

SÉRGIO DE SOUZA CASTRO

AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL E MODELAGEM DA ELEVAÇÃO DO PONTO
DE EBULIÇÃO DO LEITE ADICIONADO DE SACAROSE

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2006

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

C355a
2006

Castro, Sérgio de Souza, 1975-

Avaliação experimental e modelagem da elevação do ponto de ebulição do leite adicionado de sacarose / Sérgio de Souza Castro. – Viçosa : UFV, 2006
xv, 119f. : il. ; 29cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Luiz Antônio Mirim.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 54-58.

1. Leite - Composição. 2. Ponto de ebulição - Modelos matemáticos. 3. Sacarose. 4. Gordura. 5. Alimentos - Unidade.
I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22.ed. 637.1

SÉRGIO DE SOUZA CASTRO

AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL E MODELAGEM DA ELEVAÇÃO DO PONTO
DE EBULIÇÃO DO LEITE ADICIONADO DE SACAROSE

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 10 de agosto de 2006.

Prof. Javier Telis Romero
(Co-Orientador)

Prof^a Jane Célia dos Reis Coimbra
(Co-Orientadora)

Prof^a Maria Cristina B. M.de Oliveira

Prof^a Renata Cristina F. Bonomo

Prof. Luis Antônio Minim
(Orientador)

Aos meus pais
Cleonice e Secundino.
À minha Esposa Elizânia.
Ao nosso bebê que está por nascer.
Aos meus irmãos Cláudio, Fábio e Alex.

AGRADECIMENTOS

A Jeová, Deus, por tudo o que me foi concedido através de sua terna bondade e benignidade imerecida.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realização do Curso.

Ao CNPq, pelo apoio financeiro.

À Universidade Estadual de São Paulo, de São José do Rio Preto, pelo apoio técnico.

Ao Professor Luiz Antônio Minim, pela orientação, pelo apoio no transcorrer do Curso e pela oportunidade de realização do trabalho nesta área.

Ao Professor Javier Telis Romero, pelas sugestões e pelo direcionamento desta pesquisa.

À Professora Jane Célia dos Reis Coimbra, pelas oportunas sugestões.

Aos professores do Departamento de Tecnologia de Alimentos, pelas informações durante o Curso.

Ao Inspetor da 19^a Inspeção Regional de Controle Externo do Tribunal de Contas dos Municípios do Estado da Bahia, Sr. Altamirando Alves Rodrigues, pelo incentivo e apoio ético.

Aos meus colegas Omar, Oscar, Rosana, Claudia, Danilo, Fabiana e Viviane, pelo companheirismo.

Aos funcionários do Departamento de Tecnologia de Alimentos, especialmente Marcos (DTAll), pela prestatividade.

Ao aluno Renato Alexandre Ferreira Cabral, pelo empenho e dedicação no desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus colegas Mário, Fabiano, Felipe, Nívio, Déa e Vagner, pela agradável e inesquecível companhia.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

SÉRGIO DE SOUZA CASTRO, filho de Secundino de Souza Castro e Cleonice de Sousa Castro, nasceu em Itapetinga, Estado da Bahia, Brasil, em 31 de janeiro de 1975.

Em 1996, foi aprovado no Concurso do Tribunal de Contas dos Municípios do Estado da Bahia, assumindo o cargo em maio de 1997.

Em 1999, iniciou o Curso de Engenharia de Alimentos na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, em Itapetinga – Bahia (Brasil), concluindo-o em 2004.

Em 2006, desempenhou o cargo de Coordenador do Laboratório de Processo de Produtos de Origem Vegetal na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia.

Desde setembro de 2005, trabalha como professor substituto na Área de Ciência e Tecnologia de Alimentos (Engenharia de Alimentos), na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, na cidade de Itapetinga – Bahia (Brasil).

Em março de 2004, ingressou-se no Programa de Pós-Graduação, em nível de Mestrado, em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, Minas Gerais – Brasil, na área de Processos na Indústria de Alimentos, submetendo-se à defesa da dissertação em agosto de 2006.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS	xii
RESUMO	xiii
ABSTRACT.....	xv
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Objetivos.....	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. Principais produtos na indústria de laticínios	5
2.1.1. Leite fluido.....	5
2.1.2. Leite em pó	6
2.1.3. Produtos evaporados.....	7
2.1.4. Leite concentrado	9
2.1.5. Leite evaporado	10
2.1.6. Leite condensado.....	10
2.2. Propriedades termofísicas do leite.....	12
2.3. Elevação do ponto de ebulição	12
2.3.1. Fatores que afetam a elevação do ponto de ebulição	12
2.4. Modelos matemáticos para estimativa do ponto de ebulição.....	14
2.5. Processo de evaporação em evaporadores industriais	21

	Página
2.5.1. Fatores que influenciam o ponto de ebulição do líquido	21
2.5.2. Influência das propriedades do líquido de alimentação	22
2.5.3. Equipamentos de evaporação	24
2.5.4. Operação dos evaporadores.....	24
2.5.5. Modelagem de sistema de evaporação	25
3. MATERIAL E MÉTODO	27
3.1. Reagentes e equipamentos	27
3.1.1. Reagentes.....	27
3.1.2. Vidraria.....	27
3.1.3. Equipamentos	28
3.2. EPE do leite	28
3.2.1. Análise dos dados.....	29
3.2.1.1. Determinação de gordura	30
3.2.1.2. Análise estatística dos dados.....	30
3.4. Desenvolvimento de software para simulação da influência da elevação da EPE do leite na determinação da área de troca em evaporadores de múltiplo efeito.....	31
4. RESULTADO E DISCUSSÃO.....	34
4.1. Modelo de Dürhing.....	34
4.2. Modelo de Antoine	39
4.3. Desenvolvimento de software para simulação da influência da elevação da EPE do leite na determinação da área de troca em evaporadores de múltiplo efeito.....	45
5. CONCLUSÃO	52
6. REFERÊNCIAS	54
APÊNDICES	59
APÊNDICE I.....	60
APÊNDICE II.....	100
APÊNDICE III.....	105
APÊNDICE IV	109

LISTA DE TABELAS

	Página
1. Composição média do leite.....	4
2. Consumo de leite pasteurizado – 1990 a 2000 – em milhões de litros.....	5
3. Parâmetros da Eq. 1 para diferentes concentrações de umidade (x_1), sacarose (x_2) e gordura (x_3) no leite.....	35
4. Modelos matemáticos para os parâmetros m_0 e m_1 testados no SAS.....	36
5. Parâmetros da equação de Antoine para diferentes concentrações de umidade (x_1), sacarose (x_2) e gordura (x_3) no leite tipo A.....	40
6. Modelos matemáticos analisados no SAS para as constantes A, B e C do modelo de Antoine.....	41
7. Condições utilizadas para simulação da área de troca de calor em evaporador de múltiplo efeito.....	48
8. Variáveis de saída do software para um fluxo mássico de leite de 6.000 kg/h e temperatura de 26,7 °C.....	49
I.1. Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 58,5% de umidade, 30% de sacarose e 3,8% de gordura.....	60
I.2. Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 61,5% de umidade, 24% de sacarose e 4,1% de gordura.....	61

	Página
I.3. Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 63,0% de umidade, 24,0% de sacarose e 1,3% de gordura.....	62
I.4. Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 64,0% de umidade, 18,0% de sacarose e 5,7% de gordura.....	63
I.5. Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 65,0% de umidade, 18,0% de sacarose e 3,4% de gordura.....	64
I.6. Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 64,0% de umidade, 18,0% de sacarose e 5,7% de gordura.....	65
I.7. Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 70,5% de umidade, 6,0% de sacarose e 4,9% de gordura.....	66
I.8. Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 73,0% de umidade, 0,0% de sacarose e 6,5% de gordura.....	67
I.6. Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 73,5% de umidade, 0,0% de sacarose e 5,5% de gordura.....	68
I.10. Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 54,5% de umidade, 30,0% de sacarose e 2,5% de gordura.....	69
I.11. Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 55,0% de umidade, 30,0% de sacarose e 1,5% de gordura.....	70
I.12. Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 57,5% de umidade, 24,0% de sacarose e 2,9% de gordura.....	71
I.13. Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 58,0% de umidade, 24,0% de sacarose e 1,7% de gordura.....	72
I.14. Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 60,0% de umidade, 18% de sacarose e 4,0% de gordura.....	73
I.15. Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 62,0% de umidade, 12,0% de sacarose e 6,3% de gordura.....	74
I.16. Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 63,5% de umidade, 12,0% de sacarose e 3,2% de gordura.....	75
I.17. Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 66,0% de umidade, 6,0% de sacarose e 4,6% de gordura.....	76
I.18. Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 68,5% de umidade, 0,0% de sacarose e 5,73% de gordura.....	77

	Página
I.19. Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 49,5% de umidade, 30,0% de sacarose e 3,0% de gordura	78
I.20. Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 51,5% de umidade, 24,0% de sacarose e 4,8% de gordura	79
I.21. Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 52,5% de umidade, 24,0% de sacarose e 3,3% de gordura	80
I.22. Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 54,0% de umidade, 18,0% de sacarose e 6,1% de gordura	81
I.23. Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 54,5% de umidade, 18,0% de sacarose e 5,4% de gordura	82
I.24. Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 57,5% de umidade, 12,0% de sacarose e 5,9% de gordura	83
I.25. Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 59,0% de umidade, 12,0% de sacarose e 3,0% de gordura	84
I.26. Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 60,0% de umidade, 6,0% de sacarose e 6,6% de gordura	85
I.27. Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 61,0% de umidade, 6,0% de sacarose e 5,0% de gordura	86
I.28. Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 64,5% de umidade, 0,0% de sacarose e 4,2% de gordura	87
I.29. Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 65,0% de umidade, 0,0% de sacarose e 3,5% de gordura	88
I.30. Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 43,5% de umidade, 30,0% de sacarose e 5,5% de gordura	89
I.31. Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 47,0% de umidade, 24,0% de sacarose e 4,5% de gordura	90
I.32. Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 47,5% de umidade, 24,0% de sacarose e 3,9% de gordura	91
I.33. Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 49,5% de umidade, 18,0% de sacarose e 5,8% de gordura	92
I.34. Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 50,0% de umidade, 18,0% de sacarose e 4,9% de gordura	93

	Página
I.35. Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 53,0% de umidade, 12,0% de sacarose e 5,0% de gordura	94
I.36. Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 55,5% de umidade, 6,0% de sacarose e 6,1% de gordura	95
I.37. Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 56,0% de umidade, 6,0% de sacarose e 5,3% de gordura	96
I.38. Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 59,0% de umidade, 0,0% de sacarose e 5,6% de gordura	97
I.39. Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 38,0% de umidade, 30,0% de sacarose e 6,9% de gordura	98
I.40. Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 39,0% de umidade, 30,0% de sacarose e 5,2% de gordura	99

LISTA DE FIGURAS

	Página
1. Processamento de produtos evaporados do leite	8
2. Diagrama esquemático do aparelho usado para medir a EPE do leite	28
3. Gráfico de resíduo para o modelo de Dühring	37
4. EPE do leite para diferentes concentrações de umidade de sacarose e gordura: A (gordura (GRD) 2%; sacarose (SAC) 0%); B (GRD 2%; SAC 30%); C (GRD 6%; SAC 0%) e D (GRD 6%; SAC 30%)	38
5. Comparação da EPE para diferentes concentrações de gordura com concentração de sacarose de 30%.....	39
6. Gráfica do resíduo para o modelo de Antoine.....	43
7. Pressão de vapor do leite para várias concentrações de gordura, sacarose e umidade: A (GRD 2%; SAC 0%); B (GRD 2%; SAC 30%); C (GRD 6%; SAC 0%) e D (GRD 6%; SAC 30%)	44
8. Comparação da EPE do leite de várias concentrações de gordura com concentração de sacarose igual a 30%	45
9. Diagrama de blocos	46
10. Efeito da EPE na área de troca de calor para evaporação de leite: (A) Efeito da taxa de alimentação e (B) Efeito da temperatura da alimentação	50

RESUMO

CASTRO, Sérgio de Souza, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2006. **Avaliação experimental e modelagem da elevação do ponto de ebulição do leite adicionado de sacarose.** Orientador: Luis Antonio Minim. Co-Orientadores: Javier Telis-Romero, Valéria Paula Rodrigues Minim e Jane Sélia dos Reis Coimbra.

Este trabalho apresenta a avaliação experimental e a modelagem da elevação do ponto de ebulição do leite adicionado de sacarose. Foram utilizadas amostras de leite pasteurizado com concentrações de sacarose variando de 0 a 30%, concentrações de gordura variando de 1,3 a 6,9% e pressão operacional oscilando entre 50 e 750 mmHg. Os modelos de Dürhing e Antoine foram utilizados para modelagem da elevação do ponto de ebulição do leite, e as análises estatísticas dos ajustes indicaram parâmetros significativos ($p < 0,01$). Os parâmetros do modelo de Dürhing e de Antoine foram correlacionados com as variáveis concentração de sacarose, gordura e teor de umidade, através de equações polinomiais, sendo a significância dos parâmetros avaliada segundo o teste t , de Student ($p < 0,01$). Ficou demonstrado que a concentração de gordura não teve efeito significativo em ambos os modelos. Efetuou-se o cálculo da área de um trocador de triplo efeito com e sem a consideração da elevação do ponto de ebulição. O aumento do ponto de ebulição revelou ser fator determinante na área de troca dos

evaporadores de múltiplo efeito, uma vez que seu incremento no ponto de ebulição provoca diminuição na taxa de transferência de calor, necessário no processo de evaporação do leite, e, conseqüentemente, há a necessidade de aumentar a área de troca. Isso se torna mais evidente à medida que a taxa de alimentação de leite se eleva.

ABSTRACT

CASTRO, Sérgio de Souza, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, August, 2006. **Experimental evaluation and modeling of boiling point rise of milk added of sucrose.** Adviser: Luis Antonio Minim. Co-Advisers: Jane Sélia dos Reis Coimbra, Javier Telis-Romero, Renata Cristina Ferreira Bonomo and Maria Cristina B. M. de Oliveira.

This work presents the experimental evaluation and the modeling of boiling point rise of milk added of sucrose. Samples of pasteurized milk with sucrose concentrations varying of (0 to 30) %, fat content varying in the range of (1.3 to 6.9) % and operational pressure varying among (50 to 750) mmHg were used. Dürhing and Antoine models were used for modeling the boiling point rise of the milk and the statistical analyses of the fittings showed significant parameters ($p < 0,01$). The parameters of the models of Dürhing and Antoine were correlated with the variables, sucrose concentration, fat and humidity content, using polynomial equations, and the parameters significance was evaluated according to the student *t-test* ($p < 0,1$). It was demonstrated that the fat concentration did not have significant effect in both models. The calculation of the area of an triple effect evaporator was made considering or no the boiling point rise. Boiling point rise revealed to be a determinant factor in the changing area of multiple effects evaporators, since an increase in the boiling point promotes a decrease in the rate of heat transfer necessary to the milk evaporation process and, consequently, there is the necessity of increasing the changing area. It becomes more evident as milk feeding rate increases.

1. INTRODUÇÃO

A produção mundial de leite em 2004 foi de 515.837.000 (quinhentos e quinze milhões e oitocentos e trinta e sete mil) toneladas, o que representou um crescimento global de 11,1% no período de 1995 a 2004. A América Latina apresentou um aumento, nesse período, correspondente a 19,9% (EMBRAPA, 2005).

O Brasil é o maior produtor de leite da América Latina, com 23.320 milhões de toneladas, seguido da Argentina com 8.100 milhões e da Colômbia com 6.090 milhões de toneladas. Com essa produção, o Brasil ocupa o sexto lugar no “rank” mundial dos produtores de leite, perdendo apenas para Estados Unidos, Índia, Rússia, Alemanha e França (EMBRAPA, 2005). Parte da produção mundial do leite é utilizada para preparação do leite condensado, leite em pó e leite evaporado.

O mercado mundial de leite condensado movimentava 400 mil toneladas por ano. Em relação ao leite em pó, o Brasil é o sétimo maior exportador do mundo, concorrendo com Nova Zelândia, Austrália, alguns países da Europa e outros do Mercosul (Organização das Cooperativas Brasileiras, 2005). Estima-se que em 2001 o Brasil produziu 21,1 bilhões de litros de leite, e, desse total, 3,3 bilhões foram destinados à produção do leite em pó e 491 milhões, leite condensado (INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL DE MINAS GERAIS, 2005). Nas exportações, os três produtos mais vendidos são o leite condensado, o leite em pó e o leite evaporado, os quais movimentaram 34

milhões de dólares em 2004, com a possibilidade de aumento no futuro (ANUALPEC, 2005). Contudo, o processamento de tais produtos, em escala industrial, requer o uso de equipamentos, como os evaporadores de múltiplo efeito.

Os evaporadores são equipamentos usados para remover parte da água, sob condições de vácuo ou não. Para o projeto, operação e controle desses equipamentos é necessário o conhecimento das propriedades termofísicas, em particular a elevação do ponto de ebulição (EPE). A EPE é definida como sendo a diferença entre a temperatura de ebulição da solução e do solvente (NETZ, 2002) e dependerá da concentração de soluto presente na solução (HELDMAN, 1979).

Embora algumas propriedades do leite se encontrem listadas na literatura como calor específico, viscosidade dinâmica, condutividade térmica e densidade (GEANKOPLIS, 1993; MINIM ET AL, 2002; REDDY; DATA, 1994), dados da EPE do leite ainda não estão disponíveis na literatura especializada. Portanto, o conhecimento dessa propriedade desperta um grande interesse na indústria de produtos concentrados de leite. Assim, este trabalho propõe a determinação da EPE do leite em função da sua concentração de sacarose, gordura, umidade e pressão operacional.

1.1. Objetivos

- Obter dados da EPE do leite em função da sua concentração de sacarose, gordura, umidade e pressão operacional.
- Desenvolver modelos matemáticos para estimar a EPE do leite a partir das variáveis acima mencionadas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Estudos sobre a nutrição humana, na primeira metade do século 20, mostraram que os produtos de origem animal eram considerados alimentos completos para os seres humanos. O leite, em especial, parecia ocupar uma posição singular entre os vários alimentos, por ser o único utilizado durante a maior parte da vida do ser humano (MADALENA et al., 2001).

Historicamente, o leite e os produtos lácteos têm sido considerados parte importante de uma dieta balanceada, tanto para crianças quanto para adultos, por conterem nutrientes importantes à saúde (MADALENA et al., 2001).

O leite possui alta concentração de nutrientes e possibilita o aumento do valor nutricional de produtos de cuja composição participa. A composição média do leite pode ser observada na Tabela 1.

A água é o componente que se apresenta em maior quantidade e influencia a textura e as propriedades dos produtos como manteiga, queijo, leite concentrado, leite em pó etc. (SPREER, 1998).

A gordura do leite é o componente que apresenta a maior variação. Ela se funde em ampla faixa de temperatura, sendo que, acima de 40 °C, apresenta-se na forma líquida (SPREER, 1998).

Tabela 1 – Composição média do leite

Componentes	%	Subcomponentes
Água	86,8	-
Lactose	4,8	Galactose e glicose
Gordura	4,4	Ácidos graxos, glicerídios, fosfolipídios, esteróis e vitaminas
Proteína	3,3	Caseína (80%), soro (20%) e microproteínas
Minerais	0,7	Macrominerais e microminerais
Outros	traços	Elementos traços

Fonte: Madalena et al., 2001.

O conteúdo de proteína no leite varia entre 3,0 e 3,6%. Consiste em dois tipos de proteínas: a caseína e proteínas de soro (albumina e lactoalbumina) (SPREER, 1998). As proteínas são importantes não somente pela fabricação de produtos tradicionais, como o queijo, mas também pelo valor de suas características funcionais e nutricionais, a exemplo de sua contribuição para consistência típica de produtos acidificados. Além disso, frações específicas da proteína do leite, como caseinato e proteínas de soro concentrado, têm grande importância na formulação de alimentos infantis e em alguns produtos farmacêuticos (SPREER, 1998).

Novos tipos de tratamentos térmicos, embalagens, sistemas de transporte e outras tecnologias permitiram que o leite, antes consumido sem nenhum tipo de tratamento, pudesse chegar ao consumidor em ótimas condições de consumo e armazenamento, com maior durabilidade e segurança, apresentando diferentes teores de gordura, quantidade de vitaminas, sabores, nutrientes etc.

2.1. Principais produtos na indústria de laticínios

2.1.1. Leite fluido

O leite produzido no Brasil é o do tipo pasteurizado, ou longa vida. O leite pasteurizado é classificado como tipos A, B e C, de acordo com o processo de ordenha, de infra-estrutura da unidade produtora e do controle de sanidade do rebanho. Por enquanto, o leite tipo A, produzido e pasteurizado nas unidades produtoras, tem um mercado ainda muito restrito devido ao seu valor de custo para o consumidor (VILELA et al., 2002). O leite pasteurizado tipo B vem apresentando variações entre crescimento e queda, diminuindo em importância diante das alternativas oferecidas, como os leites tipo A e UHT, pelo mercado. Por possuir menor qualidade sensorial e menor tempo de prateleira, o leite tipo C vem perdendo mercado de maneira acentuada, como pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 2 – Consumo de leite pasteurizado – 1990 a 2000 – em milhões de litros

Ano	UHT	Tipo A	Tipo B	Tipo C	Total
1990	184	28	347	3.655	4.214
1991	204	34	445	3.245	3.928
1992	341	36	358	2.924	3.659
1993	386	48	433	2.245	3.112
1994	759	48	388	2.305	3.500
1995	1.050	55	460	2.432	3.997
1996	1.700	44	405	2.327	4.476
1997	2.450	40	360	2.120	4.970
1998	3.150	45	400	1.800	5.395
1999	3.300	50	450	1.300	5.100
2000	3.600	40	400	1.190	5.230

Fonte: ANUALPEC, 2005 .

O comportamento de queda na produção de leite pasteurizado explica-se pelo crescimento do leite tipo longa vida (UHT), o qual vem conquistando a preferência do consumidor, devido às suas qualidades sensoriais, maior tempo de prateleira e menores riscos de contaminação (EMBRAPA, 2005).

2.1.2. Leite em pó

A desidratação é um dos métodos mais importantes para preservação do leite. O leite em pó, por exemplo, é consideravelmente útil para ser usado como ingrediente na composição de muitos produtos, ou simplesmente como produto final. Sua produção no Brasil tem apresentado expressivo crescimento, como relatado no Anualpec (2005). Muitos métodos tecnológicos de secagem de alimentos têm sido desenvolvidos, e alguns são particularmente úteis para a produção do leite em pó.

Um dos métodos mais importantes é a secagem por “spray dry” (VARNAM; SUTHERLAND, 1995). Contudo, tal técnica apresenta alto custo em virtude da quantidade de energia despendida. Além disso, a secagem de alimentos com baixa quantidade de sólidos resulta em pós com baixa qualidade e baixa densidade, conduzindo à maior perda do produto. Um método geralmente usado para remover grande quantidade de água é a evaporação. No leite desnatado, por exemplo, a evaporação a vácuo pode ser usada para remover grande quantidade de água, elevando o total de conteúdo dos sólidos de aproximadamente 8,7 para 50%. O concentrado pode ser secado economicamente, permitindo a produção de leite em pó com propriedades físicas satisfatórias (CAMPBELL; MARSHALL, 1975). Na produção do concentrado, aproximadamente 90% da água do leite “in natura” é removida pelo evaporador, restando somente 9,5% para ser retirada pelo “spray dry”, resultando em um produto com apenas 0,5% de umidade.

A viscosidade do leite concentrado é influenciada pela sua composição, pelo efeito do tratamento térmico na desnaturação das proteínas do leite e pelo conteúdo dos sólidos (MINIM et al., 2002.). O leite integral concentrado é geralmente menos viscoso que o leite concentrado desnatado, devido ao seu maior conteúdo de gordura. Para uma ótima atomização, a viscosidade do leite integral concentrado não deve exceder 60 cp, tendo o produto final que

apresentar entre 48 e 50% de sólidos. A viscosidade do leite desnatado com concentração entre 48 e 50% não deve exceder a 100 cp.

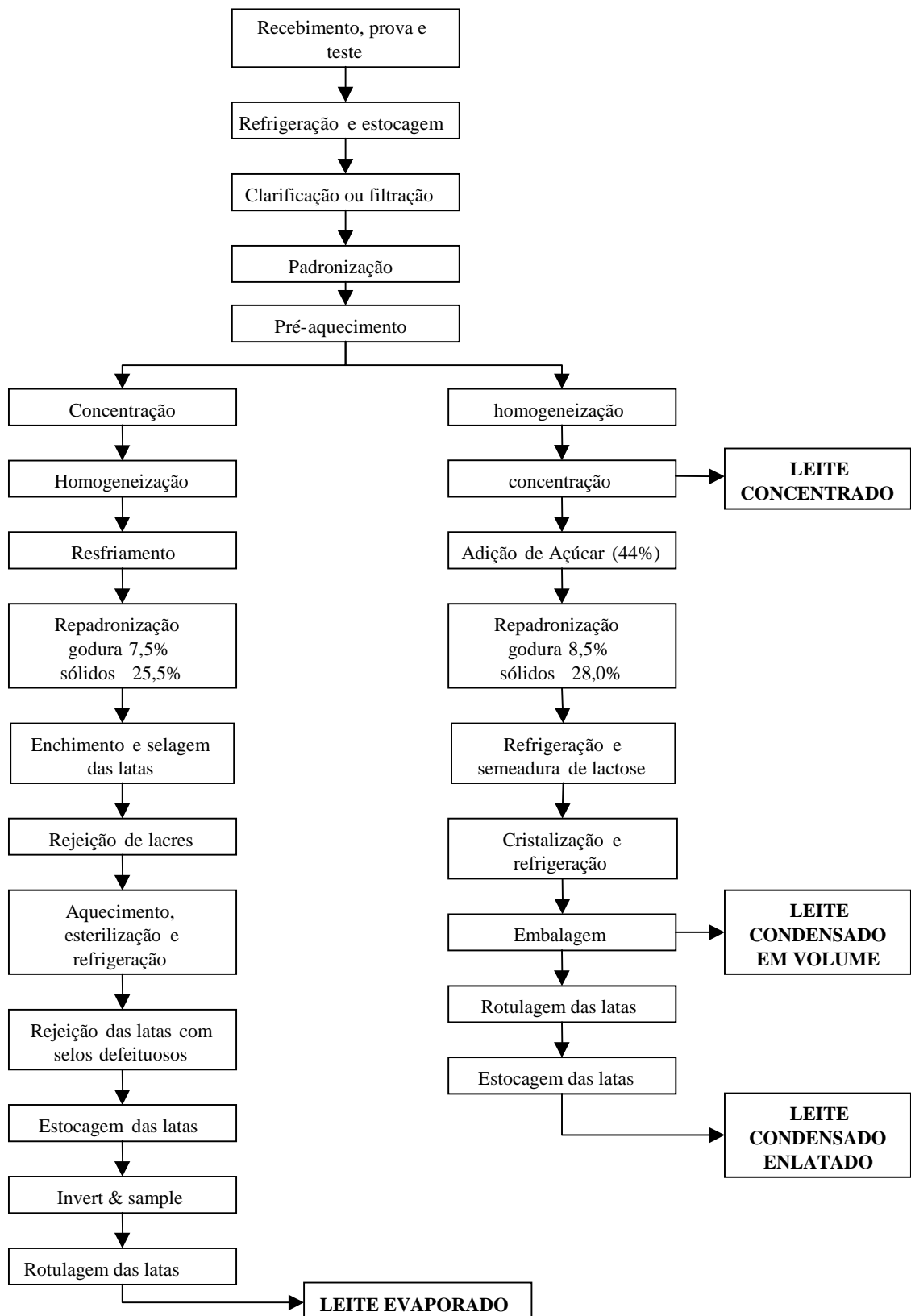
A produção do leite em pó foi uma das que mais rapidamente se desenvolveram no Brasil, com fábricas sendo instaladas nas mais variadas regiões em busca da matéria-prima. Em termos tecnológicos, é uma indústria avançada que nada fica a dever aos países mais desenvolvidos (VILELA et al., 2002).

2.1.3. Produtos evaporados

A maior parte dos produtos evaporados como leite condensado e leite evaporado é utilizada como ingredientes na indústria de alimentos. Tais produtos ocupam pouco espaço, apresentam menor peso e maior vida de prateleira que o leite fresco, reduzindo o custo de armazenamento e transporte. Adicionalmente, têm propriedades funcionais que os tornam unicamente úteis e necessários para a formulação de numerosos alimentos (CAMPBELL; MARSHALL, 1975).

A fabricação desses produtos envolve a remoção da água do leite por um processo relativamente simples, como apresentado na Figura 1 (GILLES, 1974). Contudo, o estudo da composição química do leite e da sensibilidade de seus componentes ao calor e a sua tendência em participar de reações químicas, como reações de mailard e desnaturação protéica, despertaram expressivo interesse tanto no meio acadêmico quanto na esfera industrial (CAMPBELL; MARSHALL, 1975).

O nome genérico leite concentrado refere-se àqueles produtos dos quais uma quantidade de água foi removida para obter um produto com um mínimo de 7,5% de gordura e de 25,5% de sólidos totais (CAMPBELL; MARSHALL, 1975), sendo logo em seguida enlatados. O leite concentrado é pasteurizado, mas não é esterilizado, uma vez que a esterilização em latas produz um sabor de caramelo e mudança de cor. Como o leite é apenas pasteurizado, ele deve ser conservado sob refrigeração. Na indústria de alimentos, o leite concentrado é, geralmente, denominado leite condensado bruto, sendo usualmente utilizado como ingrediente no preparo de bolos, doces etc.



