Zg} , x_{Zc} , x_{Zp} , x_{Zw} , m_Z , C_Z , que representam respectivamente a fração de gordura, cinzas, proteínas e água no leite tipo “Z”, a quantidade de leite tipo “Z” utilizada na elaboração do doce e o calor específico do leite tipo “Z”. Os parâmetros utilizados para o caso 2 estão na Tabela 5.5, também retirados de VIEIRA DE SÁ (1978) e de CARMEN e ESTEBAN (2002).

Tabela 5.5. Parâmetros para o Caso 2.

Componentes/ Matéria-prima	Leite de Cabra (x_z)	Soro de Queijo (x_s)	Açúcar (x_a)	Bicarbonato (x_b)
Gordura (g)	4,8%	0,66%	0	0
Proteína (p)	3,9%	0,88%	0	0
Cinzas (c)	0,8%	0,53%	0	0
Umidade (w)	86,1%	93%	0,30%	0,25%
Outros (s)	4,4%	4,9%	99,7%	99,75%

O preço do leite de cabra foi inserido no modelo como R\$0,70 por litro e seu calor específico foi utilizado o mesmo valor que o do leite, por terem umidade semelhante.

No Caso 3, desenvolveu-se um modelo em busca da maximização do rendimento do doce de leite produzido com leite de cabra e leite de vaca. A grande diferença deste modelo para os modelos do Caso 1 e 2, é a função objetivo, que pode ser definida da seguinte forma:

Maximização da função R que é igual à quantidade de doce produzida (D), pela quantidade de matéria-prima que entra no processo, ou seja, Leite de vaca (L), leite de cabra (Z), açúcar (A) e bicarbonato de sódio (B).

$$\text{Max } R = D / (L + Z + A + B) \quad (5.20)$$

Os parâmetros utilizados neste modelo são os mesmos para os leites de vaca e cabra, utilizados nos modelos anteriores.

CAPÍTULO VI

ESTUDOS DE CASOS

6.1. Caso 1

No Caso 1 fez-se a mistura de leite de vaca e soro de queijo *in natura* para a produção de doce de leite. O modelo foi descrito de tal forma que o somatório da quantidade de leite de vaca e de soro de queijo *in natura* totalizasse 100 L, tendo então este valor como base de cálculo. Além dos 100 L da mistura de leite e soro de queijo, adicionou-se também açúcar na quantidade de 20% do valor (em massa) da mistura líquida de entrada (leite e soro de queijo *in natura*) e bicarbonato de sódio na quantidade de 0,58% da quantidade (em massa) de leite. Utilizando o modelo descrito no capítulo anterior e inserindo-o no programa GAMS (General Algebraic Modeling System), que é um software específico para resoluções de modelos matemáticos, pode-se obter o resultado ótimo do modelo desenvolvido. Os resultados para o modelo do Caso 1 seguem na Tabela 6.1.

Tabela 6.1. Resultados do Caso 1.

<i>Variáveis</i>	<i>Solução</i>
C	R\$ 61,879
D	45,882kg
L	73,300L
S	26,700L
W	74,898kg
Q	$1,8821 \cdot 10^5$
X_{DG}	0,060kg
X_{DP}	0,060kg
X_{DC}	0,015kg
X_{DW}	0,300kg
X_{DS}	0,566kg

Analisando os resultados na Tabela 6.1, pode-se observar que de acordo com as restrições impostas, os parâmetros, os limites superiores e inferiores para as variáveis e as equações desenvolvidas, os valores ótimos para o modelo são: para

umidade de 30% tem-se 6,0% de proteína, 1,5% de cinzas, 6% de gordura, 56,6% de sólidos totais, evaporação de 74,9% da água de entrada, rendimento de 38% de doce de leite com entrada de 61,2% de leite e 22,2% de soro de queijo *in natura*, somando ao final um custo total de R\$ 61,88, ou seja, R\$ 1,35 por quilograma de doce de leite. O custo de energia, utilizando-se a lenha como fonte principal, representa 2% do custo total.

Na escolha do melhor resultado foram realizadas algumas simulações sobre a quantidade de rendimento do produto (variável *D*), onde se tem os resultados na Tabela 6.1.2, a seguir:

Tabela 6.1.2. Simulação com diferentes valores para a quantidade de doce de leite produzido.

Simulação	Leite de Vaca (L)	Soro de Queijo (L)	D (kg de doce)	Custo (R\$)	Custo/Kg (R\$)
1	63,50	36,50	40,0	55,774	1,39
2	72,14	27,86	45,0	61,537	1,37
3	73,30	26,70	45,882	62,492	1,35
4	73,55	26,45	46,0	62,625	1,36
5	77,89	22,11	47,0	64,961	1,38
6	88,03	11,97	48,0	70,435	1,46
7	98,17	1,83	49,0	75,908	1,55

Visualizando a Figura 6.1.1, pode-se perceber claramente a convergência do custo por quilograma de produto formado.

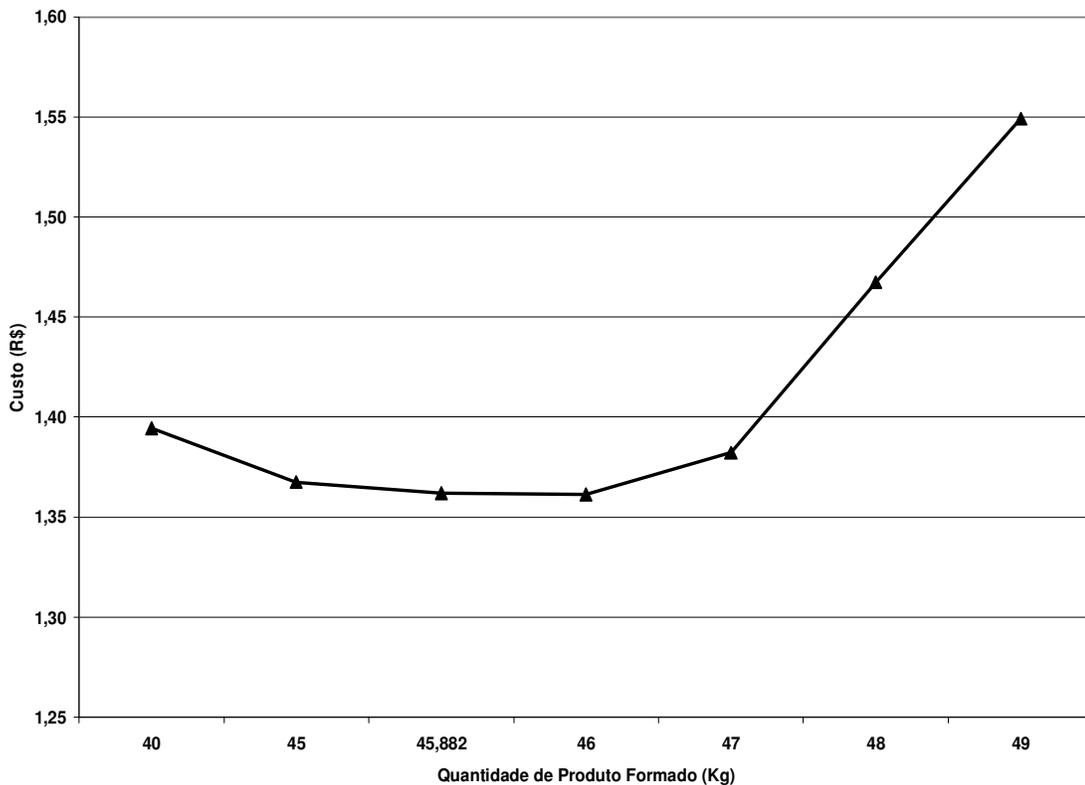


Figura 6.1.1. Diagrama de custo por quilograma de produto na simulação do processo de produção de doce de leite com soro de queijo *in natura*.

No diagrama da Figura 6.1.1 é possível observar que existe uma elevação no custo por quilograma de doce de leite até o segundo ponto, conseqüentemente essa elevação também ocorre no custo total de produção, o que se deve ao baixo rendimento. Após estes dois primeiros pontos, existe uma queda (entre as quantidades de 45,882 Kg e 46 Kg de doce) e em seguida o custo inicia novamente uma elevação devido ao aumento da quantidade de leite, deixando claro o ponto de convergência para o menor custo de produção, que é o ponto em que o custo por quilograma de produto fica em torno de R\$1,36 e o custo total é representado por R\$62,50.

Na Figura 6.1.2, pode-se observar a mesma convergência de dados, porém desta vez na quantidade de leite de vaca e na Figura 6.1.3 a convergência na quantidade de soro de queijo. No terceiro ponto da Figura 6.1.2, onde se tem 73,30 L de leite de vaca, corresponde ao terceiro ponto da Figura 6.1.3 onde se tem a

quantidade de 26,70L de soro de queijo *in natura*, produzindo 45,882Kg de doce de leite, é o ponto de menor custo de produção viável.

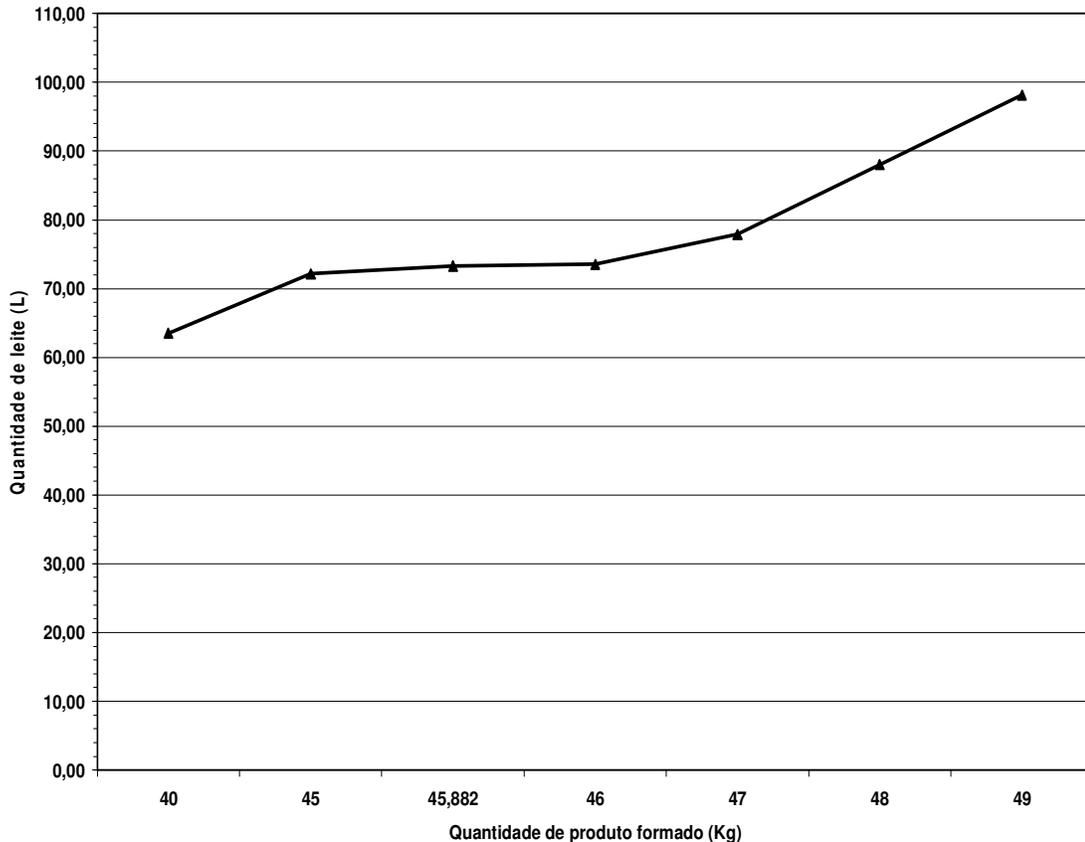


Figura 6.1.2. Diagrama das quantidades de leite de vaca na simulação do processo de produção de doce de leite.

Trabalhou-se com quantidade de produto formado (D) entre 40 Kg e 49 Kg, porque acima de 49 Kg o modelo apresenta baixo rendimento deixando então de utilizar o soro de queijo *in natura*, pois quanto mais soro de queijo se utilizar na produção do doce de leite, menor será o rendimento do processo, o que implica em um produto com custo cada vez mais elevado por causa do aumento da quantidade de leite. E abaixo do limite de 40 Kg de produto formado, o modelo apresenta custo elevado devido ao baixo rendimento. Dessa forma limitou-se o estudo nesta estreita faixa, onde através da Figuras 6.1.1, 6.1.2 e 6.1.3 é possível perceber que quanto maior a quantidade de leite, mais elevado será o custo total do produto, já a quantidade de soro de queijo *in natura*, quanto maior, menos elevado será o custo,

porém está estritamente ligado ao rendimento do produto. O soro de queijo *in natura* é capaz sim de diminuir o custo de produção, porém, quando utilizado nesta estreita faixa.

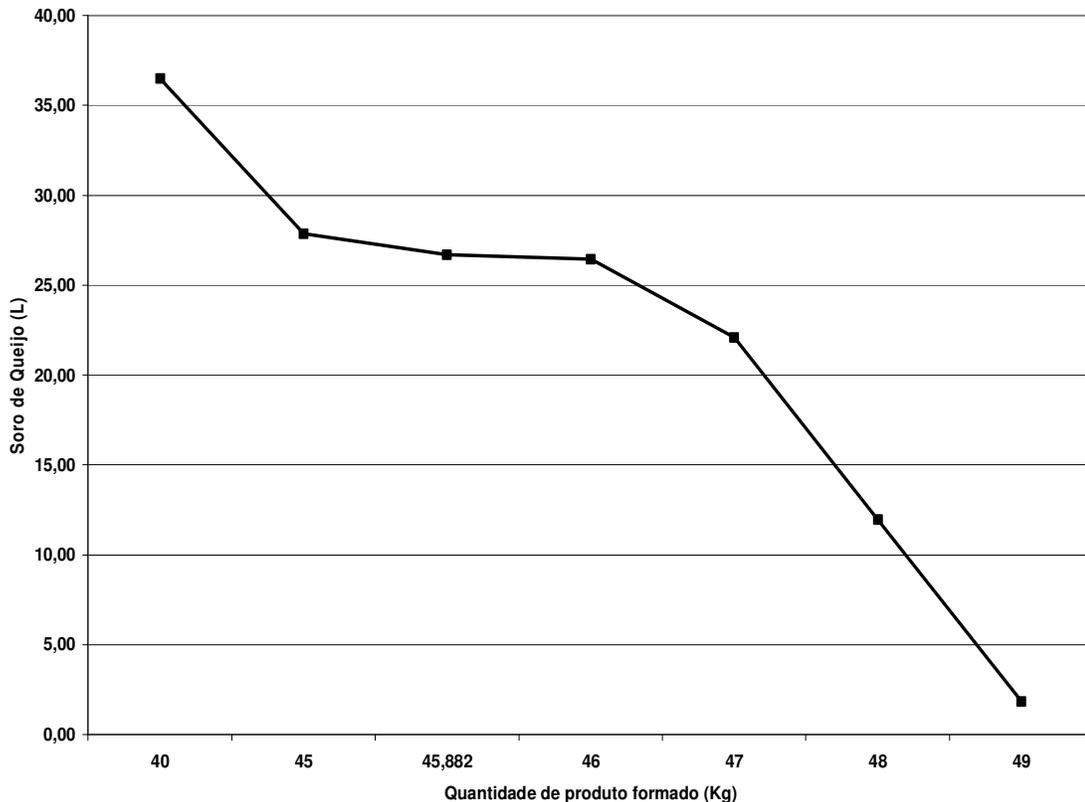


Figura 6.1.3. Diagrama da quantidade de soro de queijo *in natura* na simulação do processo de produção de doce de leite.

Caso 1.2.

A partir do modelo desenvolvido para o processo de produção de doce de leite com leite de vaca e soro de queijo *in natura*, desenvolveu-se um outro modelo onde a função objetivo buscou não minimizar apenas o custo total de produção como no Caso 1, mas sim o Custo/Kg de produto, considerando então a quantidade de produto final e o custo total.

A função Objetivo para este modelo pode ser escrita da seguinte forma:

$$\text{Min} \quad U = C / D \quad (6.1)$$

Onde, U representa o custo/kg de produto, C representa o custo total de produção do processo e D é a quantidade de produto final. Assim, quanto maior for a

quantidade de produto final, e menor for o custo de produção, menos elevado será o valor de U, o custo/kg de produto.

Depois de inserido o modelo no software GAMS, os resultados obtidos foram os da Tabela 6.1.2:

Tabela 6.1.2. Resultados do Caso 1.2.

Variáveis	Solução
U	R\$ 1,35
C	R\$ 61,879
D	45,882Kg
L	73,300L
S	26,700L
W	74,898Kg
Q	$1,8821 \cdot 10^5$
X_{DG}	0,060Kg
X_{DP}	0,060Kg
X_{DC}	0,015Kg
X_{DW}	0,300Kg
X_{DS}	0,566Kg

Como se pode observar, os valores são exatamente os mesmo obtidos através do modelo com a função objetivo buscando somente minimizar o custo total, o Caso 1. Isso indica que realmente este é o ponto ótimo da convergência dos dados.

Caso 1.3.

Para fazer uma comparação entre o doce de leite com o soro de queijo *in natura*, tem-se o modelo do doce de leite padrão, fabricado somente com 100 L de leite, açúcar na quantidade de 20 % da quantidade (em massa) de leite e bicarbonato de sódio na quantidade de 0,58 % da quantidade (em massa) de leite. No modelo do doce de leite padrão, a quantidade de leite foi colocada como parâmetro do modelo, igualando seu valor à mesma quantidade de líquido de entrada (leite de vaca + soro de queijo) no modelo do Caso 1, sendo possível assim comparar o rendimento e o custo dos doces.

Os resultados obtidos no modelo do doce de leite padrão através do software GAMS estão na Tabela 6.1.3, abaixo:

Tabela 6.1.3. Resultado da Modelagem do Doce Padrão.

Variáveis	Solução
C	R\$ 76,311
D	48,478Kg
L	100,00L
S	0L
W	75,302Kg
Q	$1,8902 \cdot 10^5$
X_{DG}	0,072Kg
X_{DP}	0,070Kg
X_{DC}	0,015Kg
X_{DW}	0,300Kg
X_{DS}	0,542Kg

Tem-se então o Doce de Leite com rendimento de 39,1 %, apresentando 7,2 % de gordura, 7,0 % de proteína, 1,5 % de cinzas, 30 % de umidade, 54,2 % de sólidos e custo de R\$ 1,57 por quilograma de produto.

Na Figura 6.1.4. é possível observar que algumas variáveis apresentam os mesmos valores nos dois doces, como a umidade de teor de cinzas. Porém, a grande diferença está no custo por quilograma de produto, sendo que o doce de leite com soro de queijo *in natura* apresenta um custo 14 % menos elevado em relação ao doce de leite padrão.

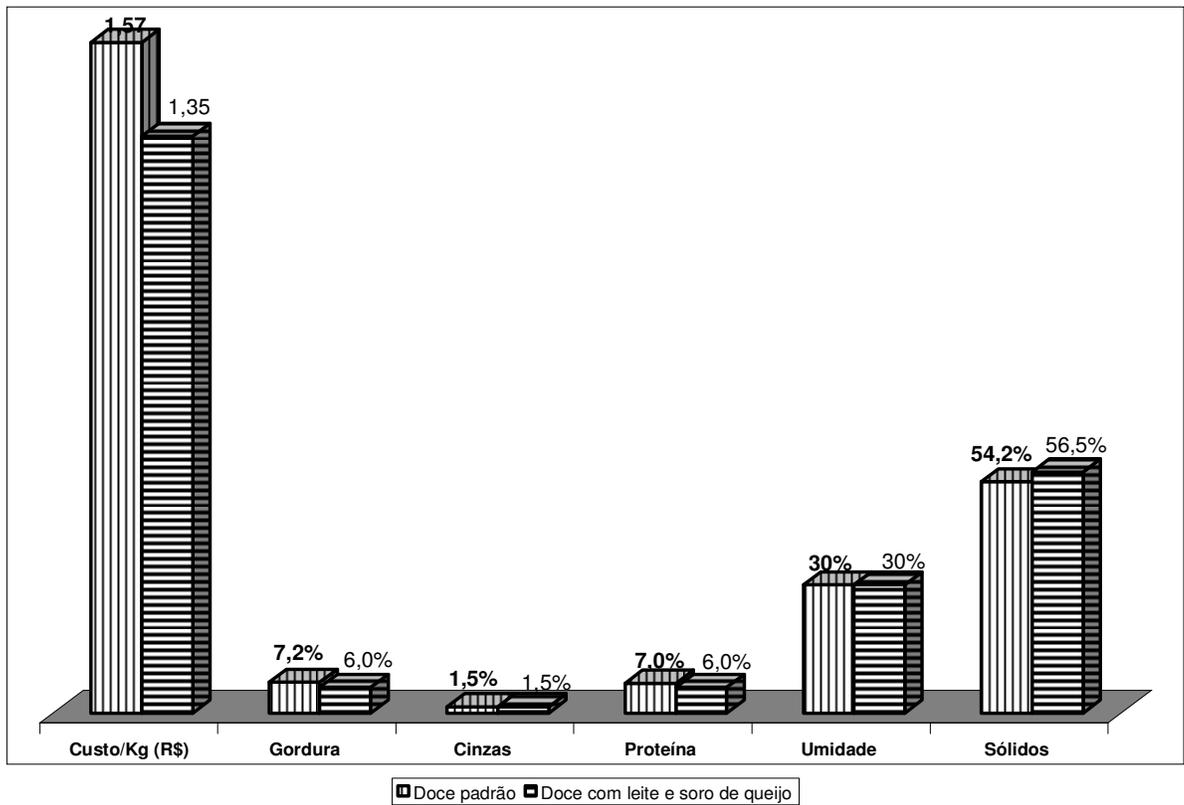


Figura 6.1.4. Diagrama comparativo entre os valores das variáveis do doce de leite padrão e do doce de leite com soro de queijo *in natura*.