Fonte: Campbell e Marshall (1975)

Figura 1 – Processamento de produtos evaporados do leite.

A condensação é um processo que forma um material fluido mais denso. Contudo, o nome genérico leite condensado é aplicado ao leite concentrado doce (CAMPBELL; MARSHALL, 1975). O açúcar aumenta a pressão osmótica do produto (POTTER; HOTCHKISS, 1995), contribuindo para a conservação do leite e permitindo o seu armazenamento à temperatura ambiente (GILLES, 1974). Esse leite é usado principalmente em produtos de padaria, sobremesas congeladas e doces. Quando destinado ao uso industrial, é armazenado em barris ou tanques e, quando o destino é o consumo doméstico, enlatado.

A evaporação é o processo por meio do qual a água é vaporizada e removida do leite, resultando em um produto concentrado. O nome genérico leite evaporado é reservado aos produtos fabricados e homogeneizados por concentração através do calor e a vácuo, obtendo um produto com um mínimo de 7,5% de gordura e um mínimo de 25,5% de sólidos totais, sendo este esterilizado em latas, previamente ao enlatamento asséptico. O tratamento térmico dado ao leite evaporado e esterilizado na lata produz um flavor de caramelo cozido e uma coloração amarronzada (GILLES, 1974). O leite evaporado de alta qualidade pode ser armazenado por muitos meses à temperatura ambiente sem deteriorar-se (CAMPBELL; MARSHALL, 1975).

2.1.4. Leite concentrado

A fabricação de leite concentrado na forma de leite integral, leite desnatado e seus correlatos fermentados é relativamente simples, envolvendo basicamente três etapas: a padronização, o pré-aquecimento e sua concentração (CAMPBELL; MARSHALL, 1975).

O leite concentrado é preparado a partir do leite tipo A, que é pré-aquecido a temperaturas próximas daquela de pasteurização. O leite é subsequente concentrado em uma proporção de 3:1, padronizado, homogeneizado, pasteurizado e envasado. A pasteurização normalmente aplicada é de 79,4 °C, durante 25 s. Apesar da diminuição da atividade de água, é necessária a refrigeração do produto durante o seu armazenamento e distribuição, para retardar o crescimento microbiano (VARNAM; SUTHERLAND, 1995).

Tanto a refrigeração quanto a alta acidez auxiliam a conservação do leite concentrado. O leite concentrado desnatado e fermentado, por exemplo, contém 5% de ácido láctico para prevenir o desenvolvimento bacteriano (CAMPBELL; MARSHALL, 1975).

O leite concentrado é produzido ainda a granel, como fonte de sólidos lácteos em indústrias de alimentos. Deve ser obtido a partir do leite tipo A, quando se destina à padronização do leite líquido e à preparação de bebidas lácteas, podendo ser obtido a partir do leite desnatado, semidesnatado ou integral (VARNAM; SUTHERLAND, 1995).

2.1.5. Leite evaporado

Tradicionalmente, o termo leite evaporado tem sido utilizado para o leite concentrado enlatado e esterilizado pelo calor. Contudo, o padrão de identidade permite a esterilização previamente ao enlatamento, o qual deve ser feito assepticamente (CAMPBELL; MARSHALL, 1975). O leite evaporado enlatado seria equivalente ao leite concentrado a granel, visto que os produtos finais são semelhantes (VARNAM; SUTHERLAND, 1995). Entretanto, existem diferenças no tratamento de pré-concentração, devido à necessidade de estabilização do leite para evitar a sua coagulação durante o armazenamento por períodos prolongados (GILLES, 1974).

O Brasil vem-se preparando para a fabricação em grande escala do leite evaporado, o qual tem alta demanda no mercado internacional. Atualmente, exporta esse produto principalmente para os Estados Unidos e Trinidad Tobago, os quais despenderam US\$ 27 milhões para a compra desses dois produtos, entre os anos de 2003 e 2004 (CIÊNCIA DO LEITE, 2005).

2.1.6. Leite condensado

Este produto é obtido pela remoção parcial da água do leite adicionado, por exemplo, de açúcar (CAMPBELL; MARSHALL, 1975). Pode ser obtido ainda a partir do leite desnatado (GILLES, 1974) ou integral, tanto para uso industrial quanto doméstico. A longa vida de prateleira desse produto se deve ao tratamento térmico e à redução de sua atividade de água. Não obstante, a

refrigeração é necessária para muitos tipos de leite condensado a granel (VARNAM; SUTHERLAND, 1995).

O açúcar pode ser dissolvido no leite pré-aquecido antes da evaporação, como geralmente se faz no processo do leite condensado a granel, o qual é um produto com alta perecibilidade. O leite condensado destinado ao consumo doméstico tem maior vida útil, sendo adicionada uma solução de açúcar a 65% nas últimas fases de evaporação. Nesse caso, deve-se transferir o produto para um pequeno evaporador, especialmente destinado a eliminar a água, de forma a se atingir a concentração desejada (VARNAM; SUTHERLAND, 1995).

O açúcar normalmente adicionado é a sacarose na forma de xarope (CAMPBELL; MARSHALL, 1975), entretanto, para uso industrial, outros açúcares podem substituí-la parcial ou totalmente (VARNAM; SUTHERLAND, 1995). O produto final pode conter 8,5% de gordura e 28% de sólidos totais. A quantidade de açúcar é suficiente para prevenir a deterioração do produto durante o seu armazenamento (CAMPBELL; MARSHALL, 1975). A proporção de açúcar no produto envasado varia normalmente entre 63,5 e 64,5% e, no leite integral a granel, pode ser de 42%, sendo este armazenado sob refrigeração (VARNAM; SUTHERLAND, 1995).

O leite que sai do evaporador é resfriado a aproximadamente 30 °C e, em seguida, são semeados pequenos cristais de lactose. Num resfriamento posterior, esses cristais constituirão os núcleos para a cristalização da lactose, induzindo a formação de um grande número de pequenos e imperceptíveis cristais de lactose. Se a semeadura não for realizada de forma adequada, haverá a formação de poucos cristais de tamanhos maiores, resultando em um produto com textura arenosa (VARNAM; SUTHERLAND, 1995).

O leite condensado está no mercado desde 1921, sendo um dos mais antigos produtos da indústria láctea. O Brasil, no ano de 2001, exportou 491 milhões de litros de leite condensado, e dados recentes evidenciam que existe tendência para o aumento das exportações desse produto, principalmente para os Estados Unidos e países da Europa (EMBRAPA, 2005).

2.2. Propriedades termofísicas do leite

As propriedades termofísicas de produtos alimentícios exercem grande influência sobre o projeto e operação dos equipamentos e sobre a otimização de processos. Dentre essas propriedades, pode-se citar:

O calor específico – Varia linearmente com a temperatura e é pouco influenciado pelo conteúdo de gordura (MINIM et al., 2002). Para determinar o calor específico do leite, Minim et al. (2002) usaram o método proposto por Dickerson (1965).

A densidade do leite – Varia de acordo com a sua composição. A faixa usual é de 1.280 a 1.035 kg/l. A densidade de produtos concentrados do leite, como leite condensado, pode ser determinada a partir da porcentagem aproximada de sólidos presentes no produto. Ela varia amplamente com a temperatura (FARRAL et al., 1980; MINIM et al., 2002), geralmente diminuindo com o aumento de temperatura, bem assim com a composição do leite (HARPER et al., 1976).

A viscosidade do leite – É importante do ponto de vista da agitação e da taxa de transferência de calor em pasteurizadores e trocadores de calor. O material viscoso requer ampla superfície de evaporação e agitação lenta, visto que propicia a formação de um filme na superfície de aquecimento e, ou, resfriamento, reduzindo a taxa de transferência de calor de dado equipamento, em comparação com substâncias de baixas viscosidades (FARRAL, 1980). Em geral, para os líquidos haverá aumento da viscosidade com o incremento do conteúdo dos sólidos e a diminuição da temperatura (HARPER et al., 1976).

2.3. Elevação do ponto de ebulição

2.3.1. Fatores que afetam a elevação do ponto de ebulição

A vaporização de um líquido puro não apresenta problemas do ponto de vista termodinâmico. A temperatura de ebulição de um líquido é fixada pela pressão exercida sobre ele e pode ser calculada facilmente, desde que se conheça a relação entre a pressão de vapor e a temperatura (FOUST, 1960).

A presença de um soluto em um líquido provocará a elevação da temperatura de ebulição, isso porque o soluto reduz a pressão de vapor da

solução. Como a ebulição só ocorrerá quando a pressão de vapor for igual à pressão externa, a solução necessitará de uma temperatura maior para ebulir (NETZ et al., 2002). Portanto, a influência do soluto deverá ser considerada na determinação da temperatura de ebulição ou do calor necessário para promover a vaporização da água na solução. De acordo com Heldman e Singh (1981), essa solução terá seu ponto de ebulição maior do que o da água pura.

Na literatura estão disponíveis dados sobre EPE de várias substâncias químicas (PERRY; CHILTON, 1986), além de diagramas, que mostram o seu comportamento em função da pressão (SMITH et al., 2002). Entretanto, a complexa composição dos materiais biológicos como sucos, leite e extratos dificulta a avaliação da elevação do ponto de ebulição. Dados dessa propriedade para tais sistemas são escassos na literatura.

O ponto de ebulição do leite varia com sua composição e pressão operacional (FARRAL, 1980). Conhecendo a EPE, pode-se determinar a temperatura de vaporização e, conseqüentemente, a taxa de vaporização, durante a concentração. O leite entra em ebulição a uma temperatura de aproximadamente 100 °C, à pressão atmosférica (FARRAL, 1980). O aumento da temperatura acima do ponto normal de ebulição é proporcional à concentração do soluto adicionado e inversamente proporcional à massa molar do soluto. A temperatura de vaporização também varia com a pressão operacional. Assim, o aumento da pressão elevará o ponto de ebulição (HARPER et al., 1976). Na prática, quando o leite é concentrado, a evaporação é feita a vácuo para reduzir a temperatura de ebulição, acelerando o processo de evaporação.

A ebulição do leite à pressão atmosférica produz diversas mudanças indesejáveis, como escurecimento do leite, sabor de cozido, a coagulação da albumina e formação de espuma na superfície, precipitação dos sais de cálcio e magnésio, quebra dos glóbulos de gordura, destruição de enzimas e diminuição da tensão de coagulação. Adicionalmente, a acidez do leite afeta fortemente a sua estabilidade durante o aquecimento. Com uma acidez entre 0,12 e 0,17%, o leite pode ser aquecido a 100 °F. Contudo, se a acidez for de 0,20% ou superior, as proteínas do leite geralmente coagularão antes que se atinja a temperatura de evaporação. Por exemplo, quando a taxa de evaporação é elevada, formam-se depósitos de resíduos sólidos do leite na

superfície de aquecimento, reduzindo o seu desempenho. A taxa de evaporação deve ser, portanto, regulada, para evitar a ocorrência desse evento (FARRAL, 1980).

2.4. Modelos matemáticos para estimativa do ponto de ebulição

Os modelos matemáticos levam em consideração que a EPE é influenciada pela pressão e, ou, concentração de sólidos solúveis presentes na mistura.

A regra de Dühring (FOUST et al., 1960) estabelece que uma linha reta é obtida se o ponto de ebulição da solução (em °C ou °F) for representado graficamente em função do ponto de ebulição da água pura para dada concentração em diferentes pressões. Para uma concentração constante, tem-se:

$$T_A = m_0 + m_1 T_{A0} \quad 1$$

em que T_A é a temperatura de ebulição da mistura e T_{A0} , a temperatura de ebulição da água. Os parâmetros m_0 e m_1 são determinados por regressão linear, sendo função somente da concentração, desconsiderando-se o efeito da pressão. Telis-Romero et al. (2000) utilizaram esse modelo para avaliar os efeitos da temperatura e da concentração na EPE do extrato de café, observando que a inclinação dada pela Eq. 1 foi similar para baixas concentrações, ocorrendo, entretanto, consideráveis desvios a altas concentrações. Tais autores concluíram que a pressão deveria ser considerada para determinar, satisfatoriamente, a EPE do extrato de café (TELIS-ROMERO et al., 2002).

Moresi e Spinosi (1980) também utilizaram a Eq. 1 para avaliar a EPE no suco de laranja concentrado. Esse modelo foi comparado com um modelo termodinâmico, segundo o qual a EPE de um líquido A, causada pela adição de um soluto não volátil B à baixa molalidade, pode ser determinada como se segue:

$$\Delta T_b = \frac{RT_0^2}{\Delta H_V} x_B \quad 2$$

em que R é a constante universal dos gases, T_0 é o ponto de ebulição do solvente A, ΔH é a entalpia de vaporização por mole e x_B é a fração molar do soluto. A Eq. 2 pode ser reescrita como:

$$\Delta T_b = \frac{RT_0^2}{\Delta H} \frac{1}{1 + \frac{1 - y_B}{y_B} \cdot \frac{M_B}{M_A}} \approx \frac{RT_0^2}{\Delta H} \cdot \frac{y_B M_A}{(1 - y_B) M_B} \quad 3$$

em que M_A e M_B são os pesos moleculares do solvente e do soluto, respectivamente. Constatou que no primeiro modelo (Eq. 1) foi obtido um erro de 8%, enquanto no segundo modelo (Eq. 3) o erro foi igual a 22%, demonstrando, assim, que o ponto de ebulição do suco de laranja segue o comportamento estabelecido pela Regra de Dühring (Eq. 1).

Crapiste e Lozano (1988) propuseram um modelo empírico dependente da pressão e da concentração de sólidos solúveis (Eq. 4), para prever a EPE no suco de maçã.

$$\Delta T_B = \alpha W^\beta \exp(\gamma W) P \delta \quad 4$$

em que $\Delta T_B = T_A - T_{A0}$ é a EPE(°C), W é a concentração em massa de sólidos solúveis (°Brix), P é a pressão (Mbar) e α , β , γ e δ são parâmetros ajustáveis.

Verificou-se que existe dependência expressiva da EPE em relação à concentração e seu aumento apreciável com a pressão. Tais estudos indicaram que a diferença entre os valores do ponto de ebulição experimentalmente determinados e aqueles calculados pelo modelo proposto reside no fato de que o suco natural é uma mistura complexa de muitos compostos orgânicos, os quais afetam o valor da EPE.

Ilgantileke et al. (1991), no entanto, ao usarem o modelo proposto por Crapiste e Lozano (1988), observaram um desvio de 7% ao comparar os valores experimentais e calculados da EPE, concluindo que tal modelo não é

adequado para estimar a EPE da tangerina. A partir daí, propuseram uma modificação no modelo de Crapiste e Lozano, obtendo um desvio médio próximo de 4% e um coeficiente de correlação igual a 0,998.

Montes (2001) e Telis-Romero et al. (2002), ao utilizarem o modelo de Crapiste e Lozano, encontraram um coeficiente de correlação de 0,999 e 0,997, para a lactose e o extrato de café, respectivamente. Esses autores notaram que, tanto para a lactose quanto para o extrato de café, a maioria dos dados apresentou erro na faixa de $\pm 10\%$, sendo que os maiores desvios ocorreram em soluções diluídas, em que o ponto de ebulição da solução é próximo do ponto de ebulição da água, resultando em uma EPE próxima de zero.

Varshney e Barhate (1978) utilizaram tais modelos para avaliar a EPE em sucos de abacaxi, manga e limão.

Outra maneira para a modelagem dos dados de EPE para soluções aquosas é aquela baseada no uso de expressões que relacionam a pressão de vapor com a temperatura, como a equação de Antoine (PERRY; CHILTON, 1986):

$$\ln P = A - \frac{B}{(T_A + C)} \quad 5$$

em que P é a pressão (Pa), T_A é a temperatura de ebulição da solução (K), e A , B e C são constantes empíricas dependentes da concentração do sistema.

Telis-Romero et al. (2002) e Montes (2001) utilizaram o modelo acima mencionado para avaliar a EPE de extrato de café e de soluções aquosas contendo lactose. Foi observado que, embora houvesse uma boa correlação entre o modelo e os dados experimentais, não foi possível estabelecer uma dependência explícita dessas constantes como função do conteúdo dos sólidos presentes, tanto no extrato de café quanto nas soluções com lactose. No entanto, Moresi e Spinosi (1984) usaram um modelo similar ao da Eq. 5 para descrever a dependência da pressão de vapor sobre a temperatura para suco de maçã concentrado, expressando as constantes empíricas como função de uma fração em massa equivalente de sacarose.

Montes (2004) usou ainda a equação de Lewis e Randall (ZAMAN et al., 1998) para calcular a EPE:

$$\frac{DP}{DT} = \frac{\Delta H}{\Delta V}$$

6

em que ΔH é a entalpia de vaporização (kJ/Kg) e ΔV , o incremento de volume (m³). Assumindo que a fase de vapor se comporta como um gás ideal, a integração da Eq. 6 conduz à expressão:

$$\ln P = A' - \frac{B'}{T}$$

7

em que A' e B' são constantes dependentes do tipo de solução e da sua concentração. Foi observado que as constantes A' e B' apresentaram leve variação em relação à variação da concentração na solução de lactose, indicando uma constância no calor de vaporização na faixa de concentração de 12,7 a 68,4%.

Outro método para avaliar a temperatura de ebulição em sistemas multicomponentes é baseado no tratamento termodinâmico.

A termodinâmica fornece equações que relacionam propriedades especiais como a fugacidade às composições das fases, à temperatura e à pressão. Por esse motivo, a relação entre os critérios de equilíbrio e a realidade física é feita, principalmente, mediante o coeficiente de fugacidade, ϕ_i , para as fases vapor e o coeficiente de atividade, γ_i , para as fases líquidas.

O modelo de UNiversal Functional-group Activity Coefficient (UNIFAC) é utilizado para o cálculo dos coeficientes de atividades em misturas multicomponentes, e o seu modelo modificado foi desenvolvido com o objetivo de melhorar a predição desejada (SMITH, 2002). As vantagens do uso do UNIFAC modificado são alcançadas pelo emprego de uma parte combinatorial modificada e pela utilização de ampla base de dados para ajustar a dependência da temperatura com parâmetros dos grupos de interação simultaneamente para o equilíbrio líquido-vapor (VLE), o equilíbrio líquido-líquido (LLE), a hE (entalpia de excesso) e dados de γ^∞ . Os modelos UNIFAC tem sido melhorados e amplamente utilizados em simulações de projetos industriais.

O método UNIFAC é baseada na equação UNiversal QUase Chemical (UNIQUAC), para a qual os coeficientes de atividade são dados pela equação:

$$\ln \gamma_i = \ln \gamma_i^C + \ln \gamma_i^R \quad 8$$

em que:

$$\ln \gamma_i^C = 1 - J_i + \ln J_i - 5q_i \left(1 - \frac{j_i}{L_i} + \ln \frac{j_i}{L_i} \right) \quad 9$$

em que:

$$J_i = \frac{r_i}{\sum_j r_j x_j} \quad 10$$

$$J_i = \frac{q_i}{\sum_j q_j x_j} \quad 11$$

e

$$\ln \gamma_i^R = q_i \left(1 - \ln s_i - \sum_j \theta_j \frac{\tau_{ij}}{s_j} \right) \quad 12$$

em que:

$$s_i = \sum_l \theta_l \tau_{li} \quad 13$$

Quando aplicadas a uma solução de grupos, as Eq. 9 e 12 são escritas na forma:

$$\ln \gamma_i^C = 1 - J_i + \ln J_i - 5q_i \left(1 - \frac{j_i}{L_i} + \ln \frac{j_i}{L_i} \right) \quad 14$$

e

$$\ln \gamma_i^R = q_i \left[\sum_k \left(\theta_k \frac{\beta_{ik}}{s_k} - e_{ki} \ln \frac{\beta_{ik}}{s_k} \right) \right] \quad 15$$

As definições a seguir se aplicam:

$$r_i = \sum_k v_k^{(i)} R_k \quad 16$$

$$q_i = \sum_k v_k^{(i)} Q_k \quad 17$$

$$e_{ki} = \frac{v_k^{(i)} Q_k}{q_i} \quad 18$$

$$\beta_{ik} = \sum_m e_{mi} \tau_{mk} \quad 19$$

$$\theta_k = \frac{\sum_i x_i q_i e_{ki}}{\sum_j x_j q_j} \quad 20$$

$$s_k = \sum_m \theta_m \tau_{mk} \quad 21$$

$$\tau_{mk} = \exp \frac{-a_{mk}}{T} \quad 22$$

O subscrito i identifica as espécies, e j é um índice mudo que percorre todas as espécies. O subscrito k identifica os subgrupos, e m é um índice mudo que percorre todos os subgrupos. A grandeza $v_k^{(i)}$ é o número de subgrupos do tipo k em uma molécula de espécie i . Os valores dos parâmetros R_k e Q_k e dos parâmetros de interação a_{mk} são obtidos na literatura.

Peres e Macedo (1997) desenvolveram um modelo UNIFAC modificado capaz de prever, com exatidão, algumas propriedades termodinâmicas como atividade de água, temperatura de ebulição e ponto de congelamento de soluções aquosas de sacarose. Foram encontrados desvios relativos de até 9% nas predições dos coeficientes osmóticos desses sistemas. Predições satisfatórias dos dados de equilíbrio vapor-líquido e sólido-líquido para misturas ternárias e quaternárias de D-glucose, D-frutose, sacarose e água foram também obtidas. Esse modelo também foi capaz de prever qualitativamente dados de solubilidade ternária de D-glucose, D-xilose, D-manose e sacarose em misturas de solventes de água e metanol/etanol e etanol/metanol. Esses

autores apresentaram, ainda, uma comparação desse modelo UNIFAC (modelo correlativo e preditivo) com o modelo UNIQUAC (essencialmente correlativo), verificando que o modelo UNIFAC proposto apresentou “performance” inferior ao modelo UNIQUAC, no entanto com melhor ajuste aos dados experimentais quando comparado com outro modelo UNIFAC modificado disponível na literatura.

Peres e Macedo (1999) utilizaram também o modelo UNIFAC modificado, anteriormente proposto (PERES; MACEDO, 1997), na correlação e predição de propriedades termodinâmicas experimentais de soluções aquosas de outros açúcares (D-galactose, D-manose, D-xilose, maltose e lactose). Esse modelo apresentou a vantagem em relação aos modelos baseados no UNIQUAC, pois permitiu a descrição do equilíbrio vapor-líquido e sólido-líquido de sistemas contendo açúcar, mesmo com reduzido número de dados experimentais. Quando comparado com outros modelos baseados no modelo UNIFAC, é considerado mais preciso. Pela primeira vez, esse tipo de modelo foi aplicado com sucesso na predição de propriedades termodinâmicas de misturas de açúcar, inclusive do ponto de ebulição, de interesse industrial (sucos de fruta concentrados) e na descrição da atividade de água de soluções de mel.

Abderafi e Bounahmidi (1999) adaptaram a equação de Peng-Robson (Eq. 23).

$$P = \frac{T}{V - b} - \frac{a(T)}{V(V + b) + b(V - b)} \quad 23$$

em que a e b são parâmetros dependentes dos componentes de suas características químicas, para calcular o equilíbrio de fases de caldo de cana e beterraba, usando-se o conceito de pseudocomponentes. As misturas foram consideradas como soluções aquosas contendo tipos de quatro componentes: açúcares, aminoácidos, ácidos policarboxílicos e matéria mineral. Tais autores concluíram que o ponto de ebulição das soluções aumentou com a concentração de matéria seca.

2.5. Processo de evaporação em evaporadores industriais

Uma das operações unitárias fundamentais na indústria de processamento de fluidos alimentícios é a evaporação, utilizada para concentrar ou aumentar a concentração de sólidos no alimento fluido. Um dos objetivos primários dessa operação é diminuir o volume do produto e evitar a perda de nutrientes. Essa redução no volume resulta em maior eficiência no transporte e armazenamento do produto final (HELDMAN; SING, 1979).

Na evaporação, elimina-se o vapor formado pela ebulição de uma solução líquida. Na maioria dos casos, ela se refere à eliminação de água de uma solução aquosa por meio da ebulição, obtendo uma solução mais concentrada (GEANKOPLIS, 1998; FOUST, 1960)

2.5.1. Fatores que influenciam o ponto de ebulição do líquido

O gradiente de temperatura entre o fluido a ser concentrado e o vapor é responsável pela transferência de calor no evaporador. Contudo, vários fatores irão influenciar a concentração do líquido, dentre os quais se podem citar:

- 1) Pressão externa – Um líquido entra em ebulição quando a sua pressão de vapor é igual à pressão externa à qual está sujeito. Portanto, é necessário o conhecimento da relação entre a temperatura de ebulição e a pressão do líquido a ser concentrado.
- 2) Elevação do Ponto de Ebulição – O ponto de ebulição de uma solução é maior do que a do solvente puro à mesma pressão (BRENNAN et al., 1976). Isso porque o ponto de ebulição de uma solução para determinada pressão é função da concentração dos sólidos presentes (BENNET; MYERS, 1978). Assim, à medida que a evaporação prossegue, a concentração do líquido aumenta e o ponto de ebulição se eleva. Essa mudança conduz a uma diminuição progressiva na diferença de temperatura e, conseqüentemente, na taxa de transferência de calor, o que deve ser levado em consideração nos projetos dos evaporadores.

3) Pressão Hidrostática – A um nível abaixo de sua superfície, o líquido é submetido a uma pressão igual à soma das pressões da superfície, que é chamada de hidrostática, a qual corresponde à distância vertical da superfície livre até o nível considerado. Assim, a temperatura do líquido no evaporador varia com a sua profundidade. O aumento da temperatura de ebulição com a profundidade reduz a diferença de temperatura entre o produto e o meio de aquecimento, podendo levar a um maior aquecimento do produto, tornando-o superaquecido (BRENNAN et al., 1976). Esse aquecimento pode elevar a temperatura de ebulição e prejudicar a unidade de evaporação, a qual é projetada para operar a determinada temperatura (ÓCON; VIAN, 1967; McADAMS, 1967). A influência da pressão hidrostática torna-se mais pronunciada nos evaporadores a vácuo e pode ser um problema em evaporadores de tubos longos. Comumente, a temperatura média de ebulição de determinado produto é baseada na pressão ao nível do líquido na metade superior e, posteriormente, usada para os cálculos de projeto de evaporadores (BRENNAN et al., 1976; PERRY; CHILTON, 1973).

2.5.2. Influência das propriedades do líquido de alimentação

A escolha do tipo de evaporador é fortemente influenciada pelas propriedades do líquido de alimentação. Dentre elas, destacam-se:

1) Viscosidade – A viscosidade elevada reduz a circulação e abaixa o coeficiente de transferência de calor. À medida que o produto se concentra no evaporador, sua viscosidade aumenta, resultando em uma queda na taxa de transferência de calor (BRENNAN et al., 1976).

2) Incrustações – A deposição das incrustações na superfície de transferência de calor durante a evaporação reduz o valor do coeficiente global de transferência de calor. Essa deposição ocorre devido à adesão dos sólidos suspensos presentes no líquido de alimentação (PERRY; CHILTON, 1973). A deposição é menos pronunciada nos líquidos à alta velocidade (McADAMS, 1967). Isso é possível devido ao atrito da corrente do líquido, o qual estabiliza o

seu fluxo. Por esse motivo, o uso de evaporadores de circulação forçada torna-se mais vantajoso (BRENNAN et al., 1976).

3) Espuma – A constante formação de espuma durante a ebulição ocorre em muitos líquidos. A espuma pode estar relacionada com as forças interfaciais que se originam entre o vapor, o líquido superaquecido e os sólidos em suspensão, os quais atuam como núcleos no processo de formação de bolhas (BRENNAN et al., 1976). Segundo Furtado et al. (2001), não somente fatores relacionados ao grau de hidrólise podem influir no desempenho das propriedades de espuma, mas também o pH e outros aspectos relacionados à composição dos hidrolisados, a exemplo da massa. Os peptídeos de elevada massa molecular influenciam as características espumantes dos peptídeos de baixo peso molecular (MUTILANGI et al., 1996), desestabilizando-se a espuma (NIELSEN, 1997). Segundo Kinsela (1984), o ideal para que uma proteína apresente o melhor desempenho na formação e estabilidade de espuma é que possua peso molecular maior que 20 Kda, um mínimo de carga líquida e sítios de ligações hidrofóbicas, além de uma conformação flexível.

4) Sensibilidade à temperatura – Para reduzir os riscos de alterações nos produtos sensíveis ao calor, a temperatura de ebulição durante a evaporação deve ser mantida baixa, e o tempo de residência do líquido na zona de aquecimento deve ser breve (McADAMS, 1967).

5) Características de corrosão – A corrosão natural do material deve ser considerada (BRENNAN et al., 1976), visto que o material deve ser compatível com o tipo de alimento a ser processado (McCABE et al., 1993). Os alimentos ácidos, como polpa de tomate e suco de abacaxi, requerem material especial de construção, sendo freqüentemente concentrados em evaporadores de circulação forçada (BRENNAN et al., 1976).

2.5.3. Equipamentos de evaporação

Grande parte dos processos de evaporação é realizada em evaporadores tubulares e, em menor escala, utilizando evaporadores de placas.