Os teores de gordura e proteínas são maiores no doce de leite padrão devido ao soro conter quantidades significativamente inferiores destes componentes, em relação ao leite de vaca.

6.2. Caso 2

De forma semelhante ao que foi realizado no Caso 1, o Caso 2 é a simulação da produção do doce de leite de cabra e soro de queijo *in natura*. A mistura do leite de cabra e o do soro de queijo *in natura* também foi descrita no modelo de tal forma que sua soma totalizasse 100 L. As quantidades de açúcar e bicarbonato são iguais aos dos modelos do Caso 1, Caso, 1.2 e Caso 1.3, ou seja, 20 % da quantidade (em massa) da mistura de leite de cabra e soro de queijo *in natura*, de açúcar e 0,58 % da quantidade (em massa) de leite de bicarbonato de sódio. Como o leite de cabra apresenta custo relativamente mais elevado do que o leite de vaca, a intenção é analisar a possibilidade de igualar os dois custos, ou até mesmo alcançar uma elevação na redução do custo total, maior que a do doce de leite com leite de vaca e soro de queijo *in natura*.

Assim, a partir do modelo desenvolvido no Caso 1, trabalhou-se com as variáveis, mudando-as de leite de vaca para leite de cabra e adequando os valores dos parâmetros para o leite de cabra.

Os resultados obtidos para esta simulação do doce de leite com leite de cabra e soro de queijo *in natura* através do GAMS estão na Tabela 6.2.1.1:

Tabela 6.2.1.1. Resultados do Caso 2.1.

Variáveis	Solução
C	R\$ 58,415
D	43,786Kg
Z	45,693L
S	54,307L
W	76,772Kg
Q	$1,9269 \cdot 10^5$
X_{DG}	0,060Kg
X_{DP}	0,053Kg
X_{DC}	0,015Kg
X_{DW}	0,300Kg
X_{DS}	0,572Kg

De acordo com os valores da Tabela 6.2.1.1, o doce de leite de cabra com adição de soro de queijo *in natura* com melhor custo, tendo em vista o rendimento,

seria um doce produzido com cerca de 38 % de leite de cabra, 45 % de soro de queijo *in natura*, 17 % de açúcar e 0,45 % de bicarbonato de sódio, o que representa um doce de leite com o custo de R\$ 1,33 por quilograma de produto e com as seguintes características: 6 % de gordura, 5,3 % de proteína, 1,5 % de cinzas, 30 % de umidade e 57,2 % de sólidos.

Foi modelado também o processo de produção de doce de leite somente com o leite de cabra para que pudesse haver uma comparação entre os resultados. Na Tabela 6.2.1.2. estão os resultados obtidos para esta modelagem:

Tabela 6.2.1.2. Resultados da Modelagem do Doce de Leite de Cabra Padrão.

<i>Variáveis</i>	<i>Solução</i>
C	R\$ 101,243
D	52,018Kg
Z	100L
S	0L
W	71.562Kg
Q	$1,8672 \cdot 10^5$
X_{DG}	0,060Kg
X_{DP}	0,077Kg
X_{DC}	0,016Kg
X_{DW}	0,300Kg
X_{DS}	0,547Kg

O doce de leite padrão com leite de vaca, apresentou um rendimento de 42,1 %, sendo que o teor de gordura ficou em 6 % (embora o teor de gordura do leite de cabra seja 4,8 %, o mesmo deve ser corrigido para 1,5 %), 7,7 % de proteína, 1,6 % de cinzas, 30 % de umidade e 54,7 % de sólidos, fornecendo um custo de R\$ 1,95 por quilograma de produto. O doce de leite com leite de cabra e soro de queijo *in natura* apresentou uma redução de custo de 31,7 % em relação ao produto padrão, doce de leite com leite de cabra. Segundo a pesquisa de análise sensorial realizada por MADRONA (2007), revelou-se que o doce de leite (com leite de vaca) elaborado com até 50 % de soro de queijo *in natura* tem aceitação pelo consumidor, porém quando a quantidade de soro é superior a 50 %, existe ainda a dificuldade em manter a vida de prateleira do produto.

Dessa forma, foram realizadas várias simulações sob a quantidade de produto formado para a comparação de preços. Na Tabela 6.2.1.3 pode-se observar os resultados obtidos através das simulações.

Tabela. 6.2.1.3. Resultados das simulações realizadas com leite de cabra e soro de queijo *in natura*.

Simulação	Leite de Cabra (L)	Soro de Queijo (L)	D (quilogramas de doce)	Custo (R\$)	Custo/Kg (R\$)
1	45,96	54,04	43,8	58,415	1,33
2	50,00	50,00	45,3	61,798	1,36
3	55,00	45,00	45,8	65,742	1,43
4	60,00	40,00	46,4	69,686	1,50
5	65,00	35,00	46,9	73,629	1,57
6	70,00	30,00	47,4	77,573	1,64
7	75,00	25,00	47,9	81,517	1,70
8	80,00	20,00	48,4	81,461	1,76
9	85,00	15,00	48,9	89,404	1,83
10	90,00	10,00	49,2	91,774	1,86

Distribuindo os valores de custo pela quantidade de produto formado em um gráfico, tem-se a Figura 6.2.1.1., onde se pode observar que quanto maior for a quantidade de leite de cabra, mais elevado será o custo do processo. O que de fato já se esperava, pois o leite de cabra tem o custo mais elevado. Assim como no processo do doce de leite com leite de vaca e soro de queijo *in natura*, quando colocado leite de cabra em quantidade menor do que o resultado fornecido pelo GAMS, tem-se um rendimento baixo, o que leva ao encarecimento do produto. Por esse motivo, as simulações iniciaram em 45,96 L de leite de cabra e 54,04 L de soro de queijo.

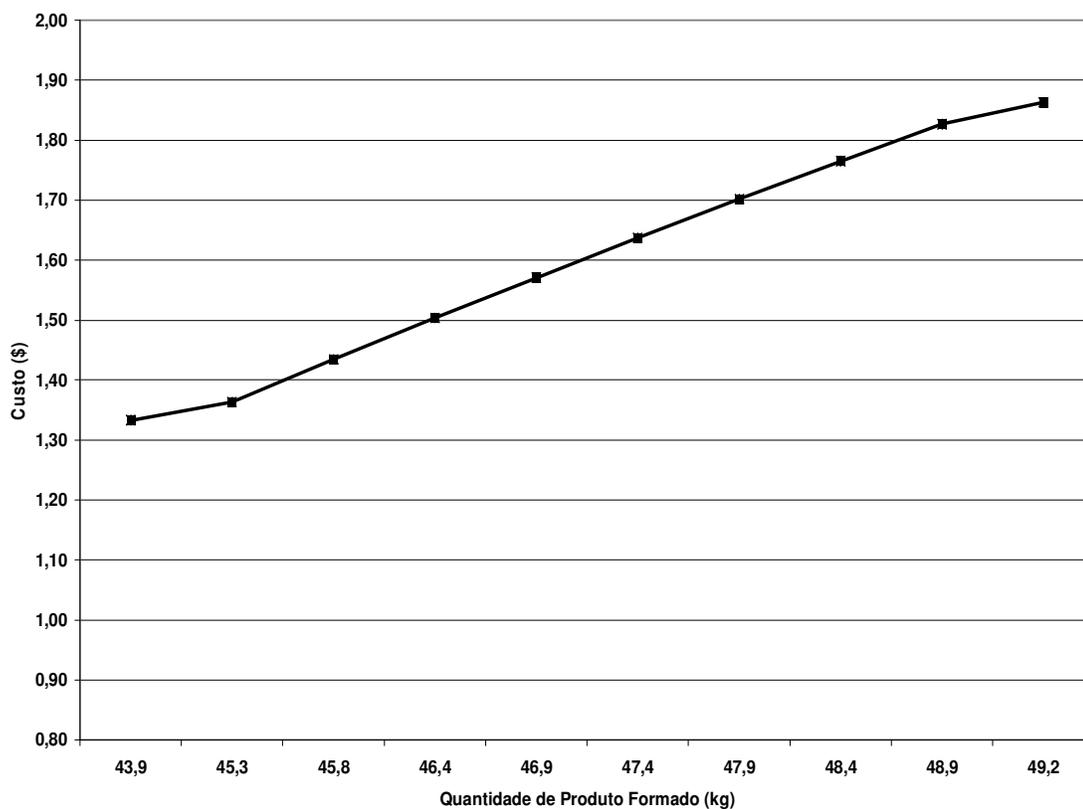


Figura 6.2.1.1. Diagrama de Custo da Simulação do Doce de Leite com Leite de Cabra e Soro de Queijo *in natura*.

No gráfico da Figura 6.2.1.1 pode-se observar que o ponto mínimo é justamente o que representa o custo de R\$ 1,33/Kg de produto, que é o doce especificado na tabela 6.2.1., conforme otimização realizada pelo software GAMS.

Na Figura 6.2.1.2 tem-se as quantidades de leite de cabra e soro de queijo *in natura* pela quantidade de produto formado.

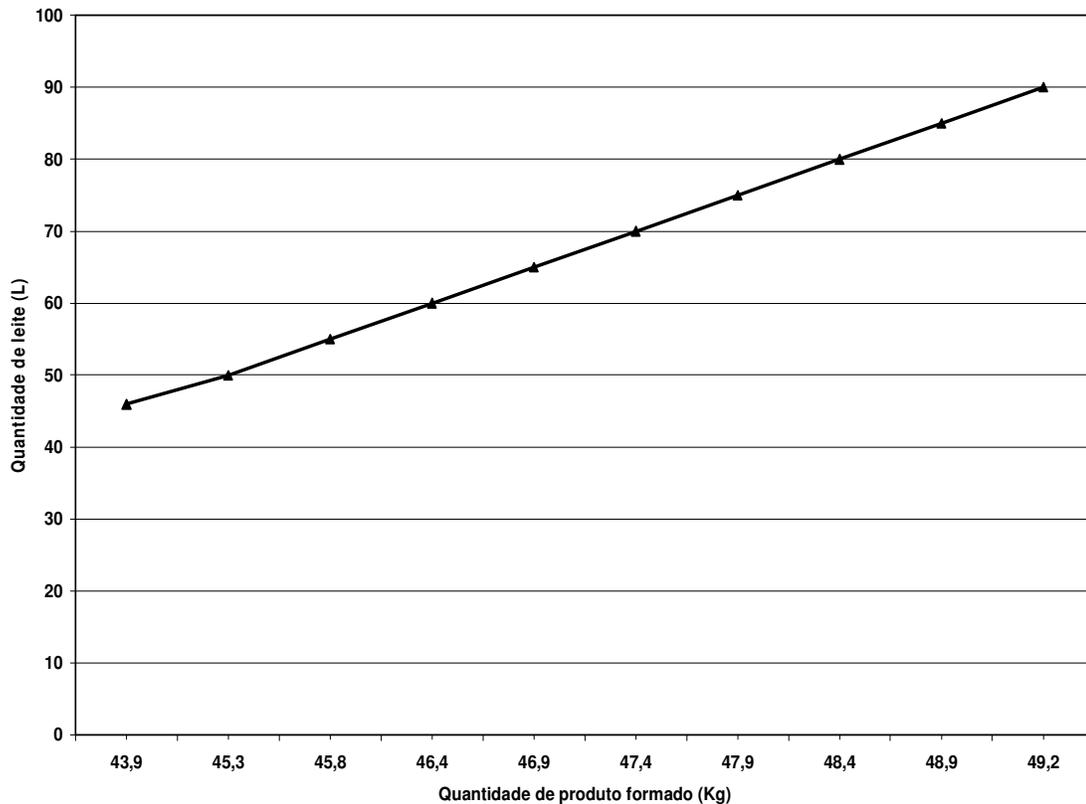


Figura 6.2.1.2. Diagrama das quantidades de leite de cabra na simulação do doce de leite de cabra com soro de queijo *in natura*.

É possível perceber na Figura 6.1.2.2 que quanto maior for a quantidade de leite de cabra, maior será a quantidade de produto final e na Figura 6.2.1.3 pode-se observar que quanto maior for a quantidade de soro de queijo presente no doce, menor será o rendimento do processo. Porém, observando o segundo ponto da Figura 6.2.1.2, onde o doce de leite é produzido com 50 % de leite de cabra, consequentemente 50 % de soro de queijo *in natura* (completando 100% dos líquidos de entrada no processo), o valor obtido foi o que mais se aproximou do valor obtido na otimização do doce de leite com leite de vaca e soro de queijo *in natura*, R\$ 1,36 diferindo apenas em R\$ 0,01. Ainda que apresente baixo rendimento, o doce apresenta também baixo custo de produção, o que faz com que o custo por quilograma de produto também seja baixo.

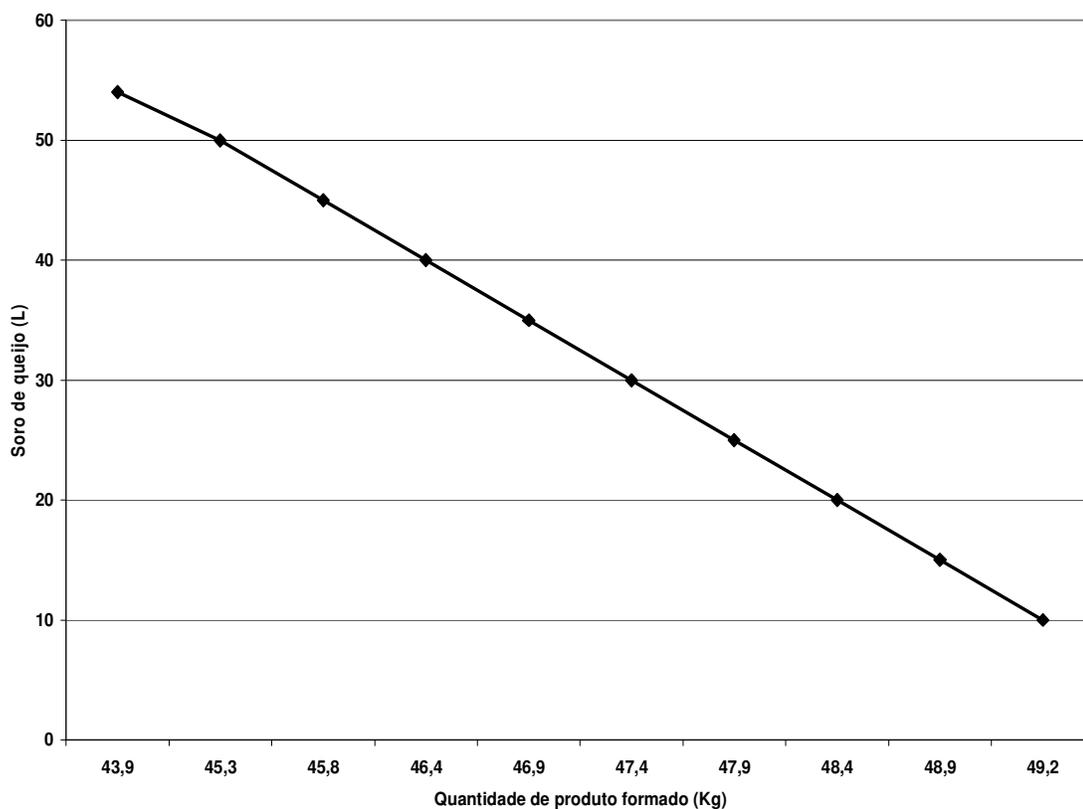


Figura 6.2.1.3. Diagrama das quantidades de soro de queijo *in natura* na simulação do doce de leite de cabra com soro de queijo *in natura*.

Comparando os modelos desenvolvidos, para do doce de leite padrão com leite vaca, doce de leite com leite de vaca e soro de queijo *in natura*, doce de leite padrão com leite de cabra e o doce de leite com leite de cabra e soro de queijo *in natura*, observa-se através da Figura 6.2.1.4 que não existem grandes diferenças no produto final e sim apenas nos custos.

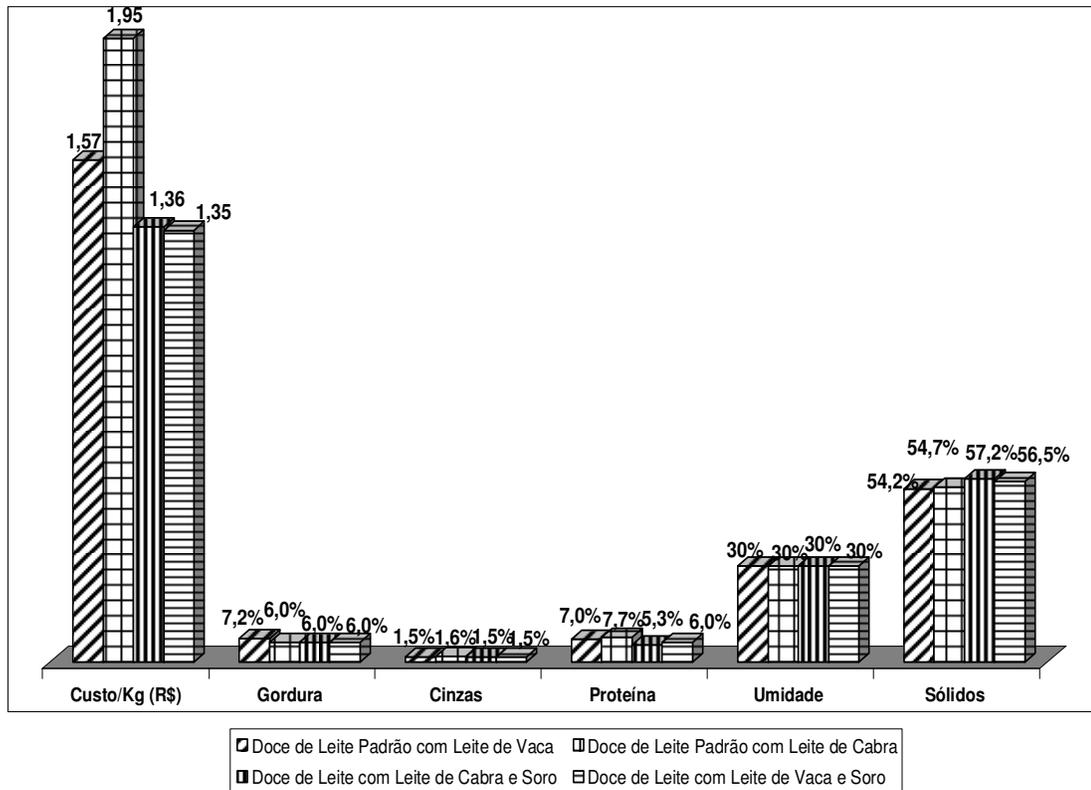


Figura 6.2.1.4. Diagrama de Comparação entre os Doces de Leite com Leite de Cabra, Leite de Vaca e Soro de Queijo *in natura*.

Basicamente todos os doces apresentaram 30 % de umidade, 1,5 % de cinzas, exceto no doce padrão com leite de cabra que apresentou teor de cinzas 1,6, o teor de gordura variou entre 7,2 % para o doce de leite padrão com leite de cabra e 6 % para os demais doces, já os teores de proteína variam entre 7 % para o doce de leite padrão com leite de vaca, 7,7 % para o doce padrão com leite de cabra, 5,3 % no doce com leite de cabra e soro de queijo *in natura* e 6,0% no doce com o leite de vaca e soro de queijo *in natura*. Dessa forma acredita-se que todos os doces devem apresentar textura semelhante, porém não se tem conhecimento ainda do sabor do doce de leite produzido com o leite de cabra e o soro de queijo *in natura*.