Os principais tipos de evaporadores são (McCABE et al., 1993):

- Evaporadores de placa:
 - a) fluxo descendente ou película descendente.
- Evaporadores verticais de tubos longos:
 - a) Fluxo ascendente ou película ascendente.
 - b) Fluxo descendente ou película descendente.
 - c) Circulação forçada.
- Evaporadores de filme agitado.

Entre os tipos mais importantes de evaporadores, destaca-se o de película descendente, em que o filme de solução desce próximo à superfície do tubo e recebe calor através da parede metálica do equipamento (BRENNAN et al., 1976; McCABE et al., 1993). O pequeno tempo de exposição nesse evaporador torna tal equipamento útil na concentração de soluções de material sensível ao calor (BENNET; MEYRS, 1978). Os evaporadores de tubos longos, nos quais os tubos são preenchidos com determinado líquido, podem também ser utilizados para soluções que apresentam constituintes sensíveis ao calor, desde que não haja recirculação dessas soluções (McCABE et al., 1993).

2.5.4. Operação dos evaporadores

Os evaporadores constituem tipos especiais de trocadores de calor, e o fluxo de calor nesses equipamentos pode ser estimado pela Eq. 24.

$$q = UA\Delta T \quad 24$$

em que $U(W/m^2.K)$ é o coeficiente global de transferência de calor, $A(m^2)$ é a área de troca de calor e $\Delta T(^{\circ}C)$ é o gradiente de temperatura.

Nos evaporadores de tubos verticais, o coeficiente de convecção é infinito na parte superior dos tubos e diminui à medida que a espessura do

filme condensado aumenta, enquanto o filme se desloca para a parte inferior dos tubos (BENNET; MEYRS, 1978). O coeficiente global de transferência de calor também varia com a posição ao longo do tubo. Na base do tubo, o fluido se apresenta como uma única fase e, se o fluido não se encontra à temperatura de saturação, o coeficiente global de transferência de calor é facilmente determinado. No entanto, quando a ebulição se inicia, a determinação desse coeficiente de transferência de calor se torna difícil. O coeficiente global é o recíproco da resistência global, que corresponde à soma das resistências individuais entre o vapor e o líquido em ebulição. Vários modelos para determinação das resistências individuais foram propostos: Kreith (1965) e Brown et al. (1950) apresentaram um modelo para superfícies verticais e Charm (1971), Bromley (1950) e Chato (1962), para a condensação em película no interior de dutos horizontais; Bromley (1950) propôs um modelo para a ebulição em película estável e escoamentos viscosos; Yuge (1960) apresentou um modelo para a convecção livre; e Alhusseini e Chein (2000) exibiram resultados razoáveis para predição de um coeficiente global que considerava todas as resistências no processo de transferência de calor.

2.5.5. Modelagem de sistema de evaporação

As indústrias, de maneira geral, utilizam plantas de sistema de evaporação de múltiplo efeito (ELHAQ; UNBEHAUEN, 1999), em que o vapor, produzido pela evaporação da solução em uma unidade do evaporador, é usado para evaporar a solução no evaporador subsequente, e as unidades sucessivas utilizam pressões progressivamente menores (BENNET; MEYRS, 1978). Para uma descrição rigorosa, o sistema de evaporação pode ser modelado utilizando-se determinado número de equações diferenciais parciais no espaço e no tempo (YOUNG; ALLEN, 1995).

Stefanov e Hoo (2004) modelaram um evaporador de placa de película descendente de múltiplo-efeito. Neste trabalho, foram consideradas as mudanças nas condições hidrodinâmicas do fluido, as dimensões do modelo, o “design” do evaporador e o processo de evaporação no conjunto de placas. A simulação produziu uma concentração de sólidos no produto que diferiu em somente 0,6% dos dados experimentais, demonstrando um bom desempenho

do modelo. Pennisi et al. (2003) apresentaram um modelo que incorpora os efeitos da concentração de sólidos e da temperatura operacional nas propriedades do fluido. Contudo, o conhecimento do comportamento do fluxo do fluido dentro dos tubos da calândria era limitado. Assim, a capacidade do modelo foi reduzida para controlar o campo de fluxo dentro da região de calândria, o que demonstrou a necessidade do desenvolvimento de um modelo mais completo. Stephens (2001), na modelagem de um evaporador a vácuo, demonstrou que a ocorrência do fenômeno de ebulição dificulta o estudo do fluxo da solução na calândria.

3. MATERIAL E MÉTODO

O trabalho experimental foi realizado no Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas (IBILCE) do Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos – DETA da Universidade Estadual de São Paulo (UNESP), em São José do Rio Preto, SP.

O programa para simulação da área de troca útil foi desenvolvido no Laboratório de Processo de Separação (LPS) do Departamento de Tecnologia de Alimentos (DTA) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), na cidade de Viçosa, MG, usando-se o Visual Basic 6.0, plataforma Windows XP.

3.1. Reagentes e equipamentos

3.1.1. Reagentes

- Éter etílico.

3.1.2. Vidraria

- Balão de fundo chato com três aberturas.
- Condensador.
- Proveta de 200 ml.
- Balão de fundo redondo.

3.1.3. Equipamentos

- Chapa aquecedora com agitador magnético (Fisatom, BR).
- Termopar.
- Transmissor de temperatura (SMART-TT302, BR).
- Bomba de vácuo.
- Transmissor de pressão diferencial (SMAR, BR).
- Registrador de dados (HP 75.000-B).
- Aparelho de Soxhlet.
- Dessecador.
- Estufa.

3.2. EPE do leite

Foram preparadas amostras de leite pasteurizado com concentrações de sacarose nos valores de 0, 6, 18, 24 e 30%, pesadas em balança analítica.

O equipamento usado no experimento (Figura 2) foi constituído por um frasco de vidro de fundo plano (F), com três aberturas (bocais), situado sobre uma chapa aquecedora com agitador magnético (Fisatom, BR).

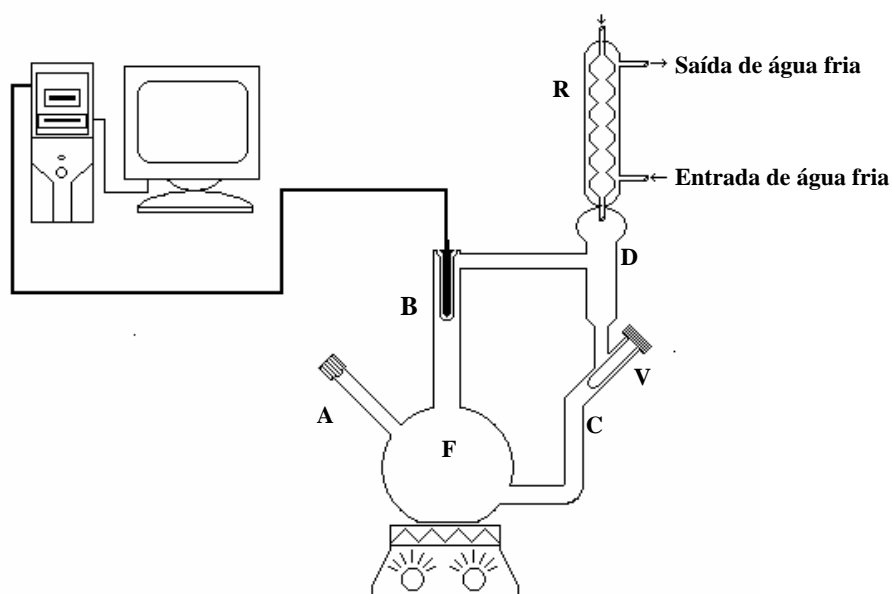


Figura 2 – Diagrama esquemático do aparelho usado para medir a EPE do leite.

A solução foi introduzida no frasco por meio do tubo **A** e aquecida até alcançar a temperatura de ebulição. Em seguida, foi estabelecido um fluxo de recirculação entre os tubos **B** e **C**. O vapor liberado da superfície líquida escoava através do tubo **B**, e a sua temperatura foi medida por um termopar instalado no topo desse tubo e conectado a um transmissor de temperatura (SMAR-TT302, BR). O vapor era condensado no condensador **R**, retornando até o compartimento **D** e, subseqüentemente, ao frasco **F**. A válvula **V** foi utilizada para regular a taxa de recirculação, de modo a manter as condições de regime permanente (temperatura e concentrações constantes).

O condensador foi conectado a uma bomba de vácuo, permitindo a variação da pressão na faixa de 18,2 a 702 mmHg (abs). Transmissores de pressão diferencial (SMAR, BR) foram usados para medir a pressão estática em duas posições diferentes no tubo de vácuo. Um registrador de dados (HP 75.000-B), uma interface (HP-IB) e um computador contendo um software (linguagem IBASIC) para aquisição de dados monitoravam a temperatura e a pressão com precisões de 0,06 °C e 4,3 MPa, respectivamente.

Em cada experimento, uma amostra de 180 ml era introduzida dentro do recipiente de ebulição. O fluxo da água de resfriamento foi iniciado no condensador de refluxo e a pressão, ajustada com uma válvula reguladora. Ao se iniciar a agitação, o fluido era aquecido lentamente. A temperatura e a pressão foram registradas continuamente e os valores finais para o ponto de ebulição da solução e a pressão associada, obtidos após as leituras permanecerem constantes por no mínimo 5 min.

O procedimento foi repetido para pressões crescentes até próximas da pressão atmosférica, permitindo medições do ponto de ebulição em diversas pressões para a mesma concentração de soluto. O procedimento foi executado em triplicata para as soluções, apresentando diferentes concentrações.

3.2.1. Análise dos dados

A determinação da concentração de água foi feita através do balanço de massa e da gordura pelo método AOAC.

3.2.1.1. Determinação de gordura

Secou-se uma mostra de 20 ml de leite em estufa, pesando-a no cartucho extrator.

Pesou-se o balão previamente secado a 105 °C por 1 h e mantido em dessecador. Transferiu-se o cartucho com a amostra para o aparelho Soxhlet, conectado ao balão e ao condensador. Adicionou-se éter etílico em quantidade suficiente para encher o extrator.

O aquecimento foi ligado, e procedeu-se à extração contínua por 6 h. Recuperou-se o éter etílico no próprio aparelho, levando-se o balão para estufa a 105 °C e deixando aí por 1 h. Deixou-se esfriar em dessecador e pesou. Repetiu-se o aquecimento e resfriamento até o peso constante.

Calculou-se o teor de lipídeos em função da quantidade de amostra e da fração lipídica extraída, de acordo com a fórmula da Eq. 25.

$$\% \text{ lipídeos} = \frac{L}{P} \times 100 \quad 25$$

em que L é o peso de lipídeos na amostra (g) e P, peso da amostra (g).

3.2.1.2. Análise estatística dos dados

Os dados foram analisados estatisticamente por regressões linear e não-linear, usando-se o software SAS (SAS Institute Inc, 1999, USA) para o ajuste dos modelos matemáticos propostos (Regra de Dühring e Equação de Antoine). O modelo estatístico proposto por Crapiste e Lozano apresentou erros maiores que 10%, resultando na exclusão desse modelo. De forma similar, Ilagantileke et al. (1991), ao usarem esse modelo para prever a EPE do suco de tangerina, encontraram um desvio médio de 7%, concluindo que ele não era adequado para predição do ponto de ebulição desse tipo de sistema.

3.4. Desenvolvimento de software para simulação da influência da elevação da EPE do leite na determinação da área de troca em evaporadores de múltiplo efeito

Usualmente são conhecidos: (a) os valores de pressão do primeiro e do último efeito; (b) o fluxo e as condições de alimentação do leite; (b) a concentração final do produto saindo do último efeito; e (c) as propriedades termofísicas do vapor e do líquido, como entalpia e calor específico e o coeficiente global de calor em cada efeito. Admite-se que as áreas em cada efeito são iguais (GEANKOPLIS, 2000).

As equações que governaram o processo em cada evaporador foram as dos balanços de massa e energia, bem como a equação da taxa de transferência de calor (PROST et al., 2006). Os passos descritos a seguir foram realizados para se determinarem a área e a economia de vapor em um evaporador de triplo efeito:

1 – Determinou-se o ponto de ebulição do último efeito a partir da concentração de sólidos desejados, utilizando o Modelo de Dühring modificado (Eqs. 1, 28, 50 e 51).

$$T_{A0} = \frac{-92,79151 - 38579,34973}{\left[1 + \left(P/9,2133 \times 10^8\right)\right]^{0,14302}} + 38579,34973 \quad 28$$

em que x_1 é a concentração de umidade, x_2 a concentração de sacarose, x_3 a concentração de gordura, P a pressão (Pa) e T_{A0} a temperatura de ebulição da água.

2 – A partir do balanço global de massa (Eqs. 30, 31 e 32), determinou-se a quantidade total de vapor produzido, assumindo que, na primeira tentativa, as quantidades de vapor produzido em cada efeito são iguais. Através do balanço dos componentes foi determinada a concentração de sólidos em cada efeito, a partir das Eqs. 33, 34 e 35.

$$F = V_1 + L_1 \quad 30$$

$$L_1 = V_2 + L_2 \quad 31$$

$$L_2 = V_3 + L_3 \quad 32$$

$$Fx_0 = V_1x_{v1} + L_1x_1 \quad 33$$

$$L_1x_1 = V_2x_{v2} + L_2x_2 \quad 34$$

$$L_2x_2 = V_3x_{v3} + L_3x_3 \quad 35$$

em que F é a taxa de alimentação (kg/h), V a taxa de vapor (kg/h), L a corrente de produto concentrado (kg/h), x_v a concentração de sólidos no vapor e x a concentração de sólidos no leite. Como os sólidos não são voláteis $x_{vn} \rightarrow 0$, em que $n = 1, 2$ e 3 .

3 – Usando a Eq. 36 e o modelo de Dühring modificado, foi determinada a queda de temperatura útil global efetiva. As quedas de temperatura em cada efeito foram determinadas pela Eq. 37.

$$\sum \Delta T = T_s - T_3 \quad 36$$

$$\Delta T_i = \sum \Delta T \frac{1/U_i}{1/U_1 + 1/U_2 + \dots + 1/U_n} \quad 37$$

em que ΔT ($^{\circ}C$) é a diferença entre a temperatura do vapor (T_s) e a temperatura de ebulição do líquido (T_3), U ($W/m^2.K$) é o coeficiente global de transferência de calor, e ΔT_i ($^{\circ}C$) é a queda de temperatura em cada evaporador.

4 – As entalpias do vapor e do condensado e o calor latente foram determinadas pelas Eqs. 38, 39 e 41, respectivamente. Essas equações foram obtidas por meio de regressão nas tabelas de vapor (PERRY; CHILTON, 1986), usando-se o comando PROC REG e PROC NLIN do SAS®. O calor específico do leite foi determinado pela Eq. 40 (MINIM et al., 2002).

$$H_{V_i} = 2.923,2 + \frac{(2.126,1 - 2.923,2)}{1 + \exp\left(\frac{T_{V_i} - 12,687}{109,16}\right)} \quad 38$$

$$h_L = 0,61764 + 4,15111 * T_{V_i} + 0,000364 * T_{V_i}^2 \quad 39$$

$$c_{p_{Leite}} = 1.4017 + 0.0341 * T_A + 2.186 * UMD + 1.743 * GRD \quad 40$$

$$\lambda_n = -2.556,8 + \frac{(3.311,9 + 2.556,8)}{1 + \exp\left(\frac{T_{V_i} - 861,01}{321,64}\right)} \quad 41$$

em que T_v ($^{\circ}C$) é a temperatura do vapor, H_v (kJ/kg) é a entalpia do vapor, h_L (kJ/kg) é a entalpia do líquido, $c_{p_{leite}}$ ($kJ/kg.K$) é o calor específico do leite, T_A ($^{\circ}C$) é a temperatura de ebulição do leite, UMD é a concentração de umidade, GRD é a concentração de gordura e λ (kJ/kg) é o calor latente de vaporização.

4 – Para determinar a quantidade de vapor e a taxa de alimentação do leite foi realizado um balanço de energia em cada efeito e obtidas as Eqs. 42 , 43 e 44.

$$Fc_{p_{leite}}(T_F - T_0) + S\lambda_1 = L_1c_{p_{1-Leite}}(T_1 - T_0) + V_1H_{V_1} \quad 42$$

$$L_1c_{p_{1-Leite}}(T_1 - T_0) + V_1\lambda_2 = L_2c_{p_{2-Leite}}(T_2 - T_0) + V_2H_{V_2} \quad 43$$

$$L_2c_{p_{2-Leite}}(T_2 - T_0) + V_2\lambda_3 = L_3c_{p_{3-Leite}}(T_3 - T_0) + V_3H_{V_3} \quad 44$$

5 – A quantidade de calor usada em cada efeito foi determinada a partir das Eqs. 45, 46 e 47, e, usando a Eq. 48, determinaram-se as áreas de cada efeito. A área média foi obtida a partir da Eq. 49.

$$q_1 = S\lambda_1 \quad 45$$

$$q_2 = V_1\lambda_2 \quad 46$$

$$q_2 = V_2\lambda_3 \quad 47$$

$$q_n = A_n U_n T_n, \text{ em que } n = 1, 2 \text{ e } 3 \quad 48$$

$$A_m = \frac{A_1 + A_2 + \dots + A_n}{n} \quad 49$$

sendo A (m^2) a área de cada efeito do evaporador e A_m (m^2), a área média.

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

Os dados experimentais obtidos são mostrados na Apêndice I.

4.1. Modelo de Dürhing

Os parâmetros m_0 e m_1 foram obtidos por regressão linear para cada uma das concentrações de gordura, sacarose e água e são mostrados na Tabela 3.

Os parâmetros m_0 e m_1 foram obtidos através do comando PROC REG do SAS para cada grupo experimental. Esses parâmetros foram correlacionados com a concentração de umidade, sacarose e gordura. Através do comando PROC REG foi realizada a análise de variância em vários modelos propostos conforme Tabela 4.

A Tabela 4 indica que os modelos 1 e 8 apresentaram o melhor ajuste aos dados não só pela simplicidade, como também pelo seu nível de significância nos vários testes.

Os Apêndices II e III apresentam as análises de variância realizadas nos dados através do comando PROC REG no SAS, para testar os modelos para m_0 e m_1 .

Tabela 3 – Parâmetros da Eq. 1 para diferentes concentrações de umidade (x_1), sacarose (x_2) e gordura (x_3) no leite

N^o	x_1	x_2	x_3	m_0	m_1
1	59,00	0,00	5,60	1,00	3,93
2	64,50	0,00	4,20	1,00	3,06
3	65,00	0,00	3,50	1,00	2,92
4	68,50	0,00	5,70	1,00	2,68
5	73,00	0,00	6,50	1,00	2,15
6	73,50	0,00	5,50	1,00	1,98
7	55,50	6,00	6,10	1,00	3,96
8	56,00	6,00	5,30	1,00	3,82
9	60,00	6,00	6,60	1,00	3,41
10	61,00	6,00	5,00	1,00	3,12
11	66,00	6,00	4,60	1,00	2,41
12	70,50	6,00	4,90	1,00	1,84
13	53,00	12,00	5,00	1,00	3,70
14	57,50	12,00	5,90	1,00	3,19
15	59,00	12,00	3,00	1,00	2,71
16	62,00	12,00	6,30	1,00	2,63
17	63,50	12,00	3,20	1,00	2,13
18	67,50	12,00	4,80	1,00	1,75
19	49,50	18,00	5,80	1,00	3,77
20	50,00	18,00	4,90	1,00	3,61
21	54,00	18,00	6,10	1,00	3,19
22	54,50	18,00	5,40	1,00	3,06
23	60,00	18,00	4,00	1,00	2,19
24	64,00	18,00	5,70	1,00	1,82
25	65,00	18,00	3,40	1,00	1,46
26	47,00	24,00	4,50	1,00	3,48
27	47,50	24,00	3,90	1,00	3,36
28	51,50	24,00	4,80	1,00	2,92
29	52,50	24,00	3,30	1,00	2,64
30	57,50	24,00	2,90	1,00	1,93
31	58,00	24,00	1,70	1,00	1,75
32	61,50	24,00	4,10	1,00	1,52
33	63,00	24,00	1,30	1,00	1,04
34	38,00	30,00	6,90	1,00	4,44
35	39,00	30,00	5,20	1,00	4,14
36	43,50	30,00	5,50	1,00	3,57
37	49,50	30,00	3,00	1,00	2,53
38	54,50	30,00	2,50	1,00	1,81
39	55,00	30,00	1,50	1,00	1,64
40	58,50	30,00	3,80	1,00	1,40

Tabela 4 – Modelos matemáticos para os parâmetros m_0 e m_1 testados no SAS

Nº	Modelo	Teste F	Teste t	Falta de Ajuste
1	$m_0 = a + bx_1 + bx_2 + dx_3$	Não-significativo a 1% de probabilidade	Significativo a 1% para o intercepto e todos os parâmetros	Não-significativa a 1% de probabilidade
2	$m_0 = a + bx_1 + cx_2 + dx_3 + ex_1x_2 + fx_1x_3 + gx_2x_3$	Não-significativo a 1% de probabilidade	Significativo a 1% apenas para o intercepto	Não-significativa a 1% de probabilidade
3	$m_0 = a + bx_1 + cx_2 + dx_3 + ex_1^2 + fx_2^2 + gx_3^2$	Não-significativo a 1% de probabilidade	Significativo a 1% apenas para o intercepto e para os parâmetros b, c e d	Não-significativa a 1% de probabilidade
4	$m_1 = a + bx_1 + cx_2 + dx_3 + ex_1x_2 + fx_1x_3 + gx_2x_3 + hX_1^2 + iX_2^2 + jX_3^2$	Não-significativo a 1% de probabilidade	-	-
5	$m_1 = a + bx_1 + cx_2 + dx_3 + ex_1x_2 + fx_1x_3 + gx_1^2 + hx_2x_3$	Significativo a 1% de probabilidade	Significativo a 1% apenas para o intercepto	Não-significativa a 1% de probabilidade
6	$m_1 = a + bx_1 + cx_2 + dx_3 + ex_1x_2 + fx_1x_3 + gx_2x_3$	Significativo a 1% de probabilidade	Significativo a 1% apenas para o intercepto	Não-significativa a 1% de probabilidade
7	$m_1 = a + bx_1 + cx_2 + dx_1x_2 + ex_2x_3$	Significativo a 1% de probabilidade	Significativo a 1% apenas para o intercepto	Não-significativa a 1% de probabilidade
8	$m_1 = a + bx_2 + cx_2x_3$	Significativo a 1% de probabilidade	Significativo a 1% para o intercepto e para os parâmetros	Não-significativa a 1% de probabilidade

Os modelos gerados são dados pelas Eqs. 50 e 51.

$$m_0 = 11,26099 - 0,13348 * x_1 - 0,08076 * x_2 + 0,09766 * x_3 \quad 50$$

$$m_1 = 0,99832 + 0,00018882 * x_1 - 0,00002953 * x_2 * x_3 \quad 51$$

Combinando a Eq. 1 com as Eqs. 50 e 51, obteve-se o modelo (Eq. 52) para a determinação do ponto de ebulição do leite, em função das concentrações de umidade, gordura e sacarose e da pressão operacional.

$$EPE_{leite} = m_0 + T_{A0}(m_1 - 1) \quad 52$$

Na Figura 3, apresenta-se a análise de resíduo da EPE do leite para o modelo de Dürhing, variando entre +1 e -1, evidenciando um bom ajuste dos dados ao modelo proposto. O modelo apresentou, ainda, coeficiente de variação igual a 99,9%.

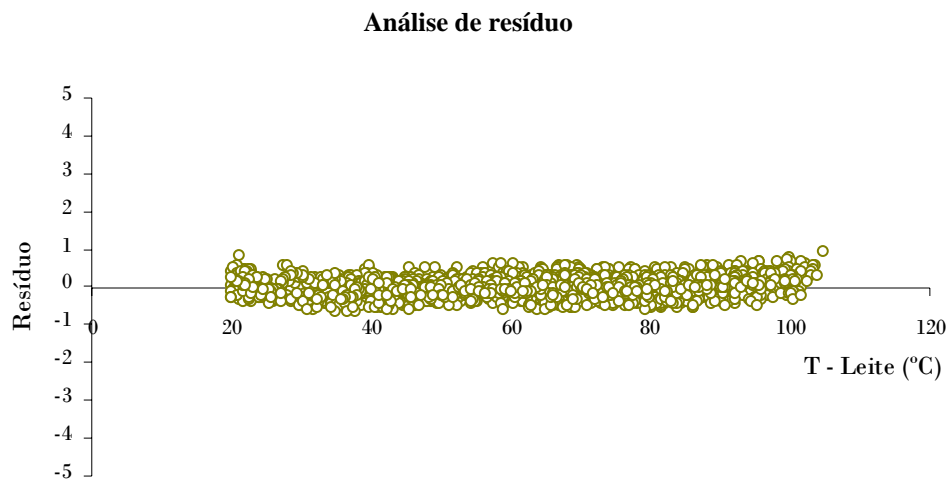


Figura 3 – Gráfico de resíduo para o modelo de Dürhing.

A Figura 4 ilustra as variações da EPE para diferentes concentrações de umidade, sacarose e gordura. Observou-se que os fatores determinantes na EPE do leite foram as concentrações de umidade e sacarose. O aumento da gordura não influenciou, de forma significativa, a EPE do leite não só por causa do aumento de sua concentração, que era irrisório diante da concentração de sacarose, mas também devido ao seu ponto de fusão, que ocorre aos 40 °C.

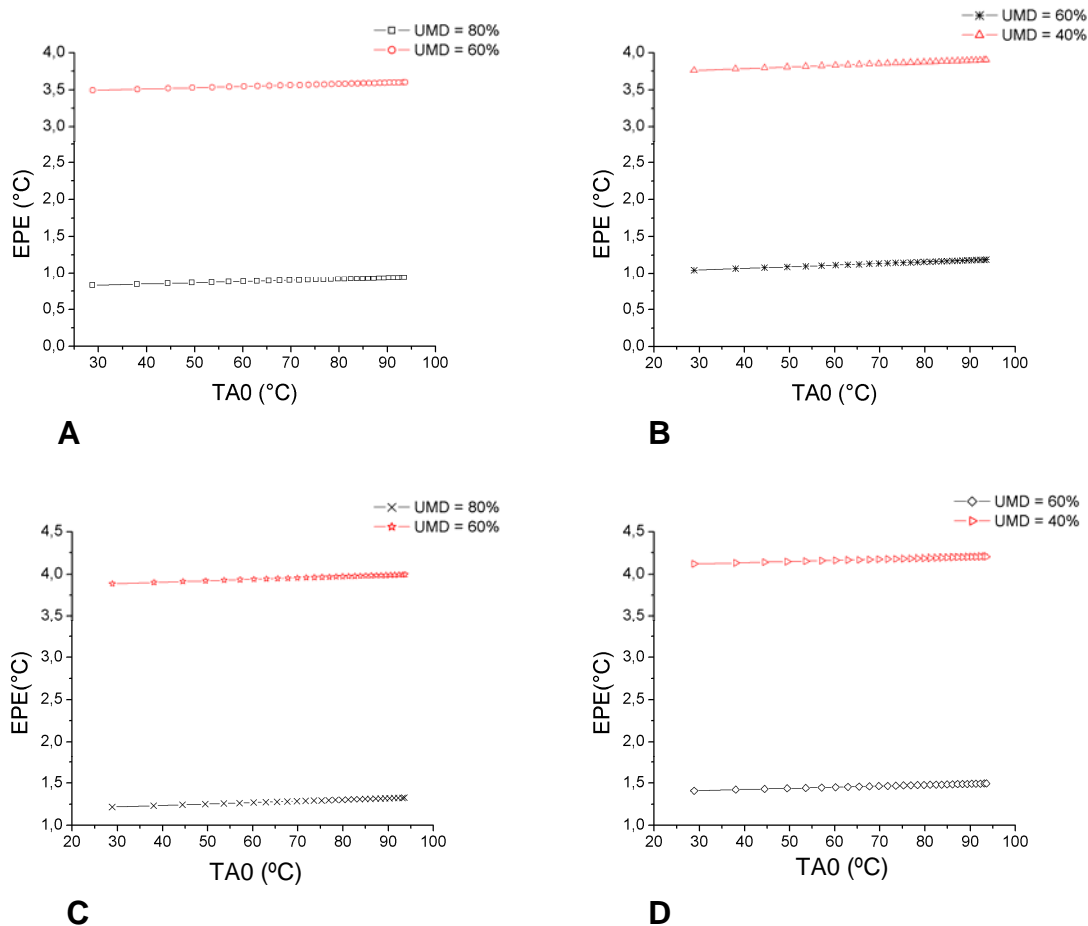


Figura 4 – EPE do leite para diferentes concentrações de umidade de sacarose e gordura: A (gordura (GRD) 2%; sacarose (SAC) 0%); B (GRD 2%; SAC 30%); C (GRD 6%; SAC 0%) e D (GRD 6%; SAC 30%).

A análise da Figura 5 indicou que o aumento na concentração de umidade provoca redução na EPE do leite, e, dessa forma, o ponto de ebulição do leite se aproxima do ponto de ebulição da água. Porém, um aumento na concentração de sólidos faz que o ponto de ebulição do leite aumente e, conseqüentemente, ocorra aumento da EPE.

A Figura 5 compara a EPE do leite para várias concentrações de gordura a uma concentração de sacarose de 30%. Para baixas concentrações de gordura, a EPE do leite, com o aumento da temperatura, é mais significativa em virtude do maior aumento de sólidos.

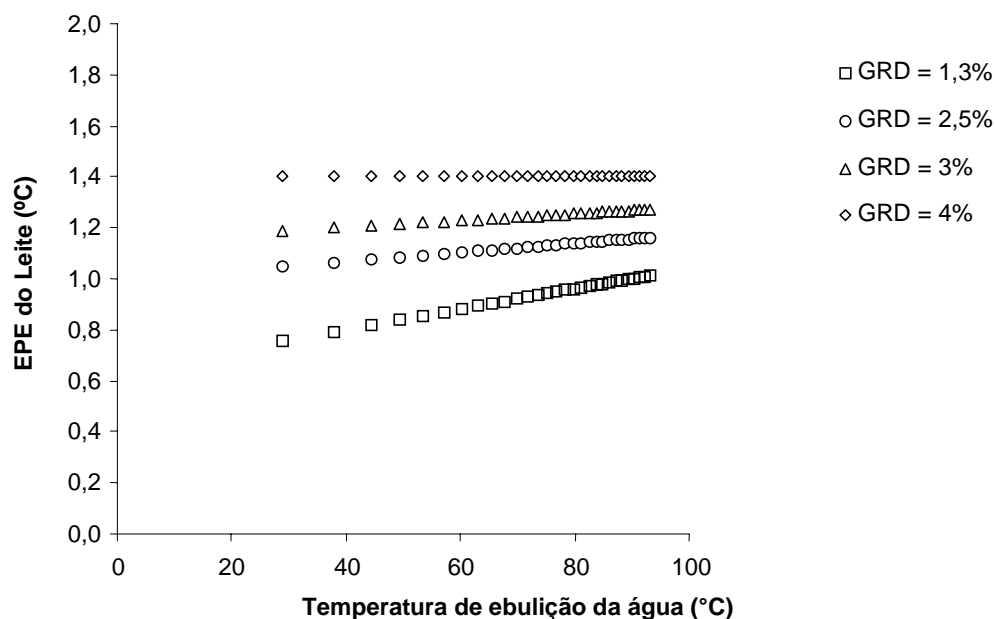


Figura 5 – Comparação da EPE para diferentes concentrações de gordura com concentração de sacarose de 30%.

4.2. Modelo de Antoine

Os dados experimentais foram utilizados para ajustar o modelo de Antoine e obter as constantes A, B e C, conforme a Tabela 5, através do comando PROC NLIN (regressão não-linear) do SAS.

Através do comando PROC REG e PROC GLM do SAS foram testados 18 modelos matemáticos (Tabela 6), para correlacionar as constantes à concentração de umidade, de sacarose e de gordura.

As análises e os testes estatísticos apontaram que apenas os modelos 6, 12 e 18 satisfizeram o nível de significância de 1% de probabilidade, demonstrando um bom ajuste em relação aos dados experimentais. As análises de variância e as estimativas dos parâmetros para os modelos 6, 12 e 18 são apresentadas no Apêndice VI.

As Eqs. 54, 55 e 56 apresentam a relação linear entre as constantes A, B e C e as concentrações de umidade, sacarose e gordura.

Tabela 5 – Parâmetros da equação de Antoine para diferentes concentrações de umidade (x1), sacarose (x2) e gordura (x3) no leite tipo A

Nº	Umidade	Sacarose	Gordura	A	B	C	R ²
1	58,50	30,00	3,80	18,19	3.761,40	223,30	1,00
2	61,50	24,00	4,10	18,40	3.882,50	228,00	1,00
3	63,00	24,00	1,30	18,42	3.900,30	229,20	1,00
4	64,00	18,00	5,70	18,07	3.680,30	219,70	1,00
5	65,00	18,00	3,40	18,52	3.956,20	231,00	1,00
6	67,50	12,00	4,80	19,32	4.455,20	249,40	1,00
7	70,50	6,00	4,90	18,59	4.002,20	232,70	1,00
8	73,00	0,00	6,50	19,15	4.339,50	244,70	1,00
9	73,50	0,00	5,50	19,11	4.308,00	243,60	1,00
10	54,50	30,00	2,50	18,79	4.133,60	238,00	1,00
11	55,00	30,00	1,50	18,70	4.075,10	235,90	1,00
12	57,50	24,00	2,90	18,90	4.200,00	240,30	1,00
13	58,00	24,00	1,70	18,70	4.077,20	236,10	1,00
14	60,00	18,00	4,00	18,81	4.137,90	237,80	1,00
15	62,00	12,00	6,30	19,02	4.267,50	242,10	1,00
16	63,50	12,00	3,20	18,85	4.159,60	238,70	1,00
17	66,00	6,00	4,60	19,39	4.487,20	249,90	1,00
18	68,50	0,00	5,70	19,03	4.263,30	241,80	1,00
19	49,50	30,00	3,00	18,75	4.089,90	235,30	1,00
20	51,50	24,00	4,80	18,49	3.932,90	229,10	1,00
21	52,50	24,00	3,30	19,45	4.536,10	251,20	1,00
22	54,00	18,00	6,10	19,12	4.325,50	243,00	1,00
23	54,50	18,00	5,40	19,32	4.445,70	247,30	1,00
24	57,50	12,00	5,90	18,38	3.871,70	226,20	1,00
25	59,00	12,00	3,00	18,28	3.808,70	224,20	1,00
26	60,00	6,00	6,60	18,36	3.858,40	225,30	1,00
27	61,00	6,00	5,00	18,86	4.150,00	236,10	1,00
28	64,50	0,00	4,20	19,30	4.399,70	244,40	1,00
29	65,00	0,00	3,50	18,66	4.025,10	231,60	1,00
30	43,50	30,00	5,50	18,71	4.079,80	234,00	1,00
31	47,00	24,00	4,50	18,59	4.002,30	231,10	1,00
32	47,50	24,00	3,90	18,14	3.739,20	221,50	1,00
33	49,50	18,00	5,80	19,08	4.273,50	239,80	1,00
34	50,00	18,00	4,90	18,55	3.965,50	229,20	1,00
35	53,00	12,00	5,00	18,24	3.779,30	222,10	1,00
36	55,50	6,00	6,10	18,58	3.994,80	230,40	1,00
37	56,00	6,00	5,30	18,43	3.903,30	227,20	1,00
38	59,00	0,00	5,60	18,72	4.069,40	232,80	1,00
39	38,00	30,00	6,90	18,09	3.725,30	220,30	1,00
40	39,00	30,00	5,20	18,27	3.820,60	224,10	1,00

Tabela 6 – Modelos matemáticos analisados no SAS para as constantes A, B e C do modelo de Antoine

Nº	Modelo	Teste F	Teste t-Student	Falta de Ajuste
1	$A = bx_2 + cx_2 + dx_3 + ex_1x_2 + fx_1x_3 + gx_2x_3 + hx_1^2 + ix_2^2 + jx_3^2$	Não-significativo a 1% de probabilidade	-	-
2	$A = bx_1 + cx_2 + dx_3 + ex_1x_2 + fx_1x_3 + gx_1^2 + hx_2x_3$	Não-significativo a 1% de probabilidade	-	-
3	$A = bx_1 + cx_2 + dx_3 + ex_1x_2 + fx_1x_3 + gx_2x_3$	Não-significativo a 1% de probabilidade	-	-
4	$A = bx_1 + cx_2 + dx_1x_2 + ex_2x_3$	Não-significativo a 1% de probabilidade	-	-
5	$A = bx_2 + cx_2x_3$	Não-significativo a 1% de probabilidade	-	-
6	$A = bx_1 + cx_2 + dx_1x_2 + ex_1^2$	Significativo a 1% de probabilidade	Significativo a 1% de probabilidade	Não-significativo a 1% de probabilidade
7	$B = bx_1 + cx_2 + dx_3 + ex_1x_2 + fx_1x_3 + gx_2x_3 + hx_1^2 + ix_2^2 + jx_3^2$	Não-significativo a 1% de probabilidade	-	-
8	$B = bx_1 + cx_2 + dx_3 + ex_1x_2 + fx_1x_3 + gx_1^2 + hx_2x_3$	Não-significativo a 1% de probabilidade	-	-
9	$B = bx_1 + cx_2 + dx_3 + ex_1x_2 + fx_1x_3 + gx_2x_3$	Não-significativo a 1% de probabilidade	-	-
10	$B = bx_1 + cx_2 + dx_1x_2 + ex_2x_3$	Não-significativo a 1% de probabilidade	-	-
11	$B = bx_2 + cx_2x_3$	Não-significativo a 1% de probabilidade	-	-
12	$B = bx_1 + cx_2 + dx_1x_2 + ex_1^2$	Significativo a 1% de probabilidade	Significativo a 1% de probabilidade	Não-significativo a 1% de probabilidade
13	$C = bx_1 + cx_2 + dx_3 + ex_1x_2 + fx_1x_3 + gx_2x_3 + hx_1^2 + ix_2^2 + jx_3^2$	Significativo a 1% de probabilidade	Significativo a 5% de probabilidade	Não-significativo a 1% de probabilidade

Continua...

Tabela 6 – Cont.

Nº	Modelo	Teste F	Teste t-Student	Falta de Ajuste
14	$C = bx_1 + cx_2 + dx_3 + ex_1x_2 + fx_1x_3 + gx_1^2 + hx_2x_3$	Não-significativo a 1% de probabilidade	-	-
15	$C = bx_1 + cx_2 + dx_3 + ex_1x_2 + fx_1x_3 + gx_2x_3$	Não-significativo a 1% de probabilidade	-	-
16	$C = bx_1 + cx_2 + dx_1x_2 + ex_2x_3$	Significativo a 10% de probabilidade	Significativo a 1% de probabilidade apenas para o intercepto	Não-significativo a 1% de probabilidade
17	$C = bx_2 + cx_2x_3$	Não-significativo a 1% de probabilidade	-	-
18	$C = bx_1 + cx_2 + dx_1x_2 + ex_1^2$	Significativo a 1% de probabilidade	Significativo a 1% de probabilidade	Não-significativo a 1% de probabilidade

$$A = 0,56180 * x_1 + 0,27209 * x_2 - 0,00471 * x_1 * x_2 - 0,00412 x_1^2 \quad 54$$

$$B = 116,71486 * x_1 + 62,70823 * x_2 - 1,11366 x_1 * x_2 - 0,79537 * x_1^2 \quad 55$$

$$C = 6,70309 * x_1 + 3,52917 * x_2 - 0,05987 * x_1 * x_2 - 0,04628 * x_1^2 \quad 56$$

O teste F nos modelos dados pelas Eqs. 54, 55 e 56 foi significativo a 1%. O teste t nos parâmetros desses modelos foi significativo a 1% somente para as variáveis umidade, sacarose, a interação umidade-sacarose e a interação umidade-umidade.

A combinação das Eqs. 5, 53, 54 e 55 conduziu ao modelo ajustado de Antoine, o qual apresentou um R² igual a 0,98, evidenciando-se a boa qualidade na correlação dos dados experimentais. O resíduo desse modelo foi de aproximadamente ± 7 , demonstrando um bom ajuste desses dados (Figura 6).

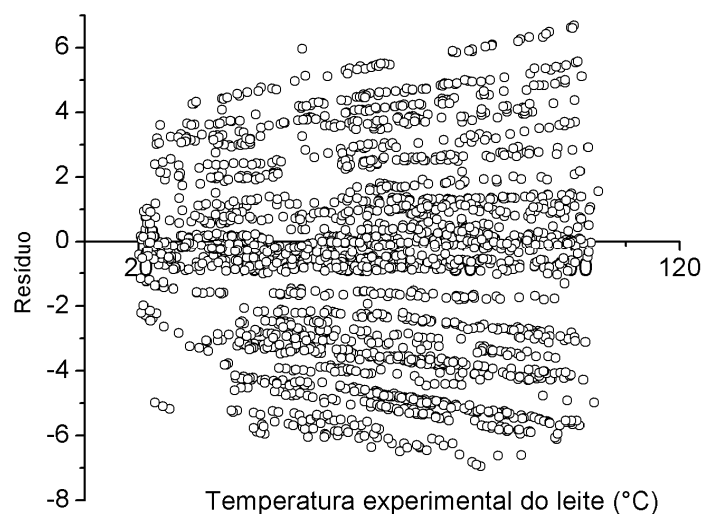
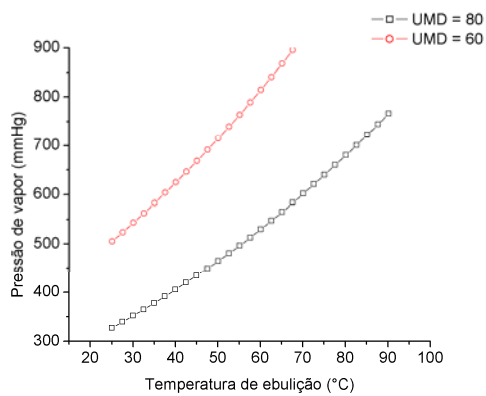


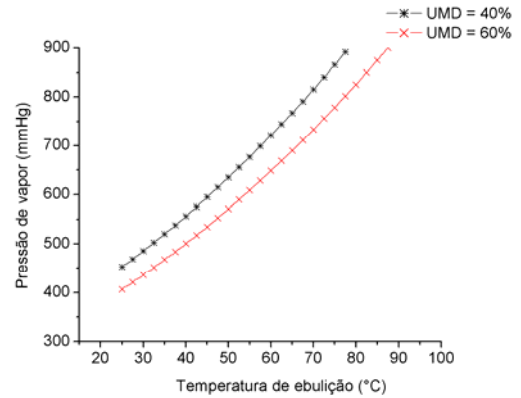
Figura 6 – Gráfica do resíduo para o modelo de Antoine.

O erro percentual médio nesse modelo foi de aproximadamente 6%, sendo considerado relativamente baixo, visto que as constantes empíricas resultam em funções complexas e somente em casos particulares, quando, por exemplo, o soluto está bastante diluído no solvente, o ponto de ebulição pode ser obtido por meio da equação de Antoine (CRAPISTE; LOZANO, 1988). Telis-Romero et al. (2002) e Montes (2004), utilizando o modelo de Antoine, estimaram os parâmetros A, B e C, mas não foi possível estabelecer uma relação entre esses parâmetros e a concentração das variáveis estudadas. No entanto, Moresi e Spinosi (1984) expressaram as constantes empíricas em função de uma fração de peso equivalente da sacarose.

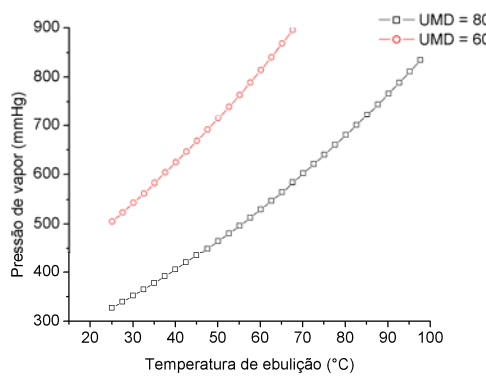
A Figura 7 ilustra as variações da pressão de vapor do leite para diferentes concentrações de gordura, sacarose e umidade. Observou-se que o aumento da umidade provocou redução na pressão de vapor do leite, e, conseqüentemente, o aumento na concentração de sólidos elevou a pressão de vapor. Esse efeito ocorre porque o leite começa a ebulir quando sua pressão de vapor é igual à pressão externa. A adição de sólidos provoca redução na pressão de vapor, e o leite só voltará a ebulir quando a pressão de vapor e, conseqüentemente, a temperatura de ebulição aumentarem.



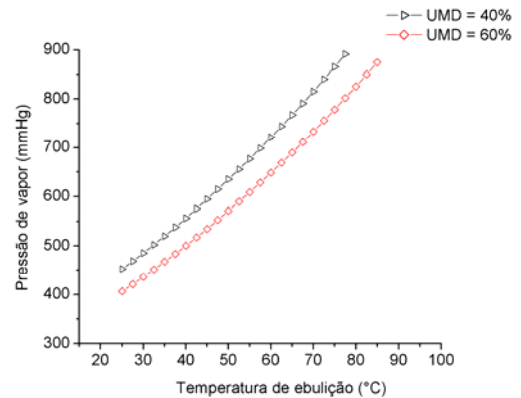
A



B



C



D

Figura 7 – Pressão de vapor do leite para várias concentrações de gordura, sacarose e umidade: A (GRD 2%; SAC 0%); B (GRD 2%; SAC 30%); C (GRD 6%; SAC 0%) e D (GRD 6%; SAC 30%).

Comparando as Figuras 7-A, com concentração de gordura igual a 2%, e 7-C, com concentração de gordura igual a 6%, pôde-se observar que o comportamento dos gráficos eram os mesmos, evidenciando, assim, que a gordura não tem efeito significativo na pressão de vapor do leite e, conseqüentemente, na EPE do leite.

A Figura 8 ilustra a comparação da pressão de vapor do leite com 30% de sacarose e várias concentrações de gordura. Ao analisar somente o efeito da gordura, observou-se que a pressão de vapor aumenta, não de forma expressiva, com o incremento da concentração de gordura. Portanto, se a gordura estivesse presente no leite em quantidades significativas, tal como a sacarose, a pressão de vapor seria influenciada por ela.

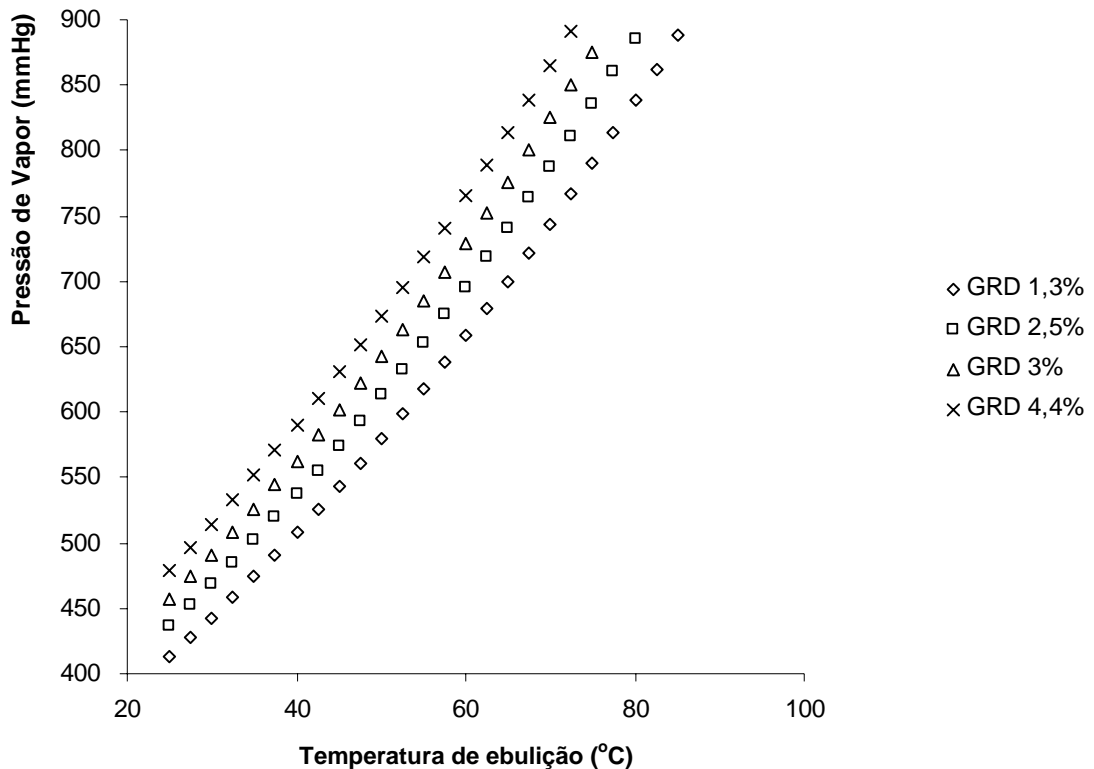


Figura 8 – Comparação da EPE do leite de várias concentrações de gordura com concentração de sacarose igual a 30%.

Embora os dados ajustados à equação de Antoine incorram em erro médio de 6%, eles podem ser usados para calcular a pressão de vapor do leite, respeitando-se os valores dos parâmetros aqui encontrados.

4.3. Desenvolvimento de software para simulação da influência da elevação da EPE do leite na determinação da área de troca em evaporadores de múltiplo efeito

A Figura 9 ilustra o diagrama de blocos do software para simulação da influência da EPE do leite na determinação da área de troca de calor em evaporadores de múltiplo efeito.

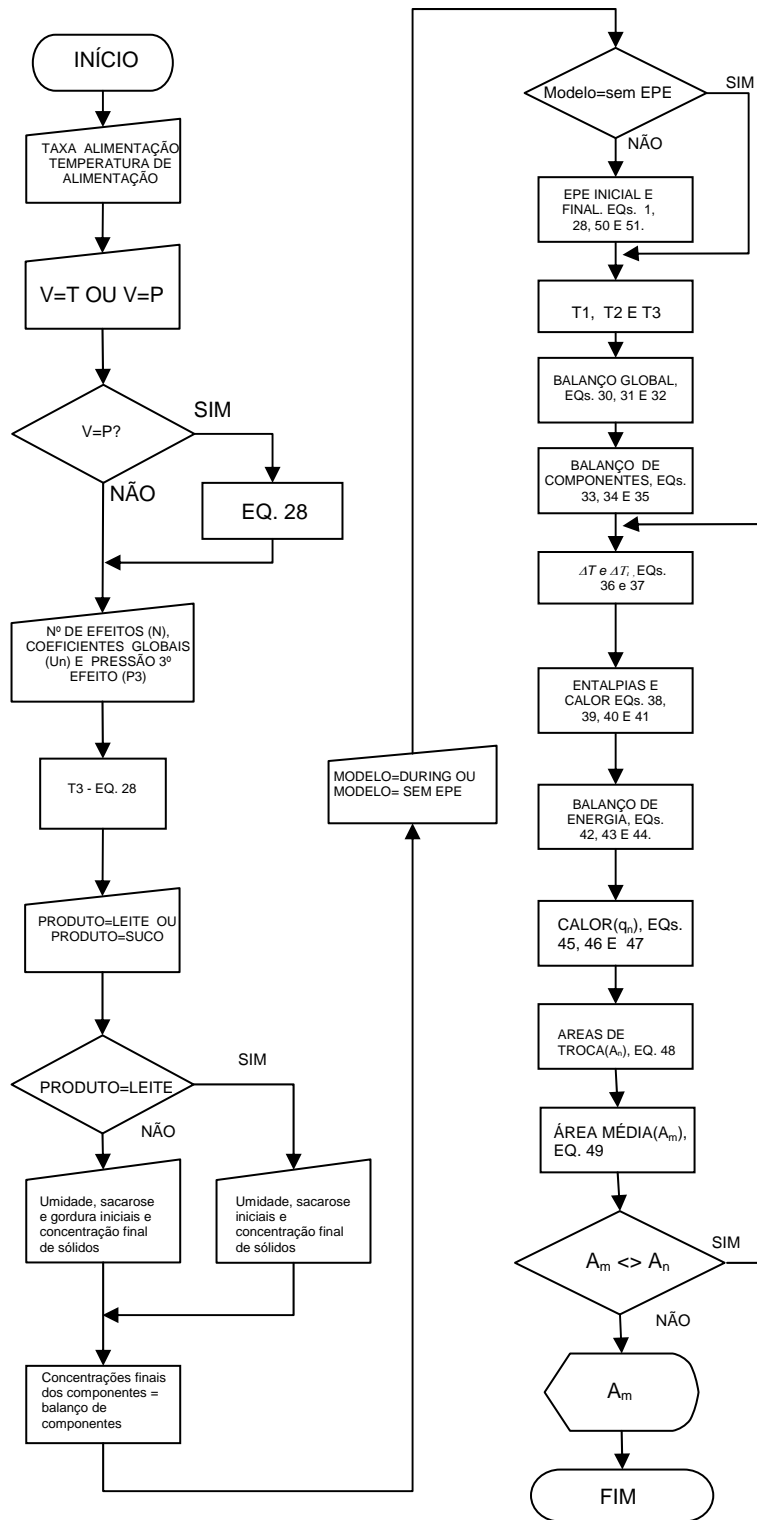


Figura 9 – Diagrama de blocos.

Conhecidos os valores de: (a) a pressão do primeiro efeito e do último efeito; (b) o fluxo e as condições de alimentação do leite; (c) a concentração final no líquido que deixa o último efeito; (d) propriedades físicas do vapor e do líquido, como entalpia e calor específico e (e) o coeficiente global de transferência de calor em cada efeito, foram determinadas a área de troca de calor em cada efeito do evaporador e a economia de vapor, através da resolução do sistema de Eqs. 26-49, por meio do software.

Durante a simulação, foi notado que as áreas não eram aproximadamente iguais, por isso outras tentativas foram realizadas. Nesse caso, os novos valores da quantidade de vapor e a taxa de alimentação do leite, obtidos em cada cálculo, foram utilizados para determinar a concentração de sólidos em cada efeito. Os novos valores da queda de temperatura foram obtidos a partir da Eq. 56.

$$\Delta T'_n = \frac{\Delta T_n A_n}{A_m} \quad 56$$

O software desenvolvido apresentou as seguintes características:

1 – Tela de informação de dados – Permite a digitação dos dados de entrada do produto (temperatura e taxa de alimentação), do vapor (pressão ou temperatura), do evaporador (número de efeitos, coeficientes globais e as pressões de cada efeito), da escolha do modelo para EPE (modelo de Dürhing, modelo da sacarose e sem EPE), das concentrações iniciais de cada componente sólido (gordura e sacarose) e das concentrações inicial e final de sólidos. Através de um balanço de massa de componentes, são determinadas as concentrações de cada componente na fase final. As condições utilizadas para simulação são apresentadas Tabela 7.

No item Dados do Vapor existe a opção de escolha do campo do dado de entrada, temperatura ou pressão, sendo que o último é convertido em temperatura, através da Eq. 28.

Tabela 7 – Condições utilizadas para simulação da área de troca de calor em evaporador de múltiplo efeito

Variáveis	Valores	Fonte
Taxa de alimentação	2.000 a 10.000 kg/h	Ribeiro e Andrade (2001) e Renaudin et al. (2005)
Temp. do vapor de alimentação	121 °C	
Pressão de vapor no 3º efeito	13,4 Kpa	
Concentração inicial	10%	
Concentração final	30%	
U1 - 1º efeito	3.123 W/m².K	Prost et al. (2006)
U2 - 2º efeito	1.987 W/m².K	Prost et al. (2006)
U3 - 3º efeito	1.136 W/m².K	Prost et al. (2006)
Temp. Alimentação do Leite	10 a 50 °C	Sebastian e Nadeau (2002)

No campo Efeitos, deve-se informar a quantidade de unidades ou efeitos que compõem o sistema de evaporação, pois os campos de Coeficiente Global e Pressão dos Efeitos dependem dessa variável. Se for informado da existência de n efeitos, o software solicitará os valores de n coeficientes globais e a pressão em cada efeito.

No campo Produto, pode-se escolher entre leite e sucos. Se o item desejado for leite, a opção gordura estará disponível para informação do valor; caso contrário, a opção estará inativada.

No item Modelo do Calculo da EPE, pode-se escolher qualquer um dos modelos apresentados, sendo necessário conhecer previamente os parâmetros, ou suas funções, do modelo.

Tela de concentração de sólidos – A tela é ativada quando se seleciona cada uma das composições do produto. O software solicita a concentração inicial de cada componente e as concentrações inicial e final de sólidos desejadas.

Tela de modelos matemáticos ajustados – Permite digitar o modelo de Dühring com os parâmetros ajustados em função da concentração de sólidos do produto. Moresi e Spinosi (1980) utilizaram o modelo de Dühring para

avaliar EPE no suco de laranja concentrado Montes (2001), aplicou o modelo de Dühring para determinar a EPE da lactose, e Telis-Romero et al. (2002) avaliaram a EPE do extrato de café. Os parâmetros do modelo de Dühring, ajustados por Moresi e Spinosi (1980), Montes (2001) e Telis-Romero (2002) podem ser utilizados para simular o processo de concentração de suco de laranja, soluções de lactose e extrato de café no software desenvolvido.

Na Tabela 8, apresentam-se as variáveis de saídas calculadas pelo software para um fluxo mássico de 6.000 kg/h, a uma temperatura de 26,7 °C.

Tabela 8 – Variáveis de saída do software para um fluxo mássico de leite de 6.000 kg/h e temperatura de 26,7 °C

Corrente	Temp (°C)	Temp. de sat. (°C)	Concentração		Entalpia (kJ/kg)	Fluxo mássico (kg/h)
			Sólidos	Umd		
Vapor	121,24	121,24	-	-	2.707,95	1.585,00
Leite concentrado - efeito I	107,51		0,24	0,76	1.807,53	4.415,56
Vapor - efeito I	121,24	107,51	-	-	2.687,63	1.584,44
Leite concentrado - efeito II	85,20		0,35	0,65	915,53	3.078,64
Vapor - efeito II	107,15	85,20			2.652,37	1.336,92
Leite concentrado - efeito III	50,97		0,55	0,45	291,45	1.963,64
Vapor - efeito III	84,62	50,97			2.593,95	1.115,00

A variação no fluxo mássico não provocou variações nas temperaturas das correntes, na temperatura de saturação e nas concentrações de sólidos e umidade, diferentemente da entalpia e do fluxo mássico.