Em relação aos custos, o doce de custo menos elevado foi o doce de leite com leite de cabra e soro de queijo *in natura* e o mais elevado, como já era esperado, foi o doce de leite padrão de leite de cabra, pois é o leite de cabra entre o leite de vaca e o soro de queijo, é a matéria-prima de preço mais elevado.

Não foi encontrada na literatura uma legislação que indique os limites para proteína, gordura, cinzas e umidade que o doce de leite de cabra deve ter. No entanto, estudos sobre a tecnologia de fabricação de doce de leite de cabra, indicam que para o doce ter um tempo de prateleira em torno de 60 dias, é preciso que a umidade esteja em torno de 20 % e que a quantidade de açúcar não exceda 12,5 %. Dessa forma, elaborou-se um modelo para este processo (Caso 2.2), colocando leite de cabra e soro de queijo *in natura*, onde a soma dos mesmos totaliza 100 L, 12,5 % da quantidade de líquido (em massa) de entrada de açúcar, 0,78 % da quantidade de leite de cabra (em massa) de bicarbonato de sódio e ajustou-se também a umidade do produto final para 20 %. Na Tabela 6.2.2.1 tem-se os resultados obtidos através da resolução do modelo no software GAMS:

Tabela 6.2.2.1. Resultados do Caso 2.2.

Variáveis	Solução
U	R\$ 1,17
C	R\$ 43,917
D	37,461
Z	36,714
S	63,286
W	73.035kg
Q	2,0729.10 ⁵
X _{DG}	0,060kg
X _{DP}	0,055kg
X _{DC}	0,017kg
X _{DW}	0,200kg
X _{DS}	0,668kg

No entanto, para o doce com leite de vaca sabe-se que adição de mais de 50 % de soro de queijo pode contribuir para um aspecto sensorial negativo e dificultar também a conservação do produto. Sendo assim, limitando a quantidade de soro de queijo em 50 %, tem-se na Tabela 6.2.2.2 os resultados:

Tabela 6.2.2.2. Resultados do Caso 2.2.1.

Variáveis	Solução
U	R\$ 1,40
C	R\$ 54,399
D	38,745kg
Z	50,00L
S	50,00L
W	81.862kg
Q	$2,0450 \cdot 10^5$
x_{DG}	0,073kg
x_{DP}	0,064kg
x_{DC}	0,018kg
x_{DW}	0,200kg
x_{DS}	0,646kg

Como o máximo de soro de queijo que o modelo pode adicionar foi 50%, o custo foi 63,286L. Quando se limita o modelo a utilizar no máximo 50% de soro de queijo na elaboração do doce, espera-se realmente que ele coloque a quantidade máxima de soro de queijo permitida, pois essa será a maior minimização do custo.

Na Tabela 6.2.2.2, tem-se os valores fornecidos pelo software GAMS, onde o modelo forneceu um resultado de 50 % de leite e 50 % de soro de queijo na elaboração de um doce com 7,3 % de gordura, 6,4 % de proteína, 1,8 % de cinzas e 20 % de umidade ao custo de R\$ 1,40 por quilograma de doce. O custo não é tão mais elevado que ao modelo anterior do doce de leite de cabra com soro, pois mesmo a umidade sendo menor, o que implica maior custo de energia e menor rendimento, este modelo tem menor quantidade de açúcar, sendo 12,5 % da quantidade de líquido de entrada.

Alterando os parâmetros de umidade para 20 % de açúcar para 12,5 % da quantidade (em massa) de leite de entrada no modelo do doce de leite de cabra padrão, tem-se na Tabela 6.2.2.3. os seguintes resultados:

Tabela 6.2.2.3. Resultados do Caso 2.2.

Variáveis	Solução
C	R\$ 101,340
D	45,021kg
Z	100L
S	0L
W	77.157kg
Q	$1,8872 \cdot 10^5$
X_{DG}	0,060kg
X_{DP}	0,078kg
X_{DC}	0,018kg
X_{DW}	0,200kg
X_{DS}	0,644kg

De acordo com os resultados da Tabela 6.2.2.3, o custo por quilograma de produto ficou em R\$ 2,25 e doce de leite apresenta 6 % de gordura, 7,8 % de proteína, 1,8 % de cinzas, 20 % de umidade e 64,4 % de sólidos. O rendimento apresentado é de 38,7 %. No Diagrama 6.2.2.1 é realizada uma comparando entre o doce de leite de cabra padrão com o doce de leite de cabra com soro e 20 % de umidade e 12,5 % de açúcar, tem-se o diagrama da Figura 6.2.2.1:

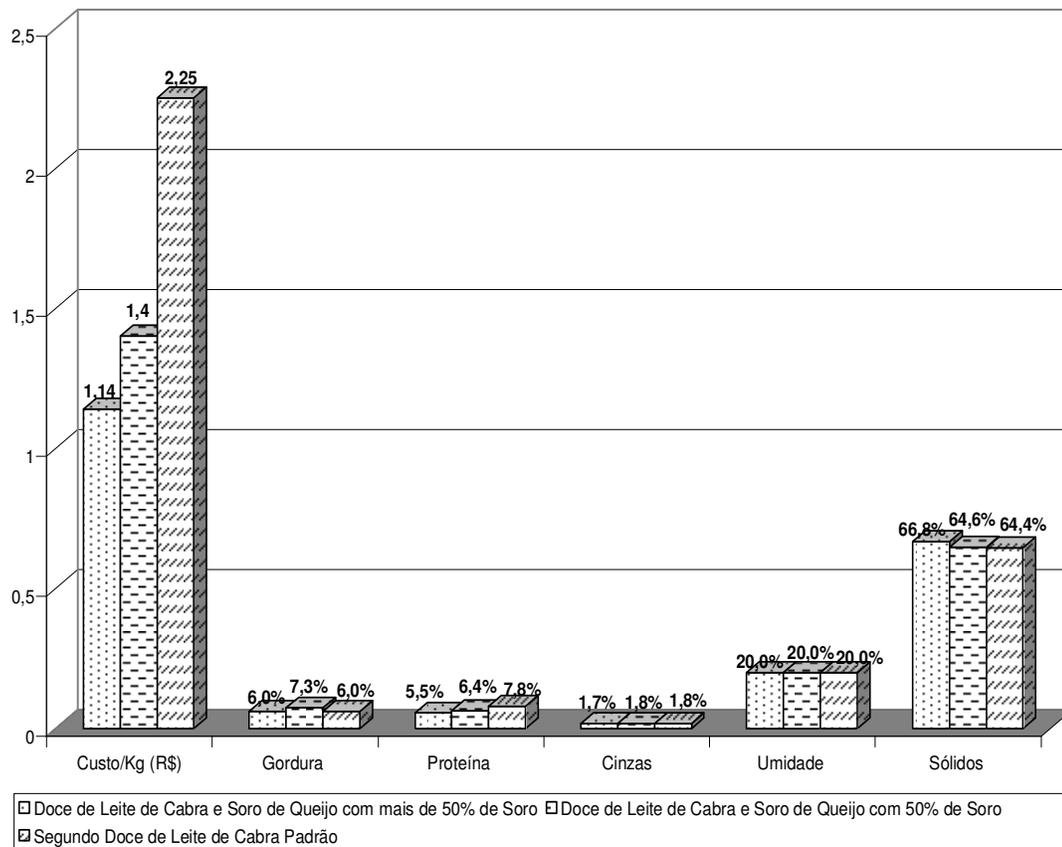


Figura 6.2.2.1. Diagrama comparativo entre o Caso 2.1, o Caso 2.2 e o modelo para o doce de leite de cabra padrão.

Através do diagrama da Figura 6.2.2.1, pode-se observar que as grandes diferenças dos doces estão nos preços, nos teores de gordura e proteína. O doce de preço mais elevado, como já se esperava foi o doce de leite de cabra padrão, apresentando um custo de R\$ 2,25 por quilograma de produto, em seguida tem-se o doce de leite de cabra com 50 % de soro de queijo, apresentando custo de R\$ 1,40/Kg e por último, o doce com maior queda de preço, o doce de leite de cabra com 56,2 % de soro de queijo in natura. O doce de custo menos elevado teve o mesmo teor de gordura do doce de leite com preço mais elevado, em torno de 6 %. Isso se deve ao fato do doce de leite de cabra padrão ter o teor de gordura do leite de cabra corrigido para 1,5 % antes da fabricação do doce, o que não acontece quando o leite de cabra é misturado ao soro de queijo, pois este apresenta baixíssimo teor de gordura. O doce com 50 % de soro de queijo apresentou 7,3 % de gordura e 6,4 % de proteína. A quantidade de proteína presente no doce

aumenta de acordo com a quantidade de leite de cabra presente no doce, pois o leite de cabra apresenta um teor de proteína ligeiramente mais elevado que o soro de queijo. Assim, o doce de leite de cabra com 56,2 % de soro de queijo apresentou 5,5 % de proteína enquanto o doce de leite de cabra padrão apresentou 7,8 % de proteína.

Dessa forma, o doce de leite com 50 % de soro de queijo apresentou uma redução de aproximadamente 38 % no custo, enquanto o doce com maior quantidade de soro de queijo apresentou uma redução de custo de 49,3 %.

6.3. Caso 3

Mudando-se a função objetivo do modelo para uma função de maximização de rendimento, ao invés de minimização de custo, pode-se construir um modelo que represente a produção de doce de leite com vários tipos diferentes de leite, que é o *Caso 3*. Nesse caso a variável S (soro de queijo *in natura*) é substituída pela variável Z, representando o leite de cabra (que posteriormente pode ser substituído por algum outro tipo de leite, diferente do leite de vaca, basta alterar os valores dos parâmetros). Fez-se então uma mistura com o leite de vaca e o leite de cabra, descrevendo-a de tal forma que totalizasse 100 L, como nos modelos anteriores, adicionou-se também o açúcar na quantidade de 20 % do valor da mistura (em massa) e bicarbonato de sódio na quantidade 0,58 % do valor (em massa) da mistura dos leites. Como o leite de cabra apresenta um preço mais elevado, buscou-se a maximização do rendimento, tendo em vista que o leite de cabra apresenta maior teor de proteína, gordura e cinzas.