A Figura 10 mostra o comportamento da área de troca de calor quando ocorrem variações na taxa de alimentação e na temperatura de entrada.

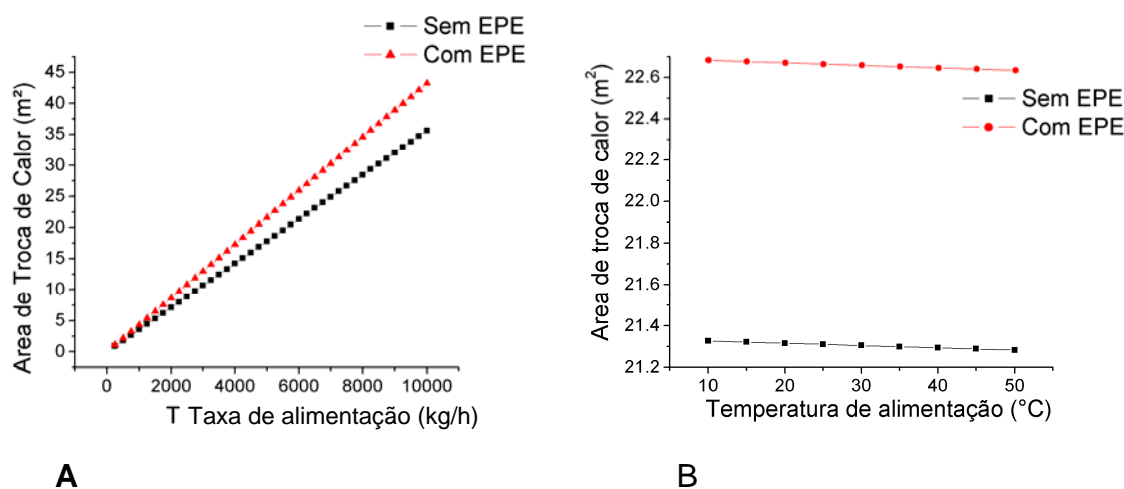


Figura 10 – Efeito da EPE na área de troca de calor para evaporação de leite: (A) Efeito da taxa de alimentação e (B) Efeito da temperatura da alimentação.

Quando se considera a EPE do leite, a quantidade de calor transferida em cada efeito diminui com o aumento dessa propriedade devido a uma redução do gradiente de temperatura. Conseqüentemente, para uma mesma massa de água evaporada há a necessidade de se aumentar a área do evaporador. Esse efeito se torna mais evidente à medida que a taxa de alimentação aumenta. Ozturk e Alkan (2004), simulando uma área ótima para evaporadores a vácuo a partir do método analítico, e Sebastian e Nadeau (2002), o processo de evaporação em evaporadores de múltiplo efeito, notaram o aumento na área de troca com a elevação do fluxo de alimentação.

Em média, considerando uma taxa de alimentação de 6.000 kg/h, valores de temperatura variando entre 10 e 50 °C e a ausência de EPE, a economia de vapor é de 2.85 kg de vapor produzido durante o processo para

cada quilo de vapor fornecido, enquanto ao ser considerada a ocorrência da EPE a economia de vapor é, em média, 2.70 kg de vapor produzido por kg de vapor fornecido. No entanto, considerando uma taxa de alimentação variando entre 2.000 e 10.000 kg/h, com uma temperatura de 20 °C, a economia de vapor é constante, pois aumento na taxa de alimentação demandará também aumento na vazão do vapor de alimentação e, conseqüentemente, mais vapor será gerado. O aumento de vapor gerado é proporcional ao vapor fornecido, e, dessa forma, a razão entre a taxa de alimentação e o vapor gerado é mantida. Assim, a economia de vapor não é influenciada pela taxa de alimentação, mas somente pela temperatura de alimentação e pela quantidade de efeitos, conforme descrito por MacCabe et al. (1993).

5. CONCLUSÃO

Foram obtidos dados da EPE do leite para faixa de temperatura de 25 a 100 °C, com concentração de sacarose variando de 0 a 30%, gordura de 1,30 a 6,60%, umidade de 47 a 73,50% e pressão operacional de 35 a 720 mmHg.

Os dados experimentais foram adequadamente ajustados ao modelo de Dürhing, considerando-se o efeito da pressão operacional. Foram testados oito modelos lineares, para estabelecer a relação de dependência entre a EPE e as concentrações de umidade, sacarose e gordura. Dois modelos foram estatisticamente significativos a 1% de probabilidade, pelo teste F. O teste t, de Student, nos parâmetros foi significativo também a 1% de probabilidade.

Verificou-se que a EPE do leite é influenciada pela concentração de umidade e de sacarose. Com o aumento na concentração de umidade, o ponto de ebulição do leite se aproxima do ponto de ebulição da água, ocorrendo redução na EPE do leite. No entanto, a adição de sacarose provoca diminuição na pressão de vapor do leite e, conseqüentemente, aumento na temperatura de ebulição do leite, conduzindo ao aumento da EPE.

A concentração de gordura não foi suficiente para contribuir, de forma significativa, para EPE do leite. A análise indicou que baixas concentrações de gordura não influencia a EPE do leite. Se gordura estivesse presente no leite em quantidades suficientemente elevadas, sua contribuição seria tão significativa quanto à da sacarose.

Foi avaliada a influência da EPE tanto da determinação da área de troca de calor quanto da economia de vapor em evaporadores de múltiplo efeito. Verificou-se que a presença da EPE conduz a uma diminuição progressiva na diferença de temperatura e, conseqüentemente, na taxa de transferência de calor. Para compensar essa redução, é necessário o aumento da área de troca de calor, dependendo da capacidade exigida. A economia de vapor, no entanto, não é influenciada pela EPE do leite, porém o aumento na temperatura de alimentação pode contribuir para o incremento na economia de vapor. Esses dois fatores, associados à EPE do leite, podem contribuir, de forma vantajosa, para maior eficiência no projeto de plantas de evaporação.

6. REFERÊNCIAS

ANUALPEC. **Anuario da pecuária brasileira**. [S.l.]: Instituto FNP, 2005. 340 p.

AOAC – ASSOCIATION OF ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of AOAC international**. 16th. ed. Washington: AOAC, 1995. 109 p.

ABDERAFI, S.; BOUNAHMIDI, T. Measurement and estimation of vapor-liquid equilibrium for industrial sugar juice using the Peng-Robinson equation of state. **Fluid Phase Equilibria**, v. 162, p. 225-240, 1999.

ALHUSSEINI, A. A.; CHEN, J. C. Transport phenomena in turbulent falling film evaporators. **Ind. Eng. Chem. Res.**, v. 39, p. 2091-2100, 2000.

BENNET, C. O.; MYERS, J. E. **Fenômenos de transporte** – Quantidade de movimento, calor e massa. São Paulo: MacGraw-Hill, 1978.

BRENNAN, J.G.; BUTTERS, J. R.; COWELL, N. D.; LILLY, A. E. **Food engineering operation**. 2th. ed. Londres: Applied Science Publishers Limited, 1976.

BROMLEY, L. A. **Heat Transfer in Stable Film Boiling**, **Chem. Eng. Progress**, v. 46, p. 221-227, 1950.

BROWN, G.G. et al. **Operaciones básicas de la ingeniería química**. Nicaragua: Editora Marin S.A., 1985.

CAMPBELL, J. R.; MARSHALL, R. T. **The science of providing milk for man**. New York: MacGraw-Hill, 1975.

CHATO, J. C., **J. Am. Soc. Refrig. Air Cond. Eng.**, p. 52, fev. 1962.

CIÊNCIA DO LEITE. **Homepage service:** <www.cienciadoleite.com.br>. Acesso em: maio 2005.

CRAPISTE, G. H.; LOSANO, J. E. Effect of concentration and pressure on the boiling point rise of apple juice in related sugar solutions. **Food Journal Science**, v. 53, p. 867, 1988.

DICKERSON, R. W., JR. An apparatus for measurement of thermal diffusivity of foods. **Food Technol.**, v. 19, p. 198-204, 1965.

ELHAQ, S. L.; GIRI, F.; UNBEHAUEN, H. Modelling, identification and control of sugar evaporation – theoretical design and experimental evaluation. **Control Engineering Practice**, v. 7, p. 931-942, 1999.

EMBRAPA, **Homepage service:** <www.cnpq.embrapa.br/producao/07consumoA>. Acesso em: mar. 2005.

FOUST, A. S.; WENZEL, L.A.; CLUMP, C. W.; MAUS, J.; ANDERSON, L. B. **Principles of unit operations**. New York: John Wiley & Sons, 1983.

FURTADO, M.A.M.; GOMES, J.C.; SILVA, C.A.S.; ORNELLAS, C.B.; SILVESTRE, M.P.C. Propriedades funcionais de hidrolisados de proteína láctea co-precipitada. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 25, n. 3., p. 625-639, 2001.

GEANKOPLIS, C. J. **Transport process and unit operations**. 3rd. ed. Englewood Cliffs: Prentice-Hall Inc., 1993. 921p.

GILLES, M. T. **Dehydration of natural and simulated dairy products**. New Jersey: Noyes Data Corporation, 1974.

HELDMAN, D.R.; SINGH, R.P. **Food process engineering**. 2nd. ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1981.

ILANGANTILEKE, S.G.; RUBA JR., A.B.; JOGLEKAR, H.A. Boiling point rise of concentrated thai tangerine juices. **Journal of Food Engineering**, v.15, p. 235, 1991.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL DE MINAS GERAIS. **Homepage Service:** <www.indi.mg.gov.br/publicacoes/Laticinios%2020-03.pdf>. Acesso em: jun. 2005.

KINSELLA, J.E. **Milk proteins: physicochemical and functional properties critical review in food science and nutrition**, v. 21, p. 197-262, 1984.

KREITH, F. **Princípios da transmissão de calor**. Tradução da 3^a edição americana. São Paulo: Ed. Edgard Blücher Ltda., 1977. 550 p.

MADALENA, F. E.; MATOS, L.; JÚNIOR, E. V. H. **Produção de leite e sociedade**. Belo Horizonte: Editora FEPMVZ, 2001.

McADAMS, W. H. **Transmission de calor**. 3nd. ed. New York: MacGraw-Hill Book Company, Inc., 1967.

McCABE, W. L.; SMITH, J. C.; HARRIOT, P. **Unit operation of chemical engineering**. 5nd. ed. São Paulo: MacGraw-Hill, 1993.

MINIM, L. A.; COIMBRA, J. S. R.; MINIM, V. P. R.; TELIS-ROMERO, J. Influence of temperature and water and fat contents on the thermophysical properties of milk. **J. Chem. Eng. Data**, v. 47, p. 1488-1491, 2002.

MONTES, E. J. M. **Influência das variáveis de processo sobre a cristalização da lactose**. VIÇOSA, MG: UFV, 2004. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MORESI, M.; SPINOSI, M. Engineering factors in the production of concentrated fruit juices. 1. Fluid physical properties of orange juices. **Journal of Food Technology**, v. 15, p. 265, 1980.

MORESI, M.; SPINOSI, M. Physical properties of concentrated apple juices. **Engineering Sciences in the Food Industry**, v. 1, p. 475, 1984.

MUTILANGI, W.A.M.; PANYAM, D.; KILARA, A. Functional properties of hydrolysates from proteolysis of heat-denatured whey protein isolate. **Journal of Food Science**, v. 61, n. 2, p. 270-303, 1996.

NETZ, P. A.; ORTEGA, G.G. **Fundamentos da físico-química**. Porto Alegre: Artmed Editora, 2002.

NIELSEN, P.M. Functionality of protein hydrolyses. In: DAMODARAM, S.; PARAF, A. (Eds.). **Food proteins and their applications**. New York: Macel Dekker, Inc., 1997. Cap. 15, p. 443-472.

ÓCON, J.; VIAN, A. **Elementos de ingeniería química**. 5. ed. Madrid: Editora Aguiar, 1967.

ORGANIZAÇÃO DAS COOPERATIVAS BRASILEIRAS. **O cooperativismo na mídia**. Homepage service: <http://www.ocb.org.br/ocb_interativa/coop_na_midia/janeiro/a2003m01d10-a.htm>. Acesso em: jun. 2005.

OZTURK, R.; ALKAN, A. D. **Determination of optimum heat transfer area for vacuum evaporators in ships**. [S.l.: s.n.].

PENNISI, S. N.; LIOW, J.; SCHNEIDER, P. A. **CFD model development for sugar mill evaporators**. Third Internacional Conference on CFD in the Minerals and Process Industries. Melbourne, Austrália, 2003.

PERES, A. M.; MACEDO, E. A. Prediction of thermodynamic properties using a modified unifac model: application to sugar industrial systems. **Fluid Phase Equilibria**, v. 158-160, p. 391-399, 1999.

PERES, A. M.; MACEDO, E. A. A modified unifac model for the calculation of thermodynamic properties of aqueous and non-aqueous solutions containing sugar. **Fluid Phase Equilibria**, p. 47-74, 1997.

PERRY, R.; CHILTON, C. **Manual de engenharia química**. 5th. ed. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Dois, 1986.

PETERS, M. S.; TIMMERSHAUS, K. D. **Plant design and economics for chemical engineers**. 2th. ed. New York: MacGraw-Hill Book, Company, 1968.

POTTER, N. N. Hotchkiss, **Food science**. 5th. ed. Nova York: Chapman & Hall, 1995.

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

REDDY, C.H.; DATTA, A. K. Thermophysical properties of concentrated reconstituted milk dühring processing. **J. Food Eng.**, v. 21, p. 31-40, 1994.

RENAUDIN, F. K.; ALONSO, D.; HORNUT, J. M.; WEBER, M. Experimental study of a three-effect plate evaporator: seawater tests in la spezia. **Desalination**, v. 182, p. 175-186, 2005.

REVISTA GLOBO RURAL. **Homepage service**: <<http://revistagloborural.globo.com/GloboRural/0,6993,EEC957749-1641-2,00.html>>. Acesso em: jun. 2005.

RIBEIRO, C. P.; ANDRADE, M. H. A heat transfer model for the steady-state simulation of climbing-falling-film plate evaporators. **Journal of Food Engineering**, v. 54, p. 309-320, 2002.

SAS INSTITUTE INC. **SAS User's guide statistics**. Version 8. ed. North Caroline, Cary: 1999.

SEBASTIAN, P.; NADEAU, J. P. Experiments and modeling of falling flash evaporators for vintage treatment. **International Journal of Thermal Science**, v. 41, p. 269-280, 2002.

SMITH, J. M.; NESS, H. C. V.; ABBORT, M.M. **Introdução à termodinâmica da engenharia química**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2002.

SPREER, E. **Milk and dairy product technology**. [S.l.]: Marcel Dekker, Inc., 1998.

STEFANOV, Z. I.; HOO, K. A. Distributed parameter model of black liquor falling-film evaporators. 2. modeling of a multiple-effect evaporator plant. **American Chemical Society**, v. 43, p. 8117-8132, 2004.

TELIS-ROMERO, J.; GABAS, A. L.; POLIZELI, M. A.; TELIS, V. R. N. Temperature and water content influence on thermophysical properties of coffee extract. **International Journal of Food Properties**, v. 3, p. 375, 2000.

TELIS-ROMERO, J.; CABRAL, R. A. F.; KRONKA, G. Z.; TELIS, V. R. N. Elevation on boiling point of coffee extract. **Braz. J. Chem. Eng.**, v. 19, p. 119-126, 2002.

VARNAM, A. H.; SUTHERLAND, J. P. Leches y productos lácteos – tecnología química y microbiología. Zaragoza, España: Editora Acríbia S.A., 1995. v. 1. (Serie Alimentos Básicos).

VARSHNEY, N. N.; BARHATE, V. D. Effect of concentrations and vacua on boiling points of fruit juices. **Journal of Food Technology**, v. 13, p. 225, 1978.

YUGE, T. Experiments on heat transfer from spheres including combined natural and forced convection. **J. Heat Transfer**, v. 82, p. 214-220, 1960.

YOUNG, B. R.; ALLEN, R. M. Multi-input, multi-output identification of a pilot-plant climbing film evaporator. **Control Eng. Practice**, v. 3, p. 1067-1073, 1995.

ZAMAN, A. A.; McNALLY, T. W.; FRICKE, A. L. Vapor pressure and boiling point elevation of slash pine black liquor: predictive models With Statistical Approach. **Industrial Engineering Chemical Research**, v. 37, p. 277, 278, 1998.

APÊNDICES

APÊNDICE I

Neste apêndice, apresentam-se os dados experimentais da elevação do ponto de ebulição do leite para diferentes concentrações de umidade, sacarose, gordura e pressão operacional.

Tabela I.1 – Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 58,5% de umidade, 30% de sacarose e 3,8% de gordura

Ensaio 1		Ensaio 1A		Ensaio 1B	
P(mmHg)	T(°C)	P(mmHg)	T(°C)	P(mmHg)	T(°C)
49,90	39,90	47,90	39,10	49,80	39,90
80,80	49,20	75,20	47,80	66,90	45,50
120,90	57,60	127,40	58,70	138,00	60,40
126,70	58,50	113,80	56,20	94,60	52,40
149,30	62,00	145,20	61,40	166,50	64,40
185,70	66,90	196,80	68,20	185,50	66,80
187,90	67,10	204,90	69,00	166,00	64,30
214,60	70,10	208,30	69,50	241,30	72,80
208,30	69,40	196,20	68,00	185,00	66,70
247,20	73,40	211,70	69,80	193,40	67,80
242,90	72,90	201,60	68,70	213,90	70,00
255,40	74,10	271,60	75,60	239,40	72,60
300,60	78,00	256,00	74,20	248,20	73,50
290,40	77,20	319,00	79,40	289,60	77,10
338,20	80,90	409,20	85,60	437,00	87,30
401,90	85,20	339,90	81,00	298,30	77,80
454,10	88,30	369,90	83,10	358,00	82,30
447,30	87,90	478,10	89,60	511,30	91,40
474,10	89,40	399,50	85,00	440,70	87,50
542,20	93,00	600,40	95,70	579,80	94,70
598,00	95,60	466,70	89,00	436,10	87,30
702,10	100,00	834,80	104,90	695,90	99,70
709,70	100,20	661,10	98,30	533,60	92,50

Tabela I.2 – Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 61,5% de umidade, 24% de sacarose e 4,1% de gordura

Ensaio 2		Ensaio 2A		Ensaio 2B	
P(mmHg)	T(°C)	P(mmHg)	T(°C)	P(mmHg)	T(°C)
48,80	39,40	59,90	43,20	56,30	42,00
70,00	46,30	80,20	48,90	68,20	45,70
149,70	62,00	209,40	69,40	171,50	65,00
92,30	51,80	72,30	46,90	85,50	50,20
157,20	63,00	112,50	55,90	143,70	61,10
160,10	63,40	179,30	65,90	164,60	64,10
139,70	60,40	106,50	54,80	115,40	56,40
256,40	74,10	308,70	78,50	239,90	72,50
174,50	65,30	117,10	56,70	120,50	57,30
166,80	64,40	221,90	70,70	203,50	68,80
178,30	65,80	158,90	63,20	145,70	61,30
254,50	73,90	211,50	69,70	224,90	71,10
212,50	69,80	239,50	72,50	239,50	72,50
318,10	79,20	246,30	73,20	306,90	78,40
532,20	92,30	497,00	90,50	497,00	90,50
289,00	76,90	327,80	79,90	288,60	76,90
382,00	83,80	464,90	88,70	355,80	81,90
565,80	93,90	528,10	92,10	443,20	87,50
426,20	86,50	373,00	83,10	425,60	86,40
540,90	92,70	579,20	94,50	470,00	89,00
368,10	82,80	509,80	91,10	477,60	89,40
561,10	93,60	488,80	90,10	410,10	85,50
571,20	94,10	707,20	100,00	608,60	95,90

Tabela I.3 – Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 63,0% de umidade, 24,0% de sacarose e 1,3% de gordura

Ensaio 3		Ensaio 3A		Ensaio 3B	
P(mmHg)	T(°C)	P(mmHg)	T(°C)	P(mmHg)	T(°C)
49,80	39,30	51,90	40,00	54,10	40,80
66,90	44,90	59,80	42,70	54,80	41,10
138,00	59,80	149,70	61,50	145,60	60,90
149,10	61,40	122,40	57,20	179,00	65,40
166,50	63,80	191,60	66,90	209,10	68,90
185,50	66,20	175,00	64,90	170,00	64,30
166,00	63,80	135,70	59,40	128,50	58,20
241,30	72,20	280,70	75,80	239,50	72,00
185,00	66,10	174,50	64,80	146,50	61,00
193,40	67,20	177,00	65,10	187,50	66,40
213,90	69,40	227,00	70,80	194,80	67,30
239,40	72,00	211,70	69,20	205,50	68,50
248,20	72,90	240,70	72,10	255,80	73,50
289,60	76,50	263,30	74,30	288,80	76,50
437,00	86,70	467,10	88,40	451,50	87,60
298,30	77,20	262,50	74,10	246,60	72,70
358,00	81,60	346,50	80,80	294,10	76,90
511,30	90,80	547,10	92,60	443,60	87,10
440,70	86,90	486,80	89,40	520,70	91,20
579,80	94,10	560,10	93,20	470,30	88,60
436,10	86,60	407,80	84,90	450,00	87,40
695,90	99,10	582,00	94,20	454,50	87,70
759,50	101,50	611,30	95,50	725,20	100,20

Tabela I.4 – Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 64,0% de umidade, 18,0% de sacarose e 5,7% de gordura

Ensaio 4		Ensaio 4A		Ensaio 4B	
P(mmHg)	T(°C)	P(mmHg)	T(°C)	P(mmHg)	T(°C)
56,40	42,30	58,80	43,10	65,40	45,10
50,40	40,10	45,50	38,20	48,20	39,30
141,60	60,90	153,70	62,70	181,40	66,40
189,60	67,40	154,00	62,70	133,80	59,70
228,50	71,60	265,40	75,10	219,70	70,70
165,20	64,20	156,00	63,00	165,00	64,20
121,70	57,70	100,90	53,70	88,90	51,20
205,20	69,10	237,60	72,50	260,20	74,60
123,90	58,00	117,50	56,90	97,60	53,00
198,70	68,40	181,80	66,40	209,80	69,60
167,90	64,60	177,70	65,90	167,70	64,50
199,40	68,50	177,10	65,80	162,30	63,90
272,00	75,60	263,60	74,90	280,40	76,40
317,20	79,40	288,00	77,00	253,60	74,00
436,60	87,30	466,60	89,00	451,10	88,10
231,90	71,90	205,10	69,10	217,60	70,40
250,60	73,70	243,00	73,00	266,20	75,10
361,60	82,50	385,80	84,10	373,30	83,30
557,30	93,60	617,30	96,40	575,50	94,50
396,30	84,70	383,40	83,90	396,20	84,70
497,20	90,60	464,40	88,80	548,10	93,20
357,50	82,10	526,20	92,00	491,30	90,20
759,50	102,20	611,30	96,10	550,20	93,40

Tabela I.5 – Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 65,0% de umidade, 18,0% de sacarose e 3,4% de gordura

Ensaio 5		Ensaio 5A		Ensaio 5B	
P(mmHg)	T(°C)	P(mmHg)	T(°C)	P(mmHg)	T(°C)
51,20	40,10	48,10	38,90	45,30	37,70
73,00	46,90	69,70	46,00	66,60	45,10
78,60	48,30	77,90	48,20	74,40	47,20
81,70	49,10	84,30	49,80	90,60	51,20
116,70	56,40	105,00	54,20	94,80	52,10
149,00	61,70	133,60	59,20	113,30	55,80
158,40	62,90	157,50	62,90	166,60	64,10
174,60	65,10	177,70	65,50	170,80	64,60
183,00	66,10	184,90	66,40	172,70	64,90
215,40	69,90	198,20	67,90	179,20	65,70
223,90	70,80	208,20	69,10	195,90	67,70
231,00	71,40	228,60	71,20	200,10	68,10
243,10	72,60	241,00	72,40	217,50	70,00
285,40	76,40	244,90	72,80	242,80	72,60
292,00	77,00	254,20	73,70	268,00	74,90
298,40	77,40	276,50	75,60	268,40	74,90
361,20	82,20	385,40	83,70	380,60	83,40
409,50	85,20	451,20	87,70	396,30	84,40
436,20	86,90	451,90	87,80	411,50	85,40
458,90	88,10	463,20	88,40	432,80	86,60
495,90	90,20	505,40	90,60	499,30	90,40
536,90	92,30	531,10	92,00	641,10	97,00
649,00	97,30	541,50	92,50	649,70	97,50

Tabela I.6 – Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 64,0% de umidade, 18,0% de sacarose e 5,7% de gordura

Ensaio 6		Ensaio 6A		Ensaio 6B	
P(mmHg)	T(°C)	P(mmHg)	T(°C)	P(mmHg)	T(°C)
45,20	37,90	48,00	39,00	50,90	40,10
71,10	46,60	51,90	40,50	44,80	37,80
60,40	43,40	67,60	45,50	60,40	43,30
85,90	50,30	76,10	47,80	67,70	45,50
76,00	47,80	79,60	48,80	89,50	51,20
92,10	51,70	87,70	50,70	83,50	49,80
161,60	63,60	119,50	57,20	101,90	53,90
156,20	62,80	148,40	61,80	136,50	59,90
141,10	60,70	165,20	64,10	174,80	65,30
177,90	65,70	198,50	68,20	216,70	70,20
220,40	70,60	205,20	68,90	237,60	72,20
182,00	66,20	210,00	69,40	222,90	70,80
198,10	68,10	228,70	71,40	202,40	68,60
309,80	78,60	234,00	71,90	248,60	73,30
284,90	76,60	283,50	76,40	266,20	75,00
259,10	74,30	312,80	78,80	344,00	81,20
302,20	77,90	331,80	80,20	301,00	77,80
366,50	82,60	374,00	83,20	453,70	88,10
425,00	86,40	411,10	85,60	397,60	84,70
366,20	82,60	430,60	86,60	507,50	90,90
571,60	94,10	591,60	95,00	612,30	95,90
708,70	100,00	660,10	97,90	615,20	96,00
733,00	101,00	707,40	100,00	682,90	99,00

Tabela I.7 – Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 70,5% de umidade, 6,0% de sacarose e 4,9% de gordura

Ensaio 7		Ensaio 7A		Ensaio 7B	
P(mmHg)	T(°C)	P(mmHg)	T(°C)	P(mmHg)	T(°C)
39,00	35,30	37,60	34,60	33,70	32,60
54,10	41,30	50,80	40,10	46,80	38,60
54,10	41,20	49,80	39,70	51,80	40,40
60,50	43,30	64,50	44,60	61,60	43,70
79,60	48,90	69,00	46,00	61,70	43,90
87,40	50,80	85,30	50,20	91,70	51,70
101,00	53,70	96,00	52,70	100,90	53,60
125,70	58,20	132,60	59,30	129,10	58,80
179,60	65,90	195,80	67,80	151,00	62,10
185,10	66,50	159,80	63,40	169,70	64,60
236,70	72,20	202,90	68,70	213,70	69,90
236,90	72,20	196,90	68,00	215,20	69,90
250,00	73,50	214,00	69,90	227,10	71,20
264,30	74,70	281,10	76,20	250,50	73,40
273,50	75,50	256,80	74,00	272,40	75,50
276,20	75,80	235,80	72,10	299,20	77,70
378,70	83,50	366,50	82,70	310,60	78,60
384,70	83,90	410,70	85,50	335,40	80,50
553,00	93,30	592,10	95,10	517,60	91,30
573,70	94,10	679,80	98,70	528,70	92,10
600,10	95,40	468,20	88,90	571,90	94,10
633,90	96,90	703,10	99,70	587,80	94,90
659,20	98,00	707,20	99,90	682,60	99,00

Tabela I.8 – Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 73,0% de umidade, 0,0% de sacarose e 6,5% de gordura

Ensaio 8		Ensaio 8A		Ensaio 8B	
P(mmHg)	T(°C)	P(mmHg)	T(°C)	P(mmHg)	T(°C)
30,30	31,00	27,30	29,30	24,80	27,70
43,20	37,40	40,00	35,90	37,10	34,60
54,00	41,50	49,60	39,90	44,80	38,00
55,20	41,90	56,30	42,30	54,20	41,70
59,10	43,20	56,60	42,50	58,70	43,10
98,60	53,40	106,30	55,00	111,60	55,90
106,10	55,00	111,60	56,00	114,70	56,60
125,60	58,50	122,30	57,90	117,50	57,10
142,80	61,20	127,70	58,70	119,10	57,40
146,90	61,80	135,10	59,90	128,00	58,80
228,40	71,60	225,90	71,30	189,50	67,40
233,60	72,10	227,80	71,60	193,90	67,90
241,20	72,80	242,60	73,00	248,10	73,60
264,00	75,00	255,80	74,30	257,80	74,40
264,30	75,10	255,90	74,30	259,80	74,60
266,30	75,20	256,40	74,30	272,60	75,70
275,60	76,00	283,30	76,60	280,40	76,50
349,90	81,70	326,70	80,10	301,60	78,10
414,00	86,00	410,60	85,80	350,80	81,80
493,10	90,50	415,10	86,00	483,50	89,90
552,50	93,50	533,80	92,50	515,80	91,60
572,80	94,40	634,60	97,10	614,40	96,30
659,00	98,20	636,30	97,30	703,90	99,90

Tabela I.6 – Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 73,5% de umidade, 0,0% de sacarose e 5,5% de gordura

Ensaio 9		Ensaio 9A		Ensaio 9B	
P(mmHg)	T(°C)	P(mmHg)	T(°C)	P(mmHg)	T(°C)
22,50	25,90	20,60	24,50	18,60	23,00
34,50	33,10	32,10	31,90	33,80	32,70
40,60	36,00	36,90	34,30	35,60	33,80
52,00	40,70	49,90	39,90	45,00	37,90
61,30	43,90	64,00	44,70	57,30	42,40
97,90	53,00	86,40	50,50	92,80	52,00
116,00	56,60	113,00	56,10	104,50	54,40
121,30	57,50	115,00	56,40	113,90	56,30
123,80	58,00	130,60	59,20	121,10	57,50
124,00	58,10	134,30	59,80	130,20	59,10
158,70	63,20	133,80	59,50	149,20	62,00
167,20	64,40	144,80	61,20	157,20	63,20
208,40	69,20	168,70	64,50	159,30	63,30
240,60	72,60	233,40	71,90	247,90	73,30
274,20	75,80	291,80	77,20	261,50	74,60
290,10	77,10	308,90	78,60	289,70	77,10
297,60	77,60	253,60	73,80	297,00	77,60
307,80	78,50	338,40	80,80	310,70	78,70
321,30	79,50	342,40	81,10	401,60	85,00
498,40	90,50	481,70	89,60	553,60	93,30
571,10	94,20	676,80	98,80	588,00	95,00
593,30	95,10	573,10	94,20	608,50	95,70
707,20	100,00	785,20	103,00	657,80	97,90

Tabela I.10 – Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 54,5% de umidade, 30,0% de sacarose e 2,5% de gordura

Ensaio 10		Ensaio 10A		Ensaio 10B	
P(mmHg)	T(°C)	P(mmHg)	T(°C)	P(mmHg)	T(°C)
20,00	23,90	19,50	23,50	17,70	21,90
29,40	30,30	27,00	28,90	28,40	29,70
38,30	34,90	39,70	35,60	34,40	33,00
43,20	37,10	37,70	34,60	38,30	34,90
54,70	41,60	47,20	38,70	42,70	36,90
84,30	50,00	82,30	49,60	85,40	50,30
101,80	53,90	92,00	51,80	88,40	51,00
103,50	54,20	93,50	52,20	98,20	53,20
137,80	60,30	145,40	61,50	120,40	57,40
141,20	60,80	149,10	62,00	145,10	61,40
146,10	61,50	127,10	58,50	148,10	61,80
153,60	62,70	176,30	65,70	166,80	64,50
166,00	64,30	191,10	67,50	208,50	69,50
219,50	70,60	206,70	69,20	219,30	70,60
245,80	73,20	238,40	72,50	245,70	73,20
282,70	76,60	273,90	75,80	245,80	73,20
307,00	78,50	278,80	76,20	291,50	77,30
310,50	78,80	282,00	76,50	329,30	80,30
339,60	81,00	373,80	83,30	350,00	81,70
532,70	92,40	589,70	95,20	400,10	85,00
546,00	93,20	442,70	87,60	634,90	97,20
613,70	96,20	657,60	98,10	722,90	100,80
730,90	101,10	680,70	99,10	733,00	101,20

Tabela I.11 – Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 55,0% de umidade, 30,0% de sacarose e 1,5% de gordura

Ensaio 11		Ensaio 11A		Ensaio 11B	
P(mmHg)	T (°C)	P(mmHg)	T (°C)	P(mmHg)	T (°C)
19,50	23,30	17,90	22,00	12,90	17,10
27,00	28,70	25,30	27,70	22,80	25,90
37,70	34,50	36,20	33,70	24,70	27,20
39,70	35,40	36,30	33,80	27,10	28,70
47,20	38,60	49,10	39,30	31,90	31,60
82,30	49,40	73,00	47,00	58,30	42,60
92,00	51,70	89,00	51,00	62,60	44,00
93,50	52,00	89,70	51,10	70,10	46,20
127,10	58,40	105,10	54,40	72,20	46,80
145,40	61,30	126,00	58,20	86,50	50,40
149,10	61,80	153,70	62,50	97,10	52,70
176,30	65,50	164,80	64,00	136,20	59,90
191,10	67,30	192,10	67,40	141,30	60,70
206,70	69,10	200,60	68,40	149,90	61,90
238,40	72,30	204,30	68,80	155,60	62,70
273,90	75,60	291,50	77,10	163,00	63,80
278,80	76,10	300,20	77,80	222,10	70,70
282,00	76,30	306,10	78,30	233,90	71,90
373,80	83,20	399,00	84,80	272,90	75,50
442,70	87,50	522,10	91,70	281,10	76,20
589,70	95,00	569,60	94,10	384,60	83,90
657,60	98,00	634,90	97,00	547,90	93,10
680,70	98,90	755,50	101,90	679,10	98,90

Tabela I.12 – Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 57,5% de umidade, 24,0% de sacarose e 2,9% de gordura

Ensaio 12		Ensaio 12A		Ensaio 12B	
P(mmHg)	T (°C)	P(mmHg)	T (°C)	P(mmHg)	T (°C)
18,90	23,00	18,40	23,00	17,00	21,30
24,90	27,40	23,80	27,40	22,40	25,70
33,10	32,30			33,50	32,50
41,00	36,10			33,70	32,60
41,20	36,20			39,40	35,40
80,30	48,90			62,10	43,90
83,30	49,70			71,60	46,70
84,60	50,00			85,30	50,20
111,00	55,60			104,50	54,40
153,70	62,60			140,30	60,60
157,60	63,10			153,50	62,50
194,70	67,80			184,20	66,50
203,30	68,80			200,40	68,50
220,80	70,60			215,50	70,10
231,20	71,70			216,50	70,20
253,60	73,90			232,90	71,80
256,50	74,10			240,90	72,60
265,50	74,90			305,20	78,30
360,90	82,40			371,50	83,00
412,10	85,60			396,30	84,70
634,30	97,00			546,60	92,90
653,60	97,80			676,30	98,80
705,00	99,90			682,60	99,10

Tabela I.13 – Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 58,0% de umidade, 24,0% de sacarose e 1,7% de gordura

Ensaio 13		Ensaio 13A		Ensaio 13B	
P(mmHg)	T (°C)	P(mmHg)	T (°C)	P(mmHg)	T (°C)
17,20	21,30	16,80	21,30	16,30	21,30
26,10	28,00	24,90	28,00	23,80	28,00
30,30	30,60	31,90	30,60	31,80	35,30
37,30	34,20	34,60	34,20	32,20	34,20
39,70	35,30	35,50	35,30	33,60	30,60
77,50	48,10	74,50	50,20	64,80	50,20
86,20	50,20	78,50	50,80	69,80	50,80
88,80	50,80	81,20	48,10	85,10	48,10
105,40	54,30	119,60	54,30	136,30	54,30
153,20	62,30	162,00	62,30	157,30	65,40
169,90	64,60	165,10	64,60	160,40	64,60
176,50	65,40	166,60	65,40	171,40	62,30
206,40	68,90	219,00	68,90	206,40	76,20
224,00	70,80	234,20	72,50	217,70	77,50
238,30	72,20	240,90	76,20	227,20	72,50
241,50	72,50	245,00	70,80	232,50	68,90
282,40	76,20	254,50	77,50	268,40	70,80
298,80	77,50	261,00	72,20	277,30	83,80
327,00	79,80	306,60	79,80	286,20	72,20
385,50	83,80	326,30	83,80	287,60	79,80
680,50	98,80	584,00	101,60	544,80	101,60
752,90	101,60	733,00	98,80	574,90	101,80
759,50	101,80	740,90	101,80	612,40	98,80

Tabela I.14 – Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 60,0% de umidade, 18% de sacarose e 4,0% de gordura

Ensaio 14		Ensaio 14A		Ensaio 14B	
P(mmHg)	T (°C)	P(mmHg)	T (°C)	P(mmHg)	T (°C)
15,50	20,10	15,20	19,70	14,80	19,40
21,10	24,80	19,60	23,60	20,10	24,20
26,70	28,60	23,80	26,70	23,50	26,60
29,60	30,50	27,60	29,20	25,00	27,60
31,20	31,30	30,60	31,10	27,60	29,20
55,50	41,90	52,30	40,70	51,30	40,40
57,00	42,30	54,30	41,50	56,60	42,30
81,00	49,20	73,60	47,30	77,10	48,30
135,40	59,80	118,10	56,90	100,70	53,60
157,10	63,10	157,20	63,10	136,40	60,00
171,30	65,00	166,20	64,40	145,20	61,30
172,60	65,20	167,70	64,50	161,50	63,70
179,20	66,10	185,90	66,70	187,70	67,00
192,20	67,60	203,80	68,90	194,70	67,80
223,30	70,90	206,70	69,30	197,00	68,20
232,20	71,80	218,50	70,40	222,60	70,90
255,80	74,20	243,70	72,90	266,90	75,20
259,20	74,50	284,20	76,70	275,40	75,80
267,70	75,10	294,90	77,50	276,70	75,90
304,40	78,20	297,90	77,80	317,30	79,30
474,80	89,30	443,60	87,60	374,30	83,20
496,20	90,50	548,90	93,20	607,80	95,90
549,30	93,20	588,10	95,00	720,90	100,70

Tabela I.15 – Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 62,0% de umidade, 12,0% de sacarose e 6,3% de gordura

Ensaio 15		Ensaio 15A		Ensaio 15B	
P(mmHg)	T (°C)	P(mmHg)	T (°C)	P(mmHg)	T (°C)
13,50	18,40	13,20	18,10	12,60	17,40
17,70	22,60	17,10	21,90	16,50	21,30
18,60	23,20	17,60	22,30	16,60	21,50
21,40	25,40	19,60	24,10	16,80	21,70
22,30	26,00	23,30	26,90	22,20	26,00
38,00	35,30	34,70	33,50	31,20	31,70
44,90	38,30	39,90	36,00	36,90	34,70
80,50	49,60	75,40	48,10	59,90	43,60
85,10	50,50	83,50	50,20	65,90	45,50
94,60	52,70	84,40	50,40	92,90	52,40
96,80	53,10	109,60	55,80	106,00	55,00
148,20	62,20	140,20	61,00	129,20	59,30
155,40	63,30	146,90	61,90	146,80	61,90
171,20	65,20	181,20	66,60	154,20	63,10
199,70	68,70	183,70	66,90	165,60	64,50
213,60	70,30	193,90	68,10	177,50	66,20
262,00	74,90	246,20	73,50	198,50	68,60
292,90	77,70	311,90	79,20	310,40	79,10
303,10	78,40	333,10	80,80	343,30	81,50
320,80	79,90	352,90	82,20	365,80	83,10
371,20	83,50	356,50	82,40	370,80	83,50
453,10	88,50	359,20	82,70	428,60	87,00
661,40	98,60	553,60	93,70	567,00	94,40

Tabela I.16 – Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 63,5% de umidade, 12,0% de sacarose e 3,2% de gordura

Ensaio 16		Ensaio 16A		Ensaio 16B	
P(mmHg)	T (°C)	P(mmHg)	T (°C)	P(mmHg)	T (°C)
13,20	17,60	12,90	17,20	12,60	16,90
17,10	21,40	16,00	20,40	14,70	19,00
17,60	21,90	16,00	20,40	15,00	19,40
19,60	23,50	20,20	24,00	18,90	22,90
23,30	26,30	21,00	24,60	20,70	24,50
34,70	33,10	32,30	31,80	30,10	30,60
39,90	35,60	39,10	35,20	38,40	34,90
75,40	47,60	70,30	46,20	65,60	44,90
83,50	49,60	76,60	48,00	69,80	46,10
84,40	50,00	81,50	49,20	79,60	48,70
109,60	55,20	96,20	52,60	84,90	50,00
140,20	60,50	124,20	57,80	105,70	54,40
146,90	61,50	148,10	61,70	156,50	62,90
181,20	66,00	171,00	64,80	161,50	63,50
183,70	66,40	200,30	68,30	217,80	70,20
193,90	67,60	224,10	70,90	218,70	70,40
246,20	73,00	231,40	71,60	260,20	74,40
311,90	78,70	319,90	79,20	290,40	76,90
333,10	80,20	322,60	79,50	312,40	78,70
352,90	81,70	332,30	80,20	354,30	81,80
356,50	82,00	392,70	84,30	433,20	86,80
359,20	82,10	421,80	86,20	496,90	90,40
553,60	93,30	592,70	95,00	634,90	96,90

Tabela I.17 – Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 66,0% de umidade, 6,0% de sacarose e 4,6% de gordura

Ensaio 17		Ensaio 17A		Ensaio 17B	
P(mmHg)	T (°C)	P(mmHg)	T (°C)	P(mmHg)	T (°C)
12,40	16,80	12,10	16,60	10,30	14,30
13,50	18,10	12,50	17,00	11,20	15,40
14,10	18,80	13,40	18,00	11,50	15,80
17,20	21,70	15,70	20,40	16,00	20,60
21,30	25,20	22,00	25,50	17,50	22,00
28,10	29,70	26,30	28,60	19,70	23,90
37,70	34,80	37,00	34,50	26,50	28,70
61,40	43,90	57,50	42,50	39,80	35,70
63,70	44,50	58,30	42,90	53,00	41,00
75,20	47,80	66,90	45,60	59,30	43,20
77,70	48,50	75,90	48,00	60,70	43,60
90,60	51,50	78,10	48,60	83,40	49,80
152,60	62,50	144,20	61,30	153,30	62,60
165,50	64,40	175,10	65,50	156,00	63,00
205,00	69,10	193,20	67,70	160,90	63,60
239,20	72,60	240,30	72,80	180,50	66,20
264,00	74,80	261,90	74,70	285,10	76,80
302,50	78,10	293,00	77,40	287,90	76,90
303,20	78,20	354,70	82,00	376,90	83,50
378,00	83,60	403,40	85,20	377,40	83,50
478,40	89,60	528,90	92,10	459,40	88,60
587,30	95,00	696,30	99,60	526,60	92,10
680,40	99,00	729,60	100,90	743,70	101,50

Tabela I.18 – Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 68,5% de umidade, 0,0% de sacarose e 5,73% de gordura

Ensaio 18		Ensaio 18A		Ensaio 18B	
P(mmHg)	T (°C)	P(mmHg)	T (°C)	P(mmHg)	T (°C)
10,00	14,00	9,70	13,50	9,30	13,00
11,00	15,40	10,80	15,10	10,60	14,80
11,20	15,60	10,90	15,30	10,60	14,90
16,10	21,10	15,00	19,90	13,90	18,90
16,60	21,30	17,20	22,00	16,10	20,90
18,40	22,90	17,30	21,90	17,90	22,50
24,10	27,30	21,90	25,90	20,10	24,40
36,20	34,30	33,00	32,70	30,30	31,10
47,70	39,30	43,20	37,50	39,20	35,70
56,80	42,50	54,40	41,70	52,20	40,90
63,40	44,60	66,20	45,50	69,20	46,30
93,90	52,40	106,10	55,00	118,00	57,30
144,90	61,60	135,30	60,20	120,50	57,60
147,40	62,00	137,10	60,50	129,80	59,20
155,90	63,30	139,50	60,90	132,00	59,70
170,20	65,10	180,20	66,40	149,50	62,40
227,90	71,70	183,80	66,90	190,90	67,60
316,20	79,30	327,80	80,30	278,60	76,40
364,70	83,00	347,70	81,60	341,70	81,40
387,30	84,40	353,00	82,10	383,00	84,00
416,10	86,10	459,30	88,70	507,60	91,30
563,60	94,10	603,50	95,90	646,60	97,80
717,70	100,70	692,70	99,70	668,70	98,80

Tabela I.19 – Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 49,5% de umidade, 30,0% de sacarose e 3,0% de gordura

Ensaio 19		Ensaio 19A		Ensaio 19B	
P(mmHg)	T (°C)	P(mmHg)	T (°C)	P(mmHg)	T (°C)
8,80	12,20	8,50	11,70	8,60	11,90
10,10	14,10	9,40	13,00	9,10	12,60
10,40	14,40	9,70	13,50	9,20	12,80
14,20	19,00	13,70	18,40	13,00	17,60
15,30	20,10	14,20	19,00	13,90	18,70
16,30	21,00	14,60	19,40	14,30	19,00
19,80	24,10	18,20	22,70	17,00	21,80
28,80	30,20	28,30	29,90	29,20	30,50
38,40	35,30	39,10	35,60	40,60	36,30
46,10	38,60	44,90	38,20	49,50	40,00
63,20	44,60	56,60	42,60	55,40	42,10
105,50	54,90	77,90	48,80	66,00	45,40
123,00	58,20	126,10	58,60	136,60	60,40
127,60	59,00	146,00	61,80	154,20	63,00
139,30	60,90	155,40	63,20	160,40	63,90
162,50	64,20	165,00	64,50	164,40	64,40
180,00	66,40	171,70	65,40	166,90	64,80
296,50	78,00	305,80	78,70	296,20	78,00
346,70	81,70	345,70	81,70	337,90	81,10
400,70	85,40	399,50	85,30	380,70	84,10
490,60	90,60	521,40	92,20	484,10	90,20
693,00	99,90	598,40	95,90	577,10	94,80
707,20	100,50	701,00	100,20	586,10	95,30

Tabela I.20 – Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 51,5% de umidade, 24,0% de sacarose e 4,8% de gordura

Ensaio 20		Ensaio 20A		Ensaio 20B	
P(mmHg)	T (°C)	P(mmHg)	T (°C)	P(mmHg)	T (°C)
8,40	11,70	8,00	11,00	7,70	10,30
8,60	12,00	8,40	11,80	8,60	12,10
8,90	12,50	9,00	12,60	8,60	12,00
11,70	16,30	10,50	14,80	10,30	14,50
13,30	18,20	12,50	17,20	11,80	16,50
13,60	18,60	12,90	17,70	13,20	18,10
15,00	20,00	14,40	19,50	15,00	20,00
31,20	31,80	29,60	30,90	32,20	32,40
43,80	37,80	37,50	35,00	36,10	34,40
48,50	39,80	41,20	36,70	42,80	37,50
53,20	41,50	54,20	41,90	50,90	40,70
60,70	44,10	70,70	47,00	66,00	45,60
151,60	62,80	128,20	59,10	135,30	60,40
157,70	63,60	151,40	62,70	167,50	64,90
160,90	64,00	166,60	64,90	173,70	65,80
172,50	65,60	177,50	66,30	197,20	68,60
184,10	67,10	189,40	67,70	203,30	69,30
244,70	73,60	197,40	68,60	218,90	71,00
278,10	76,60	290,50	77,70	281,50	76,90
322,00	80,10	324,00	80,30	313,70	79,40
414,00	86,30	373,20	83,80	411,30	86,20
463,40	89,30	566,70	94,50	492,90	90,80
709,30	100,60	733,10	101,60	590,40	95,50

Tabela I.21 – Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 52,5% de umidade, 24,0% de sacarose e 3,3% de gordura

Ensaio 21		Ensaio 21A		Ensaio 21B	
P (mmHg)	(°C)	P (mmHg)	(°C)	P (mmHg)	(°C)
7,40	10,20	7,10	9,70	6,90	9,20
8,30	12,00	8,10	11,50	8,20	11,70
8,80	12,80	9,00	13,10	8,70	12,70
10,10	14,70	10,00	14,50	9,50	13,90
11,20	16,30	10,70	15,60	10,50	15,20
13,40	18,80	13,70	19,10	13,40	18,80
15,50	20,90	16,10	21,40	15,10	20,60
34,90	34,30	33,60	33,60	29,70	31,30
35,00	34,30	38,30	35,80	39,70	36,50
44,50	38,60	46,30	39,30	44,20	38,50
47,90	40,00	45,10	38,90	48,10	40,00
61,70	44,80	57,80	43,50	64,30	45,60
142,80	62,00	150,80	63,20	146,70	62,50
158,20	64,10	149,50	62,80	158,00	64,10
200,30	69,40	231,80	72,70	185,40	67,70
209,40	70,50	215,70	71,10	218,90	71,50
234,80	73,00	281,10	77,20	253,70	74,80
254,00	74,90	295,80	78,50	272,40	76,60
272,80	76,60	264,40	75,80	285,20	77,70
303,90	79,00	294,30	78,30	315,00	80,00
429,70	87,70	375,50	84,30	413,90	86,80
454,00	89,10	501,60	91,70	422,20	87,30
477,80	90,40	388,70	85,10	428,70	87,60

Tabela I.22 – Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 54,0% de umidade, 18,0% de sacarose e 6,1% de gordura

Ensaio 22		Ensaio 22A		Ensaio 22B	
P (mmHg)	(°C)	P (mmHg)	(°C)	P (mmHg)	(°C)
7,10	10,20	6,90	9,70	6,80	9,60
8,10	12,00	7,80	11,60	7,50	11,00
9,00	13,70	9,20	14,00	8,80	13,40
10,00	15,00	9,80	14,80	9,60	14,60
10,70	16,10	10,20	15,50	10,00	15,00
13,70	19,70	14,10	20,00	13,40	19,30
16,10	22,00	16,70	22,60	16,50	22,40
33,60	34,20	32,50	33,60	29,80	32,10
38,30	36,40	41,90	38,10	39,30	36,90
45,10	39,40	42,50	38,30	39,60	37,00
46,30	39,80	48,10	40,60	47,20	40,20
57,80	44,00	54,20	42,80	47,80	40,40
149,50	63,30	141,40	62,10	150,60	63,70
150,80	63,70	159,40	64,90	153,40	63,90
215,70	71,70	222,20	72,30	215,60	71,70
231,80	73,30	256,30	75,60	252,90	75,30
264,40	76,30	269,30	76,80	272,50	77,00
281,10	77,70	285,20	78,00	298,40	79,20
294,30	78,80	318,00	80,60	303,60	79,50
295,80	79,00	328,90	81,50	368,70	84,40
375,50	84,80	338,30	82,20	372,40	84,50
388,70	85,60	345,70	82,80	372,50	84,60
501,60	92,20	555,00	94,90	657,30	99,50

Tabela I.23 – Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 54,5% de umidade, 18,0% de sacarose e 5,4% de gordura

Ensaio 23		Ensaio 23A		Ensaio 23B	
P (mmHg)	(°C)	P (mmHg)	(°C)	P (mmHg)	(°C)
7,00	9,90	7,00	9,80	6,90	9,60
7,70	11,30	7,40	10,70	7,40	10,70
8,70	13,10	8,40	12,60	8,50	12,80
10,10	15,00	9,50	14,10	9,00	13,50
10,10	15,10	10,30	15,40	9,80	14,60
13,10	19,00	12,60	18,30	12,40	18,20
15,90	21,80	15,70	21,60	16,10	22,00
30,80	32,40	28,30	30,90	25,60	29,20
36,20	35,30	34,30	34,40	31,40	32,80
41,70	37,80	38,60	36,40	40,00	37,10
45,40	39,40	44,50	39,00	40,30	37,20
50,80	41,50	44,90	39,20	46,70	39,90
142,60	62,30	135,00	61,10	117,70	58,20
162,40	65,10	176,70	66,90	171,70	66,30
209,30	70,80	203,10	70,10	191,40	68,80
218,00	71,70	205,30	70,40	176,70	67,00
281,20	77,70	299,40	79,10	329,00	81,40
308,60	80,00	308,40	79,80	339,00	82,10
313,40	80,30	334,00	81,80	404,00	86,60
315,00	80,40	335,60	82,00	325,00	81,20
340,00	82,20	339,30	82,30	373,50	84,70
457,20	89,50	539,50	93,90	503,60	92,00
593,00	96,60	703,20	101,20	754,10	103,20

Tabela I.24 – Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 57,5% de umidade, 12,0% de sacarose e 5,9% de gordura

Ensaio 24		Ensaio 24A		Ensaio 24B	
P (mmHg)	(°C)	P (mmHg)	(°C)	P (mmHg)	(°C)
6,80	9,70	6,80	9,50	6,70	9,40
7,30	10,70	7,30	10,70	7,00	10,10
8,60	13,20	8,30	12,40	7,90	11,70
8,60	13,00	8,70	13,30	8,40	12,80
9,30	14,10	8,90	13,40	9,00	13,60
12,30	18,20	12,20	18,00	11,70	17,50
16,50	22,50	16,90	22,90	16,70	22,70
23,30	27,80	21,20	26,30	19,70	25,10
28,80	31,50	26,50	30,10	25,20	29,30
36,70	35,60	33,50	34,00	32,90	33,70
41,60	37,90	43,20	38,60	40,00	37,20
48,60	40,80	50,60	41,50	44,70	39,20
103,10	55,60	90,70	52,90	86,40	52,00
152,80	63,90	132,70	60,90	125,70	59,80
166,80	65,80	162,10	65,20	176,40	67,00
180,50	67,60	170,30	66,30	165,50	65,60
314,70	80,50	304,80	79,70	324,60	81,30
362,00	83,90	398,90	86,30	425,90	88,00
373,20	84,60	411,40	87,00	372,10	84,50
411,70	87,20	439,40	88,60	518,20	92,90
470,30	90,30	454,40	89,70	502,10	92,30
491,00	91,70	599,60	97,00	642,30	98,80
762,20	103,60	611,30	97,50	725,20	102,20

Tabela I.25 – Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 59,0% de umidade, 12,0% de sacarose e 3,0% de gordura

Ensaio 25		Ensaio 25A		Ensaio 25B	
P (mmHg)	(°C)	P (mmHg)	(°C)	P (mmHg)	(°C)
6,70	8,90	6,70	8,80	6,50	8,40
7,00	9,60	6,80	9,30	6,90	9,40
7,90	11,20	7,60	10,70	7,50	10,50
8,40	12,30	8,10	11,70	7,90	11,30
9,00	13,10	9,10	13,30	8,80	12,80
11,70	16,90	11,20	16,30	11,00	16,00
16,70	22,20	16,50	21,80	15,40	20,90
19,70	24,70	18,40	23,50	16,70	22,00
25,20	28,80	24,10	27,90	24,80	28,40
32,90	33,20	32,30	32,90	33,40	33,50
40,00	36,60	37,00	35,30	36,40	35,00
44,70	38,70	39,70	36,70	43,60	38,40
86,40	51,50	82,30	50,40	80,40	49,90
125,70	59,30	119,20	58,10	128,90	59,80
165,50	65,10	160,90	64,40	139,50	61,30
176,40	66,50	192,20	68,50	203,70	69,80
324,60	80,80	337,10	81,70	369,10	83,80
372,10	84,00	346,00	82,30	370,70	83,80
425,90	87,40	455,10	89,00	371,10	84,00
502,10	91,80	555,50	94,30	536,60	93,40
518,20	92,30	612,90	97,00	591,20	95,90
642,30	98,30	688,50	100,20	664,60	99,20
725,20	101,70	707,20	100,80	679,60	99,80

Tabela I.26 – Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 60,0% de umidade, 6,0% de sacarose e 6,6% de gordura

Ensaio 26		Ensaio 26A		Ensaio 26B	
P (mmHg)	(°C)	P (mmHg)	(°C)	P (mmHg)	(°C)
6,40	8,80	6,20	8,40	6,00	7,80
6,90	10,30	7,00	10,40	6,70	9,80
7,40	11,10	7,30	11,00	7,00	10,30
7,70	11,80	7,60	11,50	7,80	11,90
8,50	13,00	8,20	12,60	8,00	12,20
10,80	16,50	10,60	16,30	11,00	16,80
14,50	20,80	13,70	19,90	13,40	19,40
15,30	21,40	14,00	20,20	14,70	20,80
25,60	29,70	26,40	30,40	31,00	33,00
34,60	34,90	35,10	35,10	31,50	33,20
35,70	35,50	35,90	35,60	38,60	36,90
48,00	40,90	53,00	42,70	46,80	40,50
78,50	50,20	76,70	49,80	84,20	51,70
121,50	59,10	106,30	56,40	111,90	57,40
139,60	62,20	151,50	64,10	200,50	70,20
216,10	71,90	229,40	73,20	203,30	70,50
303,70	79,70	250,30	75,10	235,30	73,60
393,80	86,20	417,40	87,60	344,80	83,00
409,00	87,20	420,50	87,90	401,80	86,80
495,90	92,00	451,30	89,60	509,30	92,60
518,50	93,30	501,10	92,40	577,90	96,10
641,70	99,00	611,30	97,60	585,60	96,50
754,20	103,50	619,60	98,00	751,00	103,30

Tabela I.27 – Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 61,0% de umidade, 6,0% de sacarose e 5,0% de gordura

Ensaio 27		Ensaio 27A		Ensaio 27B	
P (mmHg)	(°C)	P (mmHg)	(°C)	P (mmHg)	(°C)
5,90	7,20	5,80	6,90	5,70	6,70
6,60	9,20	6,40	8,80	6,30	8,60
6,80	9,70	6,70	9,40	6,50	9,10
7,90	11,70	7,80	11,50	7,70	11,40
8,00	11,80	8,10	12,10	8,30	12,40
11,20	16,70	11,40	17,00	11,70	17,30
13,10	18,80	12,80	18,60	12,60	18,30
15,20	21,00	15,70	21,60	16,30	22,10
30,00	32,00	28,50	31,20	27,10	30,40
33,70	34,20	36,80	35,70	39,30	36,90
40,00	37,30	41,60	37,90	40,30	37,30
44,10	39,10	41,60	38,00	43,20	38,50
88,30	52,30	92,70	53,30	97,40	54,30
114,90	57,60	117,90	58,20	121,00	58,80
191,50	68,90	180,60	67,50	170,40	66,20
195,80	69,40	226,40	72,60	214,90	71,30
228,30	72,60	221,50	72,00	223,30	72,30
232,00	73,30	269,60	76,70	234,70	73,50
233,40	73,30	279,40	77,40	262,90	76,10
302,50	79,50	266,10	76,50	314,40	80,40
328,40	81,50	270,00	76,80	336,30	81,90
558,20	94,90	539,30	93,90	521,10	93,00
563,50	95,00	624,20	97,80	692,20	100,60