O doce de leite produzido com leite de cabra apresentou maior rendimento do que o doce produzido com leite de vaca, pois o teor de umidade é menor, como os de gordura, proteína e cinzas são maiores, fazendo com o doce de leite atinja os limites exigidos pela legislação com menor quantidade de matéria-prima. Sendo assim, quanto mais leite de cabra adiciona-se ao leite de vaca para a produção do doce de leite, maior será o rendimento, de tal forma que o modelo desenvolvido não é capaz de convergir em um ponto, ele sempre buscará colocar o máximo de leite de cabra possível. Porém, foram realizadas várias simulações para facilitar esta observação que podem ser feitas através da Tabela 6.3.1.

Tabela 6.3.1. Simulações do Doce de Leite com Leite de Vaca e Leite de Cabra.

Simulações	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Leite de Vaca (Kg)	90	80	70	60	50	40	30	20	10
Leite de Cabra (Kg)	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Doce de Leite (Kg)	50,74	50,88	51,02	51,2	51,3	51,5	51,6	51,7	51,9
Custo Total (R\$)	81,25	81,25	83,75	86,24	88,74	91,24	93,74	96,24	98,73
Custo/kg (R\$)	1,60	1,60	1,64	1,69	1,73	1,77	1,82	1,86	1,90

As simulações descritas acima foram feitas somando 10 litros de leite de cabra e diminuindo 10 litros de leite de vaca a cada simulação. Pode-se observar

que a simulação de maior rendimento está para 90 L de leite de cabra e 10 L de leite de vaca, sendo 51,9 kg de produto final para 100 L da mistura de leite de entrada, ou seja, um rendimento de 42 %. E a simulação de menor rendimento foi justamente a que tinha maior quantidade de leite de vaca, 10 L de leite de cabra para 90 L de leite de vaca, com um rendimento de 41 %. Possivelmente, se fosse realizada a simulação com 99,99 L de leite de cabra para 0,01 L de leite de vaca, esta teria um rendimento maior do que o apresentado na última simulação, porém, teria um valor relativamente próximo ao último. Porém, ainda assim a mistura é interessante, pois com apenas 10 % de leite de vaca e 90 % de leite de cabra, o doce produzido desta forma apresenta custo menos elevado que o doce de leite de cabra, conforme a Figura 6.3.1.

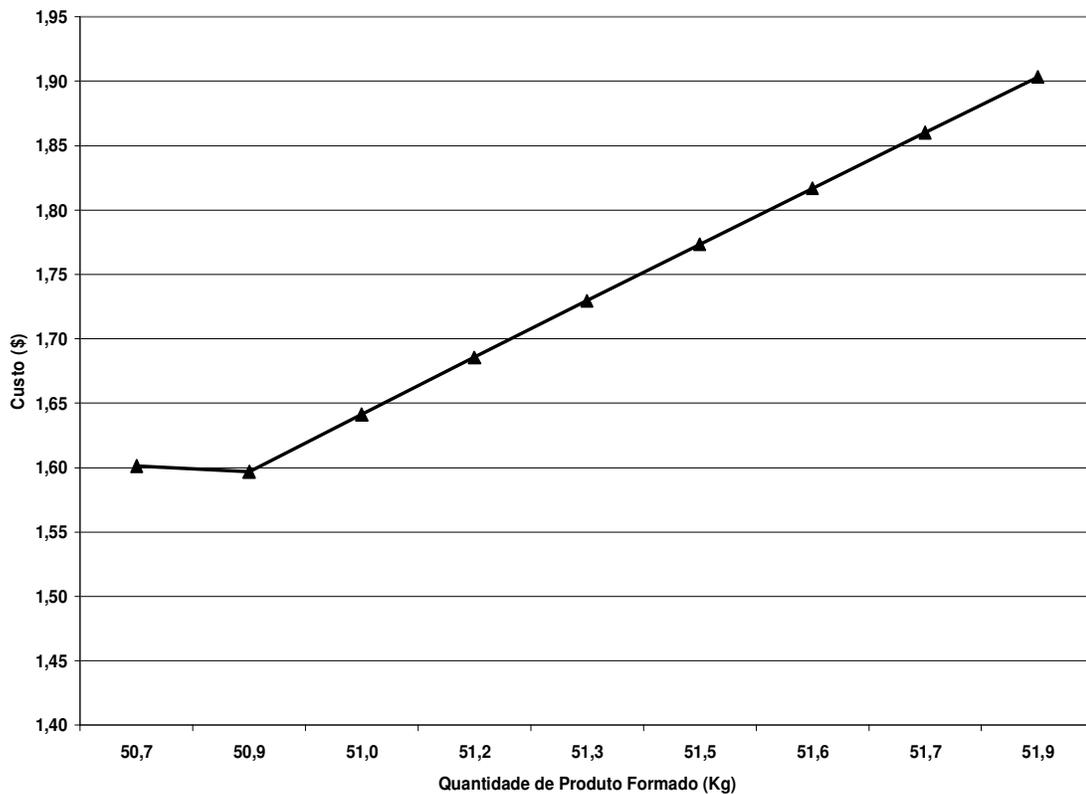


Figura 6.3.1. Diagrama de Custo por Quilograma de Produto da Simulação de produção de doce de leite com leite de vaca e leite de cabra.

No Caso 2 obteve-se o valor de R\$ 2,25 por quilograma de doce de leite de cabra padrão, comparando esse valor com os valores da Figura 6.3.1, pode-se

observar que mesmo com uma mistura que contenha a menor quantidade de leite de vaca (10%) já é possível diminuir o custo do produto em 2,5%, de R\$ 1,95 para R\$1,90. Os menores custos apresentados nas simulações foram R\$ 1,60 para as duas primeiras simulações, como pode ser observado na Figura 6.3.1, representando um doce de leite produzido com 10 % de leite de vaca e 90 % de leite de cabra e também com 20 % de leite de vaca e 80 % de leite de cabra. Misturando-se mais de 90 % de leite de cabra (até que chegue a 100 %), o rendimento do processo tende a estabilizar, por isso as simulações foram apenas até 90 % de leite de cabra.

CAPÍTULO VII

CONCLUSÕES

Através da modelagem matemática do processo de produção de doce de leite, pode-se constatar que substituir de parte do leite por soro de queijo *in natura* na produção doce do leite, representa uma economia em cerca de 14 % no custo de produção em relação ao custo de produção do doce de leite padrão. Analisando este valor de forma mais específica, para uma indústria que tenha capacidade de receber 5000 L de leite por dia, produzindo em torno de 1850 kg de doce de leite por dia, ao custo de R\$ 1,57/Kg , no total de um mês (24 dias úteis) a empresa poderá ter uma economia de R\$ 8.880,00 o que representa uma economia anual de R\$ 106.560,00.

Já para a produção do doce de leite de cabra com soro de queijo *in natura*, a economia é ainda mais significativa, 31,7 % em relação ao produto padrão (segundo a mesma legislação do doce de leite), ou ainda apresentar uma economia de quase 50 % no custo do produto, quando este segue os parâmetros encontrados na literatura.

A otimização de processo pode ocorrer de duas formas principais, através da economia de escala, onde se passa a produzir grande quantidade do mesmo produto, gerando economia no valor de compra das matérias-primas ou então através da economia da produção multiproduto, que é a produção de vários produtos diferentes como a mesma matéria-prima. Os casos estudados estão inseridos numa economia de múltiplas matérias-primas, ou seja, produz-se somente um produto, porém com matérias-primas diferentes, buscando minimização de custo e ao mesmo tempo sem deixar que as características sensoriais do produto sejam alteradas. A modelagem com o leite de cabra e soro de queijo também apresenta redução no custo do produto. Porém, mais interessante do que isso é o aproveitamento de outras matérias-primas na criação de produtos já existentes, pois dessa forma é possível prevenir a escassez de algumas matérias-primas e também gerar uma nova alternativa na falta de matéria-prima.

No terceiro e último caso, trabalhou-se com a simulação do doce de leite com leite de cabra e leite de vaca buscando a maximização do rendimento do produto final. Este caso é interessante porque mostra que mesmo adicionando o leite de

cabra em pequenas quantidades, é possível obter uma maximização no rendimento, no entanto, como o leite de cabra apresenta preço mais elevado, o custo unitário do produto certamente será mais elevado. Porém, vale a pena estudar o caso dessa mistura, pois a mesma pode vir a trazer um produto com características sensoriais mais agradáveis, podendo ser um produto direcionado às classes sociais superiores.

Finalizando, a partir de todos os casos estudados, pode-se concluir que o modelo desenvolvido para o doce de leite com adição de soro de queijo *in natura* em substituição de parte do leite de vaca é um modelo representativo, pois assim como observado em testes práticos, o modelo minimizou o custo de produção além de indicar a melhor quantidade de leite e de soro, sendo estas as quantidades que conferem ao processo o menor custo de produção. O modelo também pode ser aplicado a diferentes misturas com o leite de vaca na produção de doce de leite. O modelo desenvolvido para o doce de leite de cabra com soro de queijo *in natura* também apresenta vantagem econômica na indústria de produção de doce de leite, porém é necessário estudar os aspectos sensoriais e microbiológicos do produto. A mistura do leite de vaca e do leite de cabra na produção do doce também pode ser uma alternativa de criação de um produto com características sensoriais diferenciadas e uma nova opção ao consumidor, um modelo que além de apresentar maximização da produção, apresenta consequentemente uma redução de custo, devido ao custo do leite de vaca ser menos elevado que o do leite de cabra. Em indústrias de produção de queijo, o aproveitamento do soro de queijo *in natura* além de representar preservação ambiental, pode representar também um aumento de lucratividade com a venda deste produto às empresas de produção de doce de leite.

O otimizador GAMS foi um software eficiente na resolução dos modelos, de fácil manipulação, ágil e rápido nas resoluções e muito importante por já conter os solvers para resolução deste tipo de problema.

CAPÍTULO VIII

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Algumas sugestões que podem ser estudadas para a continuidade deste trabalho:

- Estudo de viabilidade econômica para a implantação de uma nova linha de produção para a fabricação de doce de leite em pequenas empresas produtoras de queijo.
- Fabricação de doce de leite de cabra e soro de queijo *in natura* e a fabricação do doce de leite com leite de cabra e leite de vaca, assim como a fabricação do doce de leite com leite de vaca e outros tipos de leite, avaliando as características sensoriais e microbiológicas do produto.