Tabela I.28 – Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 64,5% de umidade, 0,0% de sacarose e 4,2% de gordura

Ensaio 28		Ensaio 28A		Ensaio 28B	
P (mmHg)	(°C)	P (mmHg)	(°C)	P (mmHg)	(°C)
5,70	6,70	5,60	6,50	5,60	6,20
6,30	8,40	6,20	8,20	6,10	7,90
6,50	9,20	6,40	8,90	6,30	8,60
7,70	11,30	7,60	11,10	7,50	11,00
8,30	12,40	8,40	12,70	8,60	12,90
11,70	17,20	11,90	17,50	12,10	18,00
12,60	18,60	12,30	18,30	12,10	17,70
16,30	22,10	17,00	22,60	17,60	23,20
27,10	30,40	25,80	29,60	24,60	28,80
39,30	36,70	37,10	35,70	35,10	34,80
40,30	37,10	44,20	38,80	46,60	39,80
43,20	38,40	44,80	39,10	48,70	40,60
97,40	54,40	102,30	55,40	107,60	56,40
121,00	58,90	124,30	59,50	127,60	60,00
170,40	66,00	160,90	64,70	152,00	63,50
214,90	71,40	185,90	68,10	155,80	64,20
223,30	72,20	195,80	69,20	184,10	68,00
234,70	73,50	207,60	70,70	202,40	70,10
262,90	76,00	208,50	70,70	213,70	71,20
314,40	80,20	306,40	79,60	358,50	83,40
336,30	81,70	368,10	84,10	432,40	88,10
521,10	92,80	406,80	86,40	486,70	91,00
692,20	100,60	503,50	91,90	494,50	91,40

Tabela I.29 – Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 65,0% de umidade, 0,0% de sacarose e 3,5% de gordura

Ensaio 29		Ensaio 29A		Ensaio 29B	
P (mmHg)	(°C)	P (mmHg)	(°C)	P (mmHg)	(°C)
5,60	6,10	5,60	6,00	5,50	5,80
6,10	7,80	6,10	7,90	6,00	7,70
6,30	8,50	6,30	8,30	6,20	8,10
7,50	10,80	7,50	10,90	7,50	10,70
8,60	12,80	8,60	12,80	8,80	13,10
12,10	17,80	12,10	17,50	11,80	17,20
12,10	17,60	12,10	17,70	12,40	18,00
17,60	23,10	17,60	23,10	18,30	23,70
24,60	28,70	24,60	28,60	23,50	27,80
35,10	34,60	35,10	34,80	33,30	33,80
46,60	39,60	46,60	39,80	48,50	40,50
48,70	40,50	48,70	40,60	53,80	42,50
107,60	56,30	107,60	56,20	113,30	57,30
127,60	59,90	127,60	59,70	131,10	60,20
152,00	63,40	152,00	63,50	131,40	60,50
155,80	64,00	155,80	64,10	143,80	62,30
184,10	67,80	184,10	67,80	163,80	65,20
202,40	69,90	202,40	69,70	196,50	69,10
213,70	71,10	213,70	71,00	233,60	73,00
358,50	83,30	358,50	83,40	420,90	87,40
432,40	88,00	432,40	88,10	470,40	90,10
486,70	90,90	486,70	91,00	509,70	92,30
494,50	91,30	494,50	91,40	604,00	96,70

Tabela I.30 – Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 43,5% de umidade, 30,0% de sacarose e 5,5% de gordura

Ensaio 30		Ensaio 30A		Ensaio 30B	
P (mmHg)	(°C)	P (mmHg)	(°C)	P (mmHg)	(°C)
5,40	6,00	5,40	6,00	5,40	5,90
6,00	7,70	6,00	7,70	6,00	7,80
6,10	8,20	6,10	8,00	6,10	7,90
7,40	10,90	7,40	10,90	7,20	10,50
9,00	13,70	9,00	13,90	8,70	13,50
11,60	17,40	11,60	17,30	10,80	16,30
12,60	18,60	12,60	18,70	12,40	18,40
19,10	24,80	19,10	25,00	17,80	23,90
22,40	27,50	22,40	27,60	22,10	27,30
31,60	33,30	31,60	33,30	34,40	34,80
50,50	41,70	50,50	41,60	52,60	42,40
59,70	44,90	59,70	44,80	62,30	45,70
111,60	57,60	111,60	57,50	120,60	59,10
119,30	58,90	117,90	58,80	114,80	58,20
134,60	61,50	119,30	58,80	116,20	58,20
136,00	61,70	134,60	61,40	117,40	58,50
146,10	63,30	136,00	61,70	143,60	62,90
190,80	69,10	146,10	63,30	158,70	65,10
255,70	75,80	190,80	69,20	159,70	65,30
454,80	89,90	255,70	75,90	218,80	72,30
495,90	92,30	454,80	90,20	439,70	89,30
602,80	97,50	495,90	92,20	530,50	94,00
740,80	103,10	602,80	97,30	668,20	100,20

Tabela I.31 – Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 47,0% de umidade, 24,0% de sacarose e 4,5% de gordura

Ensaio 31		Ensaio 31A		Ensaio 31B	
P(mmHg)	T (°C)	P(mmHg)	T (°C)	P(mmHg)	T (°C)
5,40	5,50	5,30	5,40	5,30	5,10
6,00	7,70	6,10	7,80	6,10	7,90
6,00	7,70	6,00	7,60	6,00	7,50
7,00	10,00	6,90	9,70	6,70	9,40
8,50	12,90	8,20	12,50	8,00	12,10
10,10	15,30	9,50	14,40	9,00	13,60
12,10	17,90	11,90	17,60	11,60	17,40
16,70	22,70	15,60	21,70	14,70	20,70
21,80	26,80	21,50	26,60	21,20	26,30
37,50	36,10	41,10	37,80	45,20	39,50
54,80	43,00	57,10	43,80	59,60	44,80
65,10	46,40	68,10	47,20	71,20	48,30
68,40	47,40	73,20	48,70	78,40	50,20
102,90	55,60	90,50	53,00	80,00	50,50
111,80	57,50	109,00	56,90	106,20	56,40
113,20	57,50	110,30	57,00	107,50	56,50
130,50	60,50	141,40	62,20	153,40	64,00
134,60	61,30	114,20	57,80	97,50	54,40
151,70	63,80	160,40	65,00	169,60	66,30
172,60	66,70	187,90	68,60	205,00	70,50
187,90	68,60	162,20	65,40	140,60	62,20
425,20	88,10	411,20	87,30	397,80	86,30
567,80	95,60	608,10	97,40	651,50	99,40

Tabela I.32 – Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 47,5% de umidade, 24,0% de sacarose e 3,9% de gordura

Ensaio 32		Ensaio 32A		Ensaio 32B	
P(mmHg)	T (°C)	P(mmHg)	T (°C)	P(mmHg)	T (°C)
5,30	4,90	5,20	4,80	5,20	4,70
6,00	7,30	5,90	7,20	5,90	7,20
6,10	7,80	6,20	7,90	6,20	8,20
6,60	9,00	6,40	8,70	6,30	8,30
7,80	11,60	7,60	11,30	7,50	10,80
8,60	12,80	8,20	12,10	7,80	11,40
11,40	17,00	11,20	16,70	11,00	16,30
13,80	19,80	13,10	18,90	12,40	18,00
20,90	26,00	20,60	25,70	20,30	25,50
49,80	41,20	55,10	43,10	56,70	43,50
62,20	45,50	63,40	45,70	61,10	45,20
71,10	48,00	65,00	46,30	63,10	45,50
74,50	49,10	72,50	48,30	67,90	47,20
83,80	51,20	78,00	50,00	81,70	50,80
84,10	51,50	90,30	52,90	94,20	53,50
103,50	55,70	100,90	55,20	97,20	54,40
104,70	55,90	102,10	55,30	98,40	54,50
122,50	59,10	107,10	56,30	99,50	54,80
166,70	65,70	181,50	67,60	124,20	59,50
179,60	67,40	190,20	68,70	197,90	69,70
224,00	72,40	245,00	74,40	201,60	70,10
384,80	85,30	372,40	84,50	268,50	76,70
698,40	101,20	748,90	103,20	360,30	83,70

Tabela I.33 – Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 49,5% de umidade, 18,0% de sacarose e 5,8% de gordura

Ensaio 33		Ensaio 33A		Ensaio 33B	
P(mmHg)	T (°C)	P(mmHg)	T (°C)	P(mmHg)	T (°C)
5,20	5,00	5,10	4,80	5,10	4,60
5,90	7,50	5,70	7,10	5,60	6,60
6,20	8,70	6,00	8,20	5,90	7,40
6,20	8,50	6,20	8,30	6,20	8,30
7,30	10,90	7,30	10,90	7,10	10,50
7,50	11,20	7,50	11,40	7,50	11,40
10,80	16,50	11,20	17,00	11,00	16,90
11,80	17,60	12,50	18,50	12,70	19,00
20,00	25,70	18,40	24,40	16,70	22,90
51,00	41,80	53,10	42,60	49,10	41,20
68,10	47,70	53,00	42,50	53,10	42,80
55,30	43,30	59,50	45,10	54,10	43,10
71,10	48,50	77,90	50,30	79,70	50,70
85,70	52,20	96,00	54,30	107,20	56,80
83,10	51,30	109,30	57,20	114,60	58,30
104,70	56,30	107,30	56,70	117,30	58,70
96,00	54,40	129,70	60,70	145,70	63,00
97,10	54,60	135,30	61,70	146,40	63,50
131,00	61,00	171,70	66,80	165,40	66,10
216,00	72,00	151,10	64,10	185,20	68,30
213,80	71,80	189,70	69,10	195,00	69,60
294,50	79,30	228,80	73,30	209,80	71,40
348,80	83,20	326,90	81,70	337,30	82,40

Tabela I.34 – Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 50,0% de umidade, 18,0% de sacarose e 4,9% de gordura

Ensaio 34		Ensaio 34A		Ensaio 34B	
P(mmHg)	T (°C)	P(mmHg)	T (°C)	P(mmHg)	T (°C)
5,10	4,40	5,10	4,40	5,10	4,40
5,50	6,20	5,50	6,00	5,40	5,80
5,80	7,00	5,70	6,70	5,60	6,50
6,20	8,30	6,20	8,40	6,30	8,50
6,90	10,00	6,80	9,60	6,60	9,30
7,30	10,90	7,10	10,50	6,90	10,20
10,60	16,20	10,20	15,60	9,80	15,20
12,60	18,70	12,50	18,60	12,40	18,40
15,90	21,90	15,10	21,20	14,40	20,50
43,40	38,80	38,60	36,60	34,50	34,60
52,00	42,20	50,90	41,80	49,90	41,50
56,40	43,70	58,80	44,50	61,40	45,30
77,80	50,10	76,00	49,60	74,30	49,10
101,80	55,50	96,80	54,50	91,00	53,30
105,90	56,40	98,10	54,80	92,10	53,50
133,60	61,20	131,10	60,90	124,20	59,80
138,50	62,10	152,70	64,10	143,00	62,50
167,00	65,80	155,60	64,30	175,40	67,20
169,60	66,20	192,30	68,90	214,20	71,70
180,00	67,80	196,20	69,80	222,30	72,20
212,90	71,40	232,70	73,40	251,20	75,40
222,70	72,60	236,40	74,00	254,70	75,50
359,60	83,80	383,70	85,40	409,60	87,10

Tabela I.35 – Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 53,0% de umidade, 12,0% de sacarose e 5,0% de gordura

Ensaio 35		Ensaio 35A		Ensaio 35B	
P(mmHg)	T (°C)	P(mmHg)	T (°C)	P(mmHg)	T (°C)
5,10	4,40	5,10	4,40	5,10	4,40
5,40	5,70	5,30	5,60	5,30	5,40
5,50	6,40	5,50	6,10	5,40	5,90
6,30	8,70	6,30	8,80	6,30	8,60
6,50	9,10	6,40	8,90	6,40	8,90
6,80	9,90	6,60	9,60	6,50	9,30
9,50	14,80	9,20	14,40	8,90	13,90
12,20	18,40	12,10	18,20	12,00	18,10
13,80	19,90	13,20	19,20	12,60	18,60
31,00	32,80	28,00	31,10	25,30	29,40
48,90	41,20	47,90	40,80	47,00	40,40
64,10	46,20	67,00	47,10	69,30	47,90
72,60	48,80	70,90	48,30	70,00	48,00
84,50	51,90	78,60	50,50	73,20	49,10
87,60	52,50	83,50	51,60	79,60	50,60
117,70	58,70	111,70	57,60	106,00	56,50
131,60	60,80	121,30	59,10	112,00	57,40
202,20	70,40	234,00	73,80	272,00	77,30
234,10	73,90	256,30	76,00	281,00	78,10
258,00	75,70	284,10	78,40	302,50	79,90
267,10	76,90	300,60	79,30	337,00	82,20
279,20	77,70	306,60	79,90	351,60	83,10
437,50	88,80	467,60	90,50	500,00	92,20

Tabela I.36 – Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 55,5% de umidade, 6,0% de sacarose e 6,1% de gordura

Ensaio 36		Ensaio 36A		Ensaio 36B	
P(mmHg)	T (°C)	P(mmHg)	T (°C)	P(mmHg)	T (°C)
6,10	8,60	5,10	4,70	5,10	4,70
6,40	9,20	5,20	5,40	5,20	5,20
6,60	9,60	5,40	5,90	5,30	5,60
8,00	12,30	6,10	8,50	6,00	8,00
8,30	13,20	6,40	9,30	6,50	9,50
8,40	13,10	6,40	9,30	6,20	8,80
11,80	17,90	8,80	13,90	8,30	13,10
16,00	22,50	12,20	18,60	12,00	18,30
15,70	22,10	11,70	17,80	10,80	16,70
30,00	32,40	22,00	27,30	18,50	24,60
58,60	44,80	47,00	40,70	45,10	39,90
88,00	52,80	70,90	48,50	67,70	47,70
83,40	51,80	71,60	48,80	78,50	50,60
98,60	55,10	76,40	50,00	66,50	47,30
100,50	55,50	79,50	50,80	72,40	48,90
143,60	63,00	114,10	58,20	102,90	56,10
120,70	59,30	93,50	54,00	80,70	51,00
352,40	83,90	349,00	83,60	482,20	91,80
397,60	86,80	372,40	85,20	453,00	90,10
415,40	87,90	377,40	85,50	430,20	88,80
371,40	85,10	347,40	83,40	421,80	88,20
341,10	83,10	337,00	82,60	464,90	90,70
561,10	95,70	516,90	93,50	592,20	97,10

Tabela I.37 – Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 56,0% de umidade, 6,0% de sacarose e 5,3% de gordura

Ensaio 37		Ensaio 37A		Ensaio 37B	
P(mmHg)	T (°C)	P(mmHg)	T (°C)	P(mmHg)	T (°C)
5,10	4,50	5,10	4,50	5,10	4,40
5,20	4,90	5,10	4,80	5,10	4,80
5,20	5,30	5,20	5,20	5,20	5,10
5,90	7,60	5,80	7,40	5,80	7,30
6,10	8,40	6,00	8,20	6,00	8,00
6,50	9,50	6,60	9,60	6,60	9,70
8,10	12,60	7,90	12,20	7,70	11,90
10,40	16,10	10,10	15,60	9,70	15,10
11,80	18,00	11,70	17,90	11,60	17,80
17,10	23,20	15,80	22,00	14,60	20,90
44,30	39,40	43,40	39,10	42,60	38,70
62,20	45,80	58,20	44,60	54,60	43,40
66,20	47,10	64,80	46,60	63,20	46,20
69,10	47,90	66,10	47,00	63,30	46,20
75,20	49,40	70,10	48,10	65,50	46,70
82,20	51,40	86,20	52,30	88,50	52,90
97,80	54,90	93,00	53,80	90,50	53,30
459,70	90,30	491,50	92,10	301,30	79,60
465,60	90,60	514,70	93,20	314,10	80,90
500,60	92,60	553,80	95,20	525,70	93,90
548,80	94,90	649,80	99,50	569,60	95,80
569,60	96,00	675,00	100,60	613,30	98,00
634,40	98,80	679,90	100,70	729,00	102,60

Tabela I.38 – Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 59,0% de umidade, 0,0% de sacarose e 5,6% de gordura

Ensaio 38		Ensaio 38A		Ensaio 38B	
P(mmHg)	T (°C)	P(mmHg)	T (°C)	P(mmHg)	T (°C)
5,10	4,60	5,10	4,50	5,10	4,60
5,10	4,80	5,10	4,80	5,10	4,70
5,20	5,10	5,10	5,00	5,10	5,00
5,70	7,30	5,60	7,10	5,60	6,80
5,90	8,00	5,80	7,80	5,80	7,40
6,70	10,00	6,70	10,10	6,80	10,20
7,50	11,80	7,40	11,50	7,20	11,00
9,40	14,80	9,10	14,40	8,80	13,90
11,50	17,80	11,40	17,70	11,30	17,40
13,60	20,00	12,80	19,10	12,00	18,20
41,80	38,50	41,00	38,20	40,20	37,80
51,20	42,40	48,20	41,30	45,30	40,00
60,40	45,50	57,30	44,30	53,80	43,20
61,20	45,60	57,90	44,60	55,50	43,70
62,00	46,00	60,60	45,50	59,30	45,10
68,30	47,80	71,50	48,70	74,80	49,60
73,00	49,00	80,40	51,10	76,60	50,10
84,30	52,10	81,80	51,30	92,00	53,90
95,20	54,60	100,10	55,60	105,20	56,60
99,80	55,60	113,10	58,10	128,60	60,80
331,20	82,10	364,40	84,50	401,60	87,00
345,40	83,40	380,40	85,70	419,40	88,10
563,20	95,70	603,10	97,50	646,10	99,40

Tabela I.39 – Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 38,0% de umidade, 30,0% de sacarose e 6,9% de gordura

Ensaio 39		Ensaio 39A		Ensaio 39B	
P(mmHg)	T (°C)	P(mmHg)	T (°C)	P(mmHg)	T (°C)
5,60	7,20	5,60	7,20	5,60	7,20
6,90	10,60	6,90	10,70	6,70	10,10
6,90	10,70	6,90	10,60	6,70	10,10
6,90	10,70	6,90	10,70	6,80	10,40
8,40	13,40	8,40	13,40	8,10	13,00
8,40	13,30	8,40	13,30	8,10	12,80
10,60	16,80	10,60	16,80	10,10	15,90
10,70	16,90	10,70	16,90	10,90	17,20
11,00	17,20	11,00	17,20	10,50	16,60
11,10	17,30	11,10	17,30	11,00	17,30
38,70	37,40	38,70	37,40	38,00	37,10
40,30	38,20	81,70	51,70	76,10	50,20
47,50	41,20	82,10	51,80	86,00	52,90
51,00	42,50	85,80	52,80	92,20	54,30
56,80	44,70	88,10	53,30	94,70	54,90
60,20	45,80	97,20	55,30	90,10	53,60
69,80	48,70	101,60	56,20	106,80	57,30
73,60	49,70	117,90	59,40	134,30	62,20
82,10	51,80	128,40	61,10	121,60	59,90
85,80	52,80	150,50	64,50	146,30	63,90
88,10	53,30	231,40	74,20	245,80	75,60
101,60	56,20	272,40	78,00	255,80	76,40
117,90	59,40	386,70	86,50	454,80	90,80

Tabela I.40 – Dados experimentais do ponto de ebulição do leite com 39,0% de umidade, 30,0% de sacarose e 5,2% de gordura

Ensaio 40		Ensaio 40A		Ensaio 40B	
P(mmHg)	T (°C)	P(mmHg)	T (°C)	P(mmHg)	T (°C)
5,60	6,80	5,60	6,80	5,60	6,70
6,50	9,30	6,40	8,90	6,20	8,50
6,50	9,30	6,40	8,90	6,20	8,50
6,70	9,80	6,60	9,60	6,50	9,30
7,90	12,30	7,70	11,90	7,60	11,60
7,80	12,10	7,60	11,60	7,40	11,20
9,60	14,80	9,10	14,20	8,70	13,50
11,10	17,10	11,30	17,40	11,50	17,70
10,10	15,60	9,60	15,00	9,30	14,40
10,90	16,80	10,80	16,70	10,70	16,50
37,30	36,50	36,60	36,10	36,00	35,80
70,90	48,50	66,20	47,20	61,90	45,90
90,30	53,50	94,80	54,50	99,60	55,50
99,20	55,50	107,00	57,00	115,50	58,60
102,00	56,00	110,00	57,60	118,80	59,20
83,70	51,80	77,90	50,40	72,60	49,00
112,40	58,00	118,40	59,10	124,80	60,20
153,60	64,80	176,40	67,80	203,40	71,00
115,40	58,50	109,50	57,40	104,00	56,30
142,30	63,00	138,50	62,40	134,70	61,80
261,30	76,70	277,90	78,20	295,70	79,70
240,40	74,70	226,10	73,20	212,80	71,90
536,60	94,80	635,10	99,30	754,00	104,10

APÊNDICE II

Neste apêndice, apresentam-se a análise de variância e a regressão linear realizada no SAS, através do comando PROC REG e PROG GLM, para o parâmetro m_0 do modelo de Dürhing.

II.1 – VARIÁVEIS ANALISADAS NOS MODELOS

The SAS System

umd	Sac	Grd	m0	TRT	US	UG	SG	LOF
59.0	0	5.6	3.8730	1	0	330.40	0.0	1
64.5	0	4.2	3.5798	1	0	270.90	0.0	1
65.0	0	3.5	3.2044	1	0	227.50	0.0	1
68.5	0	5.7	2.2734	1	0	390.45	0.0	1
73.0	0	6.5	2.0708	1	0	474.50	0.0	1
73.5	0	5.5	1.9793	1	0	404.25	0.0	1
55.5	6	6.1	3.8239	2	333	338.55	36.6	2
56.0	6	5.3	3.6713	2	336	296.80	31.8	2
60.0	6	6.6	3.5956	2	360	396.00	39.6	2
61.0	6	5.0	3.3633	2	366	05.00	30.0	2
66.0	6	4.6	2.0667	2	396	303.60	27.6	2
70.5	6	4.9	1.7715	2	423	345.45	29.4	2
53.0	12	5.0	3.7235	3	636	265.00	60.0	3
57.5	12	5.9	3.5046	3	690	339.25	70.8	3
59.0	12	3.0	2.9081	3	708	177.00	36.0	3
62.0	12	6.3	2.3187	3	744	390.60	75.6	3
63.5	12	3.2	1.7939	3	762	203.20	38.4	3
67.5	12	4.8	1.7634	3	810	324.00	57.6	3
49.5	18	5.8	3.9111	4	891	287.10	104.4	4
50.0	18	4.9	3.3802	4	900	245.00	88.2	4
54.0	18	6.1	3.3565	4	972	329.40	109.8	4
54.5	18	5.4	3.2432	4	981	294.30	97.2	4
60.0	18	4.0	1.8742	4	1080	240.00	72.0	4
64.0	18	5.7	1.9302	4	1152	364.80	102.6	4
65.0	18	3.4	1.5948	4	1170	221.00	61.2	4
47.0	24	4.5	3.3550	5	1128	211.50	108.0	5
47.5	24	3.9	3.3870	5	1140	185.25	93.6	5
51.5	24	4.8	2.7718	5	1236	247.20	115.2	5
52.5	24	3.3	2.8041	5	1260	173.25	79.2	5
57.5	24	2.9	1.7369	5	1380	166.75	69.6	5
58.0	24	1.7	1.4890	5	1392	98.60	40.8	5
61.5	24	4.1	1.7668	5	1476	252.15	98.4	5
63.0	24	1.3	1.2014	5	1512	81.90	31.2	5
38.0	30	6.9	4.5092	6	1140	262.20	207.0	6
39.0	30	5.2	4.0426	6	1170	202.80	156.0	6
43.5	30	5.5	3.5463	6	1305	239.25	165.0	6
49.5	30	3.0	2.4544	6	1485	148.50	90.0	6
54.5	30	2.5	1.7081	6	1635	136.25	75.0	6
55.0	30	1.5	1.6227	6	1650	82.50	45.0	6
58.5	30	3.8	1.7349	6	1755	222.30	114.0	6

II.2 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA

The REG Procedure
 Model: MODEL1
 Dependent Variable: m0

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	3	30.50112	10.16704	204.57	<.0001
Error	36	1.78922	0.04970		
Corrected Total	39	32.29034			

Root MSE	0.22294	R-Square	0.9446
Dependent Mean	2.71764	Adj R-Sq	0.9400
Coeff Var	8.20329		

II.2.1 – ESTIMATIVAS DOS PARÂMETROS

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr > t
Intercept	1	11.26099	0.56911	19.79	<.0001
umd	1	-0.13348	0.00687	-19.44	<.0001
Sac	1	-0.08076	0.00610	-13.24	<.0001
Grd	1	0.09766	0.03170	3.08	0.0039

II.2.2 – ANÁLISE DE RESÍDUO

The SAS System

The REG Procedure
 Model: MODEL1
 Dependent Variable: m0

Output Statistics

Obs	Dep Var m0	Predicted Value Mean	Std Error Predict	Std Error Residual	Std Error Residual	Student Residual
1	3.8730	3.9326	0.0825	-0.0596	0.207	-0.288
2	3.5798	3.0618	0.0816	0.5180	0.207	2.497
3	3.2044	2.9267	0.0946	0.2777	0.202	1.376
4	2.2734	2.6743	0.0678	-0.4009	0.212	-1.888
5	2.0708	2.1518	0.0935	-0.0810	0.202	-0.400
6	1.9793	1.9874	0.0810	-0.008123	0.208	-0.0391

7	3.8239	3.9641	0.0675	-0.1402	0.212	-0.660
8	3.6713	3.8192	0.0682	-0.1479	0.212	-0.697
9	3.5956	3.4123	0.0639	0.1833	0.214	0.858
10	3.3633	3.1225	0.0523	0.2408	0.217	1.111
11	2.0667	2.4161	0.0522	-0.3494	0.217	-1.612
12	1.7715	1.8447	0.0677	-0.0732	0.212	-0.345
13	3.7235	3.7058	0.0581	0.0177	0.215	0.0822
14	3.5046	3.1930	0.0488	0.3116	0.218	1.432
15	2.9081	2.7096	0.0704	0.1985	0.212	0.938
16	2.3187	2.6315	0.0685	-0.3128	0.212	-1.474
17	1.7939	2.1285	0.0571	-0.3346	0.215	-1.553
18	1.7634	1.7508	0.0648	0.0126	0.213	0.0589
19	3.9111	3.7666	0.0582	0.1445	0.215	0.672
20	3.3802	3.6119	0.0534	-0.2317	0.216	-1.071
21	3.3565	3.1952	0.0589	0.1613	0.215	0.750
22	3.2432	3.0601	0.0448	0.1831	0.218	0.838
23	1.8742	2.1892	0.0415	-0.3150	0.219	-1.438
24	1.9302	1.8214	0.0875	0.1088	0.205	0.531
25	1.5948	1.4633	0.0618	0.1315	0.214	0.614
26	3.3550	3.4887	0.0585	-0.1337	0.215	-0.622
27	3.3870	3.3634	0.0617	0.0236	0.214	0.110
28	2.7718	2.9174	0.0491	-0.1456	0.217	-0.669
29	2.8041	2.6374	0.0528	0.1667	0.217	0.770
30	1.7369	1.9310	0.0565	-0.1941	0.216	-0.900
31	1.4890	1.7470	0.0794	-0.2580	0.208	-1.239
32	1.7668	1.5142	0.0731	0.2526	0.211	1.199
33	1.2014	1.0406	0.0914	0.1608	0.203	0.791
34	4.5092	4.4399	0.1094	0.0693	0.194	0.357
35	4.0426	4.1404	0.0881	-0.0978	0.205	-0.478
36	3.5463	3.5690	0.0784	-0.0227	0.209	-0.109
37	2.4544	2.5240	0.0651	-0.0696	0.213	-0.326
38	1.7081	1.8078	0.0703	-0.0997	0.212	-0.471
39	1.6227	1.6434	0.0860	-0.0207	0.206	-0.101
40	1.7349	1.4008	0.0855	0.3341	0.206	1.623

Output Statistics

Obs	-2	-1	0	1	2	Cook's D
1						0.003
2				****		0.241
3				**		0.104
4		***				0.091
5						0.009
6						0.000
7		*				0.011
8		*				0.013
9				*		0.016
10				**		0.018
11		***				0.038
12						0.003
13						0.000
14				**		0.026
15				*		0.024
16		**				0.057
17		***				0.042

18			0.000
19		*	0.008
20	**		0.017
21		*	0.011
22		*	0.007
23	**		0.019
24		*	0.013
25		*	0.008
26	*		0.007
27			0.000
28	*		0.006
29		*	0.009
30	*		0.014
31	**		0.056
32		**	0.043
33		*	0.032
34			0.010
35			0.011
36			0.000
37			0.002
38			0.006
39			0.000
40		***	0.114

Sum of Residuals 0
Sum of Squared Residuals 1.78922
Predicted Residual SS (PRESS) 2.19697

II.3. PROC GLM – FALTA DE AJUSTE

The GLM Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
LOF	6	1 2 3 4 5 6

Number of observations 40

The GLM Procedure

Dependent Variable: m0

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	7	30.53522974	4.36217568	79.53	<.0001
Error	32	1.75510902	0.05484716		
Corrected Total	39	32.29033876			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	m0 Mean
0.945646	8.617576	0.234195	2.717640

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
umd	1	11.66747111	11.66747111	212.73	<.0001
Sac	1	18.36197382	18.36197382	334.78	<.0001
Grd	1	0.47167811	0.47167811	8.60	0.0062
LOF	4	0.03410670	0.00852667	0.16	0.9591

APÊNDICE III

Neste apêndice, apresentam-se a análise de variância e a regressão linear realizada no SAS, através do comando PROC REG e PROC GLM, para o parâmetro m_1 do modelo de Dürhing.