REFERÊNCIAS

- BASSANEZI, R. C. *Ensino-aprendizagem com modelagem matemática: uma nova estratégia*. Editora Contexto, 2002.
- BEZ, E. T. *Procedimento de representação de soluções em otimização global: aplicação em modelo de interação espacial*. Tese apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.
- BEZERRA, J. R. M. V. *Tecnologia de fabricação de derivados de leite – Boletim técnico*. Editora Unicentro, Guarapuava, 2008.
- CABALLERO, J. A. *Simulación y Optimización de los Procesos Químicos*. Apostila do Departamento de Engenharia Química da Universidade de Alicante. Revisado em 2007.
- ESTEBAN, L. CARMEN, M. *Introducción al cálculo de los procesos tecnológicos de los alimentos*. Editora Zaragoza, ES - Acribia, 2002.
- COELHO, D. T.; ROCHA, J. A. A. *Práticas de processamento de produtos de origem animal*. Oficinas Gráficas da Imprensa Universitária da Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais, 1981. Pp 25 – 30.
- CONVERSE, A. O. *Otimização*. Editora da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1977.
- EIRAS, S. P. Andrade, J. C. *O uso do simplex modificado como estratégia de otimização em química analítica*. Revista Química Nova, 1996.
- FLOUDAS, C. A. *Nonlinear and Mixed-Integer Optimization – Fundamentals and Applications*. Oxford University Press, New York 1995.

FOLETTTO, T. C. SILVA, P. V.; VILANOVA, M. S. ESTEVES, R. M. G. OSÓRIO, M. T. M. FAGUNDES, C. M. *Desenvolvimento e avaliação sensorial de doce de leite de cabra*. Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial – FAEM, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Pelotas – RS, 2006.

FRITZCHE, H. *Programação não linear: análise e métodos*. Edgard Blucher: editora da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1978.

GARCIA, C. *Modelagem e simulação de processos industriais e de sistemas eletromecânicos*. Editora da USP, São Paulo, 2005.

GOLDBARG, M. C.; LUNA, H. P. L. *Otimização combinatória e Programação Linear – Modelos e algoritmos*. Editora campus, 8º Tiragem. Rio de Janeiro, 2000.

HIDALGO, J.; CAMPER, E. Solubility and heat stability of whey protein concentrates. *Journal of Dairy Science*, v.60, n.1515, 1977.

HIMMELBLAU, D. M. *Optimization of Chemical Processes*. Editora McGraw-Hill Book Company. Singapura, 2006.

<http://www.gams.com>. *General Algebraic Modeling System*. Software GAMS. Acessado em 12 de março de 2009.

http://www.acosc.org.br/acosc/infortecnicas/ac_infortecnicasdetalhes.jsp?codigo=10. *Associação dos criadores de Ovinos e Caprinos – Informações Técnicas*. Acessado em 10 de abril de 2009.

http://www.engetecno.com.br/port/tecnologia_doce_de_leite.htm. *Doce de leite*. Tecnologia de produção de doce de leite. Acessado em 2 de abril de 2009.

http://www.queijosnobrasil.com.br/apostila_doce_leite.htm. *Doce de leite*. Tecnologia de produção de doce de leite. Acessado em 25 de março de 2009.

http://www.catalogosnt.cnptia.embrapa.br/catalogo20/catalogo_de_produtos_e_servicos/arvore/CONTAG01_462_16112006135351.html. EMBRAPA. *Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*. Catálogo de produtos. Acessado em 10 de abril de 2009.

<http://www.fmvz.unesp.br/Informativos/ovinos/utilid03.htm>. *Ovinos e Caprinos na UNESP*. Publicações. Doce pastoso fabricado com leite de cabra. Transcrita da publicação do Centro Nacional de Pesquisa de Caprinos – CNPQ. Acessado em 10 de abril de 2009.

<http://www.agricultura.gov.br>. Acessado em agosto de 2008. *Portaria nº354 de 04/09/1997*. Portal da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

<http://www.agricultura.gov.br>. Ministério da Agricultura. Departamento de Inspeção de Produtos de Origem Animal. *Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal – RIISPOA*. Aprovado pelo decreto nº 30691 de 29 de março de 1952, alterado pelo decreto nº1255 de 25 de junho de 1962, Brasília, 1997.

KOSIKOWSKI, F.U. *Whey utilization and whey products*. Journal of Dairy Science, v.62, p.1149-1160, 1979.

LAGUNA, L. E. *A leveza do doce de leite de cabra*. O Berro, Uberaba, v. 54, p. 20-21, 2003.

LIZIEIRE, R. S. CAMPOS, O. F. *Instrução técnica para o produto de leite – Soro de queijo in natura na alimentação do gado de leite*. Revista Embrapa – Gado de leite, março de 2006.

LUENBERGER, D. G. *Linear and Nonlinear Programming*. Addison-Wesley Publishing Company, segunda edição. USA, 1984.

MACHADO, R. M. G.; FREIRE, V. H.; SILVA, P.C.; FIGUEIREDO, D. V.; FERREIRA, P. E. *Controle ambiental nas pequenas e médias indústrias de laticínios*. Projeto Minas Ambiental. Belo Horizonte, MG, 2002.

MADRONA, G. S. *Adição de Soro de Leite no Doce de Leite Pastoso e Análise da sua Qualidade Sensorial e Físico-Química*. Dissertação apresentada para a obtenção do título de mestre no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2007.

MATHUR, B.M., SHAHANI, K.M. *Use of total whey constituents for human foods*. Journal of Dairy Science, 62: 99-105, 1979.

NELSON, F.E.; BROWN, W. *Corrosion whey utilization in fruit juice drinks*. Journal of Dairy Science, v.52, n.6, p.901, 1969.

NEVES, B.S. *Elaboração de bebidas lácteas a base de soro*. Artigo Técnico. Rev. Leite e Derivados, n.10, p. 50-54, 1993.

OLIVEIRA, V. M. *Formulação de bebidas lácteas com diferentes concentrações de soro de queijo, enriquecido com ferro: caracterização físico-química, análise bacteriológica e sensoriais*. Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Medicina Veterinária da Universidade Federal Fluminense. Niterói, Rio de Janeiro 2006.

SGARBIERI, V. C. *Propriedades funcionais de proteínas em alimentos*. Bol SBCTA, v. 32, n.1, p. 105 a 126, 1998.

SILVA, D. J. P. *Diagnóstico do consumo de água e da geração de efluentes em uma indústria de laticínios e desenvolvimento de um sistema multimídia de apoio*. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos na Universidade Federal de Viçosa, para a obtenção do título de *Magister Scientiae*. Minas Gerais, 2006.

SILVA, M. R. *Efeito de uma bebida láctea fermentada e fortificada com ferro no estado nutricional de ferro em pré-escolas*. Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos na Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas gerais 2000.

SQUILASSI, K. M. B. S.; OLIVEIRA, M. A. B. NICOLAU, E. S.; MESQUITA, A. J. *Soro de queijo – Alternativas para o aproveitamento na alimentação humana*.

TACARES, L. V.; CORREIA, F. N. *Optimização Linear e Não Linear – Conceitos, Métodos e Algoritmos*. Fundação Calouste Gulbenkian, 2º edição. Lisboa, 1999.

TIGRE, P. B. *Paradigmas Tecnológicos*. Estudos em Comércio Exterior, volume I, nº2, jan/jun de 1997. Rio de Janeiro, RJ.

TIGRE, P. B. *Paradigmas Tecnológicos*. Estudos em Comércio Exterior Vol. I nº 2 – jan/jun de 1997.

UGIETTE, S. M. A. *Análise econômica da utilização de resíduos industriais de queijo (soro de leite) em substituição ao leite de cabra na alimentação artificial de cabritos*. *Anais - Simpósio Nordestino de Ruminantes*, p. 159, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 1990.

VIERA DE SÁ, F. O leite e os seus produtos. Livraria Clássica Editora A. M. Teixeira & C. (filhos), LTDA. Porto, PT, 1978.

ANEXOS

1. Portaria nº354 de 04/9/1997 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

REGULAMENTO TÉCNICO MERCOSUL PARA FIXAÇÃO DE IDENTIDADE E QUALIDADE DE DOCE DE LEITE.

1. ALCANCE

1.1. OBJETIVO: Estabelecer a identidade e os requisitos mínimos de qualidade que deverá cumprir o Doce de Leite destinado ao consumo humano .

1.2. ÂMBITO DE APLICAÇÃO: O presente regulamento se refere ao Doce de Leite a ser comercializado no MERCOSUL.

2. DESCRIÇÃO

2.1. DEFINIÇÃO: Entende-se por Doce de Leite o produto, com ou sem adição de outras substâncias alimentícias, obtido por concentração e ação do calor a pressão normal ou reduzida do leite ou leite reconstituído, com ou sem adição de sólidos de origem láctea e/ou creme e adicionado de sacarose (parcialmente substituída ou não por monossacarídeos e/ou outros dissacarídeos).

2.2. Classificação

2.2.1. De acordo com o conteúdo de matéria gorda, o Doce de Leite se classifica em:

2.2.1.1. Doce de Leite

2.2.1.2. Doce de Leite com Creme

2.2.2. De acordo com a adição ou não de outras substâncias alimentícias se classifica em:

2.2.2.1. Doce de Leite ou Doce de Leite sem adições

2.2.2.2. Doce de Leite com adições.

2.3. DESIGNAÇÃO (DENOMINAÇÃO DE VENDA): A denominação Doce de Leite está reservada ao produto em que a base láctea não contenha gordura e/ou proteína de origem não láctea.

2.3.1. O produto que corresponda à classificação 2.2.2.1. se denominará "Doce de Leite"

2.3.2. O produto que corresponda a classificação 2.2.2.1 que tenha sido adicionado de aditivos espessantes/estabilizantes e/ou umectantes autorizados no item 5.1.1. do presente Regulamento, se denominará "Doce de Leite para Confeitaria".

2.3.3. O produto que corresponda a classificação 2.2.2.2. adicionado de cacau, chocolate, amêndoas, amendoim, frutas secas, cereais e/ou outros produtos alimentícios isolados ou misturados e que tenham sido adicionados ou não de aditivos espessantes/estabilizantes e/ou umectantes autorizados no item 5.1.1. do presente Regulamento, denominar-se-á "Doce de Leite com"preenchendo o espaço em branco com o (s) nome(s) do(s) produto(s) adicionado(s). Poderá opcionalmente denominar-se "Doce de Leite Misto".

2.3.4. Os produtos mencionados nos itens 2.3.1., 2.3.2. e 2.3.3. poderão denominar-se "Doce de Leite para Sorveteria" ou "Doce de Leite para Sorveteria com" segundo corresponda e quando forem destinados a elaboração de sorvetes. Esta denominação de venda será obrigatória quando os produtos mencionados no presente inciso, tenham sido adicionados dos corantes incluídos no item 5.1.1.

2.3.5. Em todos os casos, nas denominações mencionadas nos itens 2.3.1., 2.3.2. e 2.3.3., indicar-se-á "Com Creme", segundo corresponda a classificação 2.2.1.2. e 4.2.2.

3 -REFERÊNCIAS.

ILCT (Instituto de Laticínios Cândido Tostes) Revista Nº. 37, (222) - 3 - 7, 1982

FIL 15B: 1988

FIL 13C: 1987

AOAC 15 Ed. 1990, 930.30

FIL 28A: 1974

FIL 20B: 1993

Codex Alimentarius CAC/Vol.A, 1985

FIL 73A: 1985

FIL 145: 1990

FIL 94B: 1990

FIL 50C: 1995

4. COMPOSIÇÃO E REQUISITOS

4.1. COMPOSIÇÃO

4.1.1. Ingredientes obrigatórios.

4.1.1.1. Leite e/ou leite reconstituído

4.1.1.2. Sacarose no máximo 30kg/100 l de Leite

4.1.2. Ingredientes opcionais: Creme; sólidos de origem láctea; mono e dissacarídeos que substitua a sacarose em no máximo de 40% m/m; amidos ou amidos modificados em uma proporção não superior a 0,5g/100ml no leite; cacau, chocolate, coco, amêndoas, amendoim, frutas secas, cereais e/ou outros produtos alimentícios isolados ou misturados em uma proporção entre 5% e 30% m/m do produto final.

4.2. Requisitos

4.2.1. Características Sensoriais

4.2.1.1. Consistência: cremosa ou pastosa, sem cristais perceptíveis sensorialmente.

A consistência poderá ser mais firme no caso do Doce de Leite para Confeitaria e/ou Sorveteria.

Poderá ainda apresentar consistência semi-sólida ou sólida e parcialmente cristalizada quando a umidade não supere 20% m/m.

4.2.1.2. Cor: castanho caramelado proveniente da reação de Maillard.

No caso de Doce de Leite para sorveteria a cor poderá corresponder ao corante adicionado.

4.2.1.3. Sabor e Odor: doce característico, sem sabores e odores estranhos.

4.2.2. Requisitos Físico-Químicos

REQUISITO	DOCE DE LEITE	DOCE DE LEITE COM CREME	MÉTODO DE ANÁLISE
Umidade g/100g	máx. 30,0	máx. 30,0	FIL 15B: 1988
Matéria gorda g/100g	6,0 a 9,0	maior de 9,0	FIL 13C: 1987
Cinzas g/100g	máx. 2,0	máx. 2,0	AOAC 15ª Ed. 1990 - 930.30
Proteína (g/100g)	mín. 5,0	mín 5,0	FIL 20B: 1993

4.3. Acondicionamento: O Doce de Leite deverá ser envasado com materiais adequados para as condições de armazenamento e que confirmam uma proteção apropriada contra a contaminação.

5. ADITIVOS E COADJUVANTES DE TECNOLOGIA/ELABORAÇÃO

5.1. ADITIVOS

5.1.1. Autoriza-se na elaboração do Doce de Leite o uso dos aditivos relacionados a seguir, nas concentrações máximas indicadas no produto final:

ADITIVOS	FUNÇÃO	CONC. MÁX. NO PROD. FINAL
Ácido sórbico e seus Sais de Na ou K ou Ca.	Conservador	600mg/kg (em ac. sórbico) 1000mg/kg em ac. sórbico em Doce de Leite para uso industrial exclusivo
Natamicina (em superfície livre)	Conservador	1 mg/dm ²
Lactato de Cálcio	Texturizante	b.p.f.
Aromatizante de baunilha, vanilina e/ou etil vanilina isolados ou em misturas	Aromatizante	b.p.f.
Citrato de Sódio	Estabilizante	b.p.f.
Sorbitol	Umectante	5g/100g
Caramelo (INS 150 a,b,c,d)	Corante	b.p.f.
Acido Algínico	Espessante/ Estabilizante	5000 mg/kg(*)
Alginato de Amônio	Espessante/ Estabilizante	5000 mg/kg(*)
Alginato de Cálcio	Espessante/ Estabilizante	5000mg/kg(*)
Carragena incluídas furcellarana e sais de sódio e potássio	Espessante/ Estabilizante	5000mg/kg(*)
Pectina e Pectina Amidada	Espessante/ Estabilizante	5000mg/kg(*)
Alginato de Potássio	Espessante/ Estabilizante	5000mg/kg(*)
Alginato de Propilenoglicol	Espessante/ Estabilizante	5000mg/kg(*)
Alginato de Sódio	Espessante/ Estabilizante	5000mg/kg(*)
Agar	Espessante/ Estabilizante	5000mg/kg(*)
Carboximetilcelulose	Espessante/ Estabilizante	5000mg/kg(*)
Carboximetilcelulose sódica	Espessante/ Estabilizante	5000mg/kg(*)
ADITIVOS	FUNÇÃO	CONC. MÁX. NO PROD. FINAL
Metilcelulose	Espessante/ Estabilizante	5000mg/kg(*)
Metiletilcelulose	Espessante/	5000mg/kg(*)

	Estabilizante	
Hidroxipropilcelulose	Espessante/ Estabilizante	5000mg/kg(*)
Goma arábica	Espessante/ Estabilizante	5000mg/kg(*)
Goma Xantana	Espessante/ Estabilizante	5000mg/kg(*)
Goma Garrofin	Espessante/ Estabilizante	5000mg/kg(*)
Goma Caraia	Espessante/ Estabilizante	5000mg/kg(*)
Goma Gellan	Espessante/ Estabilizante	5000mg/kg(*)
Goma Tragacante	Espessante/ Estabilizante	5000mg/kg(*)
Goma Konjak	Espessante/ Estabilizante	5000mg/kg(*)
Gelatina	Espessante/ Estabilizante	5000mg/kg(*)
Celulose microcristalina	Espessante/ Estabilizante	5000mg/kg(*)

(*) O uso destes estabilizantes/espessantes quando utilizados em mistura não poderá ser superior a 20.000 mg/kg do produto final.

5.1.2. Se admitirá também a presença dos aditivos através dos ingredientes opcionais de conformidade com o Princípio de Transferência dos Aditivos Alimentares (Codex Alimentarius Vol. 1A, 1995 Seção 5.3) e sua concentração no produto final não deverá superar a proporção que corresponda à concentração máxima admitida no ingrediente opcional e quando se tratar dos aditivos indicados no presente Regulamento não deverá superar os limites máximos autorizados pelo mesmo.

5.2. Coadjuvantes de tecnologia/elaboração.

Betagalactosidase (lactase).....b.p.f.

Bicarbonato de sódio..... b.p.f.

Hidróxido de sódio.....b.p.f.

Hidróxido de cálcio.....b.p.f.

Carbonato de sódio.....b.p.f.

6. CONTAMINANTES:

Os contaminantes orgânicos e inorgânicos não devem estar presentes em quantidade superiores aos limites estabelecidos pelo Regulamento MERCOSUL correspondente.

7- HIGIENE

7.1.Considerações Gerais: As práticas de higiene para elaboração do produto deverão estar de acordo com o Regulamento Técnico MERCOSUL sobre as Condições Higiênico-Sanitárias e de Boas Práticas de Fabricação para Estabelecimentos Elaboradores/Industrializadores de Alimentos.

O leite a ser utilizado deverá ser higienizado por meios mecânicos adequados.

7.2.Critérios Macroscópicos e Microscópicos: O produto não deverá conter substâncias estranhas de qualquer natureza.

7.3. Critérios Microbiológicos e Tolerâncias:

Microorganismo	Critério de Aceitação	Categoria I.C.M.S.F.	Método de Análise
Sthaphilococcus Coag Pos/g	n=5 c=2 m=10 M=100	8	FIL 145: 1990
Fungos e Leveduras/g	n=5 c=2 m=50 M=100	5	FIL 94 B; 1990

8. PESOS E MEDIDAS.

Aplica-se o Regulamento MERCOSUL correspondente.

9. ROTULAGEM

9.1. Aplica-se o Regulamento MERCOSUL correspondente.

9.2. Designar-se-á como "Doce de Leite" o produto que corresponda a classificação 2.2.2.1.

Quando na elaboração do produto não for utilizado amidos ou amidos modificados, poderá ser indicado no rótulo a expressão: "Sem amido" ou "Sem fécula".

9.3. O Doce de Leite que corresponda ao item 2.3.2. denominar-se-á "Doce de Leite para Confeitaria".

9.4. O Doce de Leite que corresponda ao item 2.3.3. denominar-se-a "Doce de Leite com....." preenchendo o espaço em branco com o (s) nome (s) do (s) produto (s) adicionado (s). Poderá denominar-se opcionalmente "Doce de Leite Misto".

9.5. O Doce De Leite que corresponda ao item 2.3.4. poderá ser denominado como "Doce de Leite para Sorveteria" ou "Doce de Leite para Sorveteria com"

preenchendo o espaço em branco com o(s) nome (s) do (s) produto (s) adicionado (s).

O Doce de Leite que tenha sido adicionado do (s) corante (s) incluídos no item 5.1.1. obrigatoriamente será denominado "Doce de Leite para Sorveteria" ou "Doce de Leite para Sorveteria com" segundo corresponda.

9.6. Em todos os casos, nas denominações mencionadas, será incluída a expressão "Com Creme" segundo corresponda aos itens 2.2.1.2 e 4.2.2.

9.7. Em todos os casos quando o Doce de Leite for exclusivo para uso industrial como matéria-prima para elaboração de outros produtos alimentícios e contenham uma concentração de Ácido Sórico e/ou seus sais de Na, K ou Ca maior que 600 mg/kg até 1000 mg/kg (ambos expressos em ácido sórbico), deverá obrigatoriamente indicar no rótulo a expressão "Exclusivo Para Uso Industrial".

9.8. Poderá ser indicado no rótulo a expressão que se refira a sua forma de apresentação.

Exemplo: em tablete, em pasta, pastoso, etc.

10 - MÉTODOS DE ANÁLISES

Os métodos de análise recomendados são os indicados nos itens 4.2.2. e 7.3.

11 - AMOSTRAGEM

Seguem-se os procedimentos recomendados na norma FIL 50 C: 1995.