III.1 – VARIÁVEIS ANALISADAS NOS MODELOS

The SAS System

umd	Sac	Grd	m1	TRT	US	UG	SG	U2	G2	S2	LOF
59.0	0	5.6	0.9997	1	0	330.40	0.0	3481.00	31.36	0	1
64.5	0	4.2	0.9934	1	0	270.90	0.0	4160.25	17.64	0	1
65.0	0	3.5	0.9972	1	0	227.50	0.0	4225.00	12.25	0	1
68.5	0	5.7	0.9984	1	0	390.45	0.0	4692.25	32.49	0	1
73.0	0	6.5	0.9994	1	0	474.50	0.0	5329.00	42.25	0	1
73.5	0	5.5	0.9982	1	0	404.25	0.0	5402.25	30.25	0	1
55.5	6	6.1	1.0004	2	333	338.55	36.6	3080.25	37.21	36	2
56.0	6	5.3	1.0008	2	336	296.80	31.8	3136.00	28.09	36	2
60.0	6	6.6	0.9991	2	360	396.00	39.6	3600.00	43.56	36	2
61.0	6	5.0	0.9980	2	366	305.00	30.0	3721.00	25.00	36	2
66.0	6	4.6	0.9979	2	396	303.60	27.6	4356.00	21.16	36	2
70.5	6	4.9	1.0002	2	423	345.45	29.4	4970.25	24.01	36	2
53.0	12	5.0	0.9978	3	636	265.00	60.0	2809.00	25.00	144	3
57.5	12	5.9	0.9969	3	690	339.25	70.8	3306.25	34.81	144	3
59.0	12	3.0	0.9980	3	708	177.00	36.0	3481.00	9.00	144	3
62.0	12	6.3	0.9986	3	744	390.60	75.6	3844.00	39.69	144	3
63.5	2	3.2	0.9988	3	762	203.20	38.4	4032.25	10.24	144	3
67.5	12	4.8	1.0000	3	810	324.00	57.6	4556.25	23.04	144	3
49.5	18	5.8	0.9966	4	891	287.10	104.4	2450.25	33.64	324	4
50.0	18	4.9	1.0032	4	900	245.00	88.2	2500.00	24.01	324	4
54.0	18	6.1	0.9991	4	972	329.40	109.8	2916.00	37.21	324	4
54.5	18	5.4	0.9989	4	981	294.30	97.2	2970.25	29.16	324	4
60.0	18	4.0	1.0001	4	1080	240.00	72.0	3600.00	16.00	324	4
64.0	18	5.7	1.0004	4	1152	364.80	102.6	4096.00	32.49	324	4
65.0	18	3.4	0.9999	4	1170	221.00	61.2	4225.00	11.56	324	4
47.0	24	4.5	1.0010	5	1128	211.50	108.0	2209.00	20.25	576	5
47.5	24	3.9	0.9985	5	1140	185.25	93.6	2256.25	15.21	576	5
51.5	24	4.8	0.9943	5	1236	247.20	115.2	2652.25	23.04	576	5
52.5	24	3.3	0.9999	5	1260	173.25	79.2	2756.25	10.89	576	5
57.5	24	2.9	1.0015	5	1380	166.75	69.6	3306.25	8.41	576	5
58.0	24	1.7	1.0028	5	1392	98.60	40.8	3364.00	2.89	576	5
61.5	24	4.1	1.0007	5	1476	252.15	98.4	3782.25	16.81	576	5
63.0	24	1.3	1.0020	5	1512	81.90	31.2	3969.00	1.69	576	5
38.0	30	6.9	0.9963	6	1140	262.20	207.0	1444.00	47.61	900	6
39.0	30	5.2	0.9988	6	1170	202.80	156.0	1521.00	27.04	900	6
43.5	30	5.5	1.0017	6	1305	239.25	165.0	1892.25	30.25	900	6
49.5	30	3.0	0.9968	6	1485	148.50	90.0	2450.25	9.00	900	6
54.5	30	2.5	1.0036	6	1635	136.25	75.0	2970.25	6.25	900	6
55.0	30	1.5	1.0023	6	1650	82.50	45.0	3025.00	2.25	900	6
58.5	30	3.8	1.0032	6	1755	222.30	114.0	3422.25	14.44	900	6

III.2 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA

The REG Procedure
 Model: MODEL1
 Dependent Variable: ml

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	2	0.00005645	0.00002822	7.06	0.0025
Error	37	0.00014781	0.00000399		
Corrected Total	39	0.00020426			

Root MSE	0.00200	R-Square	0.2764
Dependent Mean	0.99936	Adj R-Sq	0.2372
Coeff Var	0.20000		

III.2.1 – ESTIMATIVAS DOS PARÂMETROS

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr > t
Intercept	1	0.99832	0.00059237	1685.29	<.0001
Sac	1	0.00018882	0.00005046	3.74	0.0006
SG	1	-0.00002953	0.00001081	-2.73	0.0096

III.2.2 – ANÁLISE DE RESÍDUO

The REG Procedure
 Model: MODEL1
 Dependent Variable: ml

Output Statistics

Obs	Dep Var ml	Predicted Value	StdError Mean Predict	Residual	Std Error Residual	Student Residual
1	0.9997	0.9983	0.000592	0.001381	0.00191	0.723
2	0.9934	0.9983	0.000592	-0.004919	0.00191	-2.577
3	0.9972	0.9983	0.000592	-0.001119	0.00191	-0.586
4	0.9984	0.9983	0.000592	0.0000806	0.00191	0.0422
5	0.9994	0.9983	0.000592	0.001081	0.00191	0.566
6	0.9982	0.9983	0.000592	-0.000119	0.00191	-0.0625
7	1.0004	0.9984	0.000447	0.002029	0.00195	1.041
8	1.0008	0.9985	0.000441	0.002287	0.00195	1.173
9	0.9991	0.9983	0.000453	0.000817	0.00195	0.420
10	0.9980	0.9986	0.000441	-0.000566	0.00195	-0.290
11	0.9979	0.9986	0.000442	-0.000737	0.00195	-0.378
12	1.0002	0.9986	0.000441	0.001616	0.00195	0.829
13	0.9978	0.9988	0.000349	-0.001013	0.00197	-0.515

14	0.9969	0.9985	0.000394	-0.001594	0.00196	-0.814
15	0.9980	0.9995	0.000380	-0.001522	0.00196	-0.776
16	0.9986	0.9984	0.000423	0.000248	0.00195	0.127
17	0.9988	0.9995	0.000369	-0.000651	0.00196	-0.331
18	1.0000	0.9989	0.000344	0.001116	0.00197	0.567
19	0.9966	0.9986	0.000459	-0.002035	0.00195	-1.046
20	1.0032	0.9991	0.000357	0.004087	0.00197	2.078
21	0.9991	0.9985	0.000503	0.000625	0.00193	0.323
22	0.9989	0.9988	0.000408	0.0000526	0.00196	0.0269
23	1.0001	0.9996	0.000324	0.000508	0.00197	0.258
24	1.0004	0.9987	0.000446	0.001712	0.00195	0.879
25	0.9999	0.9999	0.000352	-0.000011	0.00197	-0.0054
26	1.0010	0.9997	0.000423	0.001339	0.00195	0.685
27	0.9985	1.0001	0.000405	-0.001587	0.00196	-0.811
28	0.9943	0.9994	0.000453	-0.005149	0.00195	-2.645
29	0.9999	1.0005	0.000444	-0.000612	0.00195	-0.314
30	1.0015	1.0008	0.000496	0.000704	0.00194	0.364
31	1.0028	1.0016	0.000722	0.001154	0.00186	0.619
32	1.0007	0.9999	0.000405	0.000755	0.00196	0.386
33	1.0020	1.0019	0.000811	0.0000703	0.00183	0.0385
34	0.9963	0.9979	0.001100	-0.001570	0.00167	-0.941
35	0.9988	0.9994	0.000676	-0.000577	0.00188	-0.307
36	1.0017	0.9991	0.000739	0.002589	0.00186	1.394
37	0.9968	1.0013	0.000621	-0.004526	0.00190	-2.382
38	1.0036	1.0018	0.000715	0.001831	0.00187	0.981
39	1.0023	1.0027	0.000959	-0.000355	0.00175	-0.202
40	1.0032	1.0006	0.000542	0.002583	0.00192	1.343

Output Statistics

Obs	-2	-1	0	1	2	Cook's D
1					*	0.017
2	*****					0.213
3			*			0.011
4						0.000
5				*		0.010
6						0.000
7				**		0.019
8				**		0.024
9						0.003
10						0.001
11						0.002
12				*		0.012
13			*			0.003
14			*			0.009
15			*			0.008
16						0.000
17						0.001
18				*		0.003
19		**				0.020
20				*****		0.047
21						0.002
22						0.000
23						0.001
24				*		0.013
25						0.000
26				*		0.007
27			*			0.009
28	*****					0.126

29			0.002
30			0.003
31	*		0.019
32			0.002
33			0.000
34	*		0.128
35			0.004
36	**		0.103
37	****		0.202
38	*		0.047
39			0.004
40	**		0.048

Sum of Residuals 1.10573E-14
Sum of Squared Residuals 0.00014781
Predicted Residual SS (PRESS) 0.00017331

III.3. PROC GLM – FALTA DE AJUSTE

The GLM Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
LOF	6	1 2 3 4 5 6

Number of observations 40

The GLM Procedure

Dependent Variable: m1

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	6	0.00007131	0.00001188	2.95	0.0204
Error	33	0.00013295	0.00000403		
Corrected Total	39	0.00020426			

R-Square 0.349109
Coeff Var 0.200846
Root MSE 0.002007
m1 Mean 0.999360

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Sac	1	0.00002661	0.00002661	6.60	0.0149
SG	1	0.00002984	0.00002984	7.41	0.0103
LOF	4	0.00001486	0.00000372	0.92	0.4628

APÊNDICE IV

Neste apêndice, apresentam-se a análise de variância e a regressão linear realizada no SAS, através do comando PROC REG e PROG GLM, para os parâmetros *A*, *B* e *C* do modelo de ANTOINE.

VI.1. VARIÁVEIS ANALISADAS NOS MODELOS PARA A, B E C

The SAS System

umd	Sac	Grd	NC	TRT	US	UG	SG	U2	G2	S2	LOF
73.0	0	6.5	244.7	1	0	474.50	0.0	5329.00	42.25	0	1
73.5	0	5.5	243.6	1	0	404.25	0.0	5402.25	30.25	0	1
68.5	0	5.7	241.8	1	0	390.45	0.0	4692.25	32.49	0	1
64.5	0	4.2	244.4	1	0	270.90	0.0	4160.25	17.64	0	1
65.0	0	3.5	231.6	1	0	227.50	0.0	4225.00	12.25	0	1
59.0	0	5.6	232.8	1	0	330.40	0.0	3481.00	31.36	0	1
70.5	6	4.9	232.7	2	423	345.45	29.4	4970.25	24.01	36	2
66.0	6	4.6	249.9	2	396	303.60	27.6	4356.00	21.16	36	2
60.0	6	6.6	225.3	2	360	396.00	39.6	3600.00	43.56	36	2
61.0	6	5.0	236.1	2	366	305.00	30.0	3721.00	25.00	36	2
55.5	6	6.1	230.4	2	333	338.55	36.6	3080.25	37.21	36	2
56.0	6	5.3	227.2	2	336	296.80	31.8	3136.00	28.09	36	2
67.5	12	4.8	249.4	3	810	324.00	57.6	4556.25	23.04	144	3
62.0	12	6.3	242.1	3	744	390.60	75.6	3844.00	39.69	144	3
63.5	12	3.2	238.7	3	762	203.20	38.4	4032.25	10.24	144	3
57.5	12	5.9	226.2	3	690	339.25	70.8	3306.25	34.81	144	3
59.0	12	3.0	224.2	3	708	177.00	36.0	3481.00	9.00	144	3
53.0	12	5.0	222.1	3	636	265.00	60.0	2809.00	25.00	144	3
64.0	18	5.7	219.7	4	1152	364.80	102.6	4096.00	32.49	324	4
65.0	18	3.4	231.0	4	1170	221.00	61.2	4225.00	11.56	324	4
60.0	18	4.0	237.8	4	1080	240.00	72.0	3600.00	16.00	324	4
54.0	18	6.1	243.0	4	972	329.40	109.8	2916.00	37.21	324	4
54.5	18	5.4	247.3	4	981	294.30	97.2	2970.25	29.16	324	4
49.5	18	5.8	239.8	4	891	287.10	104.4	2450.25	33.64	324	4
50.0	18	4.9	229.2	4	900	245.00	88.2	2500.00	24.01	324	4
61.5	24	4.1	228.0	5	1476	252.15	98.4	3782.25	16.81	576	5
63.0	24	1.3	229.2	5	1512	81.90	31.2	3969.00	1.69	576	5
57.5	24	2.9	240.3	5	1380	166.75	69.6	3306.25	8.41	576	5
58.0	24	1.7	236.1	5	1392	98.60	40.8	3364.00	2.89	576	5
51.5	24	4.8	229.1	5	1236	247.20	115.2	2652.25	23.04	576	5
52.5	24	3.3	251.2	5	1260	173.25	79.2	2756.25	10.89	576	5
47.0	24	4.5	231.1	5	1128	211.50	108.0	2209.00	20.25	576	5
47.5	24	3.9	221.5	5	1140	185.25	93.6	2256.25	15.21	576	5
58.5	30	3.8	223.3	6	1755	222.30	114.0	3422.25	14.44	900	6
54.5	30	2.5	238.0	6	1635	136.25	75.0	2970.25	6.25	900	6
55.0	30	1.5	235.9	6	1650	82.50	45.0	3025.00	2.25	900	6
49.5	30	3.0	235.3	6	1485	148.50	90.0	2450.25	9.00	900	6
43.5	30	5.5	234.0	6	1305	239.25	165.0	1892.25	30.25	900	6
38.0	30	6.9	220.3	6	1140	262.20	207.0	1444.00	47.61	900	6
39.0	30	5.2	224.1	6	1170	202.80	156.0	1521.00	27.04	900	6

VI.2. PARÂMETRO A

VI.2.1 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA

The REG Procedure
 Model: MODEL1
 Dependent Variable: A

NOTE: No intercept in model. R-Square is redefined.

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	14002	3500.43793	30086.4	<.0001
Error	36	4.18846	0.11635		
Uncorrected Total	40	14006			

Root MSE	0.34110	R-Square	0.9997
Dependent Mean	18.70845	Adj R-Sq	0.9997
Coeff Var	1.82322		

IV.2.2. ESTIMATIVAS DOS PARÂMETROS

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr > t
umd	1	0.56180	0.01529	36.74	<.0001
Sac	1	0.27209	0.02838	9.59	<.0001
US	1	-0.00471	0.00048291	-9.75	<.0001
U2	1	-0.00412	0.00023175	-17.76	<.0001

The SAS System

IV.2.3 – ANÁLISE DE RESÍDUO

The REG Procedure
 Model: MODEL1
 Dependent Variable: A

Output Statistics

Obs	Dep Var A	Predicted Value Mean	Std Error Predict	Std Error Residual	Std Error Residual	Student Residual
1	19.1486	19.0720	0.1717	0.0766	0.295	0.260
2	19.1066	19.0513	0.1791	0.0553	0.290	0.190
3	19.0283	19.1654	0.1197	-0.1371	0.319	-0.429
4	19.3029	19.1085	0.1055	0.1944	0.324	0.599
5	18.6631	19.1228	0.1054	-0.4597	0.324	-1.417

6	18.7196	18.8150	0.1314	-0.0954	0.315	-0.303
7	18.5930	18.7848	0.1208	-0.1918	0.319	-0.601
8	19.3899	18.9127	0.0805	0.4772	0.331	1.440
9	18.3634	18.8239	0.0894	-0.4605	0.329	-1.399
10	18.8646	18.8593	0.0840	0.005282	0.331	0.0160
11	18.5794	18.5628	0.1196	0.0166	0.319	0.0519
12	18.4255	18.6001	0.1161	-0.1746	0.321	-0.544
13	19.3199	18.6137	0.0961	0.7062	0.327	2.158
14	19.0245	18.7670	0.0654	0.2575	0.335	0.769
15	18.8498	18.7499	0.0685	0.0999	0.334	0.299
16	18.3756	18.7071	0.0766	-0.3315	0.332	-0.997
17	18.2782	18.7456	0.0704	-0.4674	0.334	-1.400
18	18.2391	18.4805	0.1001	-0.2414	0.326	-0.740
19	18.0675	18.5641	0.0944	-0.4966	0.328	-1.515
20	18.5224	18.5100	0.1027	0.0124	0.325	0.0381
21	18.8082	18.6980	0.0714	0.1102	0.334	0.330
22	19.1246	18.6519	0.0712	0.4727	0.334	1.417
23	19.3209	18.6670	0.0700	0.6539	0.334	1.959
24	19.0823	18.4227	0.0870	0.6596	0.330	2.000
25	18.5528	18.4564	0.0850	0.0964	0.330	0.292
26	18.4004	18.5579	0.1101	-0.1575	0.323	-0.488
27	18.4249	18.4622	0.1232	-0.0373	0.318	-0.117
28	18.9042	18.7225	0.0829	0.1817	0.331	0.549
29	18.6992	18.7091	0.0856	-0.009902	0.330	-0.0300
30	18.4937	18.7224	0.0726	-0.2287	0.333	-0.686
31	19.4458	18.7430	0.0714	0.7028	0.334	2.107
32	18.5946	18.5278	0.0887	0.0668	0.329	0.203
33	18.1370	18.5577	0.0862	-0.4207	0.330	-1.275
34	18.1898	18.6731	0.1224	-0.4833	0.318	-1.518
35	18.7865	18.8519	0.0978	-0.0654	0.327	-0.200
36	18.6957	18.8368	0.0999	-0.1411	0.326	-0.433
37	18.7469	18.8902	0.0964	-0.1433	0.327	-0.438
38	18.7095	18.6645	0.1351	0.0450	0.313	0.144
39	18.0929	18.1971	0.1904	-0.1042	0.283	-0.368
40	18.2661	18.3006	0.1795	-0.0345	0.290	-0.119

Output Statistics

Obs	-2	-1	0	1	2	Cook's D
1						0.006
2						0.003
3						0.006
4				*		0.009
5		**				0.053
6						0.004
7		*				0.013
8			**			0.031
9		**				0.036
10						0.000
11						0.000
12		*				0.010
13			****			0.100
14			*			0.006
15						0.001
16		*				0.013
17		**				0.022

The SAS System

The REG Procedure
 Model: MODEL1
 Dependent Variable: A

Output Statistics

Obs	-2	-1	0	1	2	Cook's D
18		*				0.013
19		***				0.048
20						0.000
21						0.001
22				**		0.023
23				***		0.042
24				***		0.070
25						0.001
26						0.007
27						0.001
28				*		0.005
29						0.000
30				*		0.006
31				****		0.051
32						0.001
33				**		0.028
34				***		0.085
35						0.001
36						0.004
37						0.004
38						0.001
39						0.015
40						0.001

Sum of Residuals 0.00871
 Sum of Squared Residuals 4.18846
 Predicted Residual SS (PRESS) 4.83077

IV.2.4. PROC GLM – FALTA DE AJUSTE

The SAS System

The GLM Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
LOF	6	1 2 3 4 5 6

Number of observations 40
 The SAS System

The GLM Procedure

Dependent Variable: A

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	8	2.27692748	0.28461593	2.58	0.0277
Error	31	3.42294930	0.11041772		
Corrected Total	39	5.69987678			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	A Mean
0.399470	1.776158	0.332292	18.70845

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
umd	1	0.75779675	0.75779675	6.86	0.0135
Sac	1	0.06425945	0.06425945	0.58	0.4513
US	1	0.09850454	0.09850454	0.89	0.3522
U2	1	0.61698314	0.61698314	5.59	0.0245
LOF	4	0.73938359	0.18484590	1.67	0.1811

VI.3. PARÂMETRO B

VI.3.1 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA

The REG Procedure
 Model: MODEL1
 Dependent Variable: B

NOTE: No intercept in model. R-Square is redefined.

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	663723310	165930828	3682.52	<.0001
Error	36	1622126	45059		
Uncorrected Total	40	665345437			

Root MSE	Dependent Mean	Coeff Var	R-Square	Adj R-Sq
212.27122	4072.09250	5.21283	0.9976	0.9973

IV.3.2. ESTIMATIVAS DOS PARÂMETROS

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr > t
umd	1	116.71486	9.51739	12.26	<.0001
Sac	1	62.70823	17.66420	3.55	0.0011
US	1	-1.11366	0.30053	-3.71	0.0007
U2	1	-0.79537	0.14422	-5.51	<.0001

IV.3.3 – ANÁLISE DE RESÍDUO

The SAS System

The REG Procedure

Model: MODEL1

Dependent Variable: B

Output Statistics

Obs	Dep Var B	Predicted Value	Std Error Mean Predict	Residual	Std Error Residual	Student Residual
1	4340	4282	106.8401	57.8560	183.4	0.315
2	4308	4282	111.4851	26.2597	180.6	0.145
3	4263	4263	74.4712	0.4194	198.8	0.00211
4	4400	4219	65.6431	180.5406	201.9	0.894
5	4025	4226	65.5705	-200.9164	201.9	-0.995
6	4069	4117	81.7866	-48.0845	195.9	-0.245
7	4002	4180	75.1733	-178.1669	198.5	-0.898
8	4487	4174	50.1211	313.4234	206.3	1.519
9	3858	4115	55.6586	-256.4809	204.8	-1.252
10	4150	4129	52.2734	21.3263	205.7	0.104
11	3995	4033	74.4423	-38.3279	198.8	-0.193
12	3903	4044	72.2749	-140.5023	199.6	-0.704
13	4455	4105	59.7762	350.4314	203.7	1.720
14	4268	4103	40.6702	164.6572	208.3	0.790
15	4160	4108	42.6263	51.4598	207.9	0.247
16	3872	4065	47.6964	-193.7753	206.8	-0.937
17	3809	4082	43.7937	-272.8103	207.7	-1.313
18	3779	3996	62.3019	-216.5952	202.9	-1.067
19	3680	4058	58.7667	-377.4137	204.0	-1.850
20	3956	4052	63.9390	-95.5796	202.4	-0.472
21	4138	4066	44.4106	72.3572	207.6	0.349
22	4326	4030	44.3338	295.9360	207.6	1.426
23	4446	4035	43.5513	410.9505	207.8	1.978
24	4274	3965	54.1463	308.5014	205.2	1.503
25	3966	3974	52.9157	-8.2633	205.6	-0.0402
26	3883	4031	68.4881	-148.3975	200.9	-0.739
27	3900	4017	76.6525	-117.0421	197.9	-0.591
28	4200	4050	51.5910	150.4530	205.9	0.731
29	4077	4049	53.2437	28.5923	205.5	0.139
30	3933	4030	45.1579	-96.8989	207.4	-0.467
31	4536	4037	44.4371	499.0329	207.6	2.404
32	4002	3977	55.2110	24.8935	205.0	0.121
33	3739	3985	53.6696	-245.6186	205.4	-1.196
34	3761	4033	76.1654	-271.2246	198.1	-1.369
35	4134	4059	60.8606	74.6869	203.4	0.367

36	4075	4057	62.1691	18.0811	203.0	0.0891
37	4090	4056	60.0030	33.9181	203.6	0.167
38	4080	4000	84.0926	79.8301	194.9	0.410
39	3725	3898	118.4982	-173.0183	176.1	-0.982
40	3821	3920	111.6881	-99.7796	180.5	-0.553

Output Statistics

Obs	-2	-1	0	1	2	Cook's D
1						0.008
2						0.002
3						0.000
4				*		0.021
5		*				0.026
6						0.003
7		*				0.029
8				***		0.034
9		**				0.029
10						0.000
11						0.001
12		*				0.016
13				***		0.064
14				*		0.006
15						0.001
16		*				0.012
17		**				0.019
18		**				0.027
19		***				0.071
20						0.006
21						0.001
22				**		0.023
23				***		0.043
24				***		0.039
25						0.000
26		*				0.016
27		*				0.013
28				*		0.008
29						0.000
30						0.003
31				****		0.066
32						0.000
33		**				0.024
34		**				0.069
35						0.003
36						0.000
37						0.001
38						0.008
39		*				0.109
40		*				0.029

Sum of Residuals -15.28902
Sum of Squared Residuals 1622126
Predicted Residual SS (PRESS) 1904241

IV.3.4. PROC GLM – FALTA DE AJUSTE

The SAS System

The GLM Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
LOF	6	1 2 3 4 5 6

Number of observations 40
The SAS System

The GLM Procedure

Dependent Variable: B

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	8	789998.018	98749.752	2.40	0.0387
Error	31	1277945.470	41224.047		
Corrected Total	39	2067943.488			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	B Mean
0.382021	4.986062	203.0371	4072.093

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
umd	1	254301.0985	254301.0985	6.17	0.0186
Sac	1	15027.1194	15027.1194	0.36	0.5504
US	1	42804.5378	42804.5378	1.04	0.3161
U2	1	214118.4626	214118.4626	5.19	0.0297
LOF	4	263746.7996	65936.6999	1.60	0.1993

VI.4. PARÂMETRO C

VI.4.1 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA

The REG Procedure

Model: MODEL1

Dependent Variable: NC

NOTE: No intercept in model. R-Square is redefined.

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	2194947	548737	9078.65	<.0001
Error	36	2175.93128	60.44254		
Uncorrected Total	40	2197123			

Root MSE	7.77448	R-Square	0.9990
Dependent Mean	234.21000	Adj R-Sq	0.9989
Coeff Var	3.31945		

IV.4.2. ESTIMATIVAS DOS PARÂMETROS

Parameter Estimates					
Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr > t
umd	1	6.70309	0.34858	19.23	<.0001
Sac	1	3.52917	0.64696	5.46	<.0001
US	1	-0.05987	0.01101	-5.44	<.0001
U2	1	-0.04628	0.00528	-8.76	<.0001

IV.4.3 – ANÁLISE DE RESÍDUO

The SAS System
The REG Procedure
Model: MODEL1
Dependent Variable: NC

Output Statistics						
Obs	Dep Var NC	Predicted Value	Std Error Mean Predict	Std Error Residual	Student Residual	Residual
1	244.7000	242.7147	3.9130	1.9853	6.718	0.296
2	243.6000	242.6765	4.0832	0.9235	6.616	0.140
3	241.8000	242.0178	2.7275	-0.2178	7.280	-0.0299
4	244.4000	239.8248	2.4042	4.5752	7.393	0.619
5	231.6000	240.1799	2.4015	-8.5799	7.394	-1.160
6	232.8000	234.3916	2.9955	-1.5916	7.174	-0.222
7	232.7000	238.4081	2.7532	-5.7081	7.271	-0.785
8	249.9000	238.2865	1.8357	11.6135	7.555	1.537
9	225.3000	235.2088	2.0385	-9.9088	7.502	-1.321
10	236.1000	235.9531	1.9145	0.1469	7.535	0.0195
11	230.4000	230.7140	2.7265	-0.3140	7.281	-0.0431
12	227.2000	231.3060	2.6471	-4.1060	7.310	-0.562
13	249.4000	235.4621	2.1893	13.9379	7.460	1.868
14	242.1000	235.5076	1.4896	6.5924	7.630	0.864
15	238.7000	235.7728	1.5612	2.9272	7.616	0.384
16	226.2000	233.4623	1.7469	-7.2623	7.576	-0.959
17	224.2000	234.3523	1.6040	-10.1523	7.607	-1.335
18	222.1000	229.5427	2.2818	-7.4427	7.432	-1.001
19	219.7000	233.9992	2.1523	-14.2992	7.471	-1.914

20	231.0000	233.6548	2.3418	-2.6548	7.413	-0.358
21	237.8000	234.4510	1.6265	3.3490	7.602	0.441
22	243.0000	232.3522	1.6237	10.6478	7.603	1.400
23	247.3000	232.6544	1.5951	14.6456	7.609	1.925
24	239.8000	228.5915	1.9831	11.2085	7.517	1.491
25	229.2000	229.1019	1.9380	0.0981	7.529	0.0130
26	228.0000	233.5374	2.5084	-5.5374	7.359	-0.752
27	229.2000	232.7944	2.8074	-3.5944	7.250	-0.496
28	240.3000	234.5006	1.8895	5.7994	7.541	0.769
29	236.1000	234.4612	1.9501	1.6388	7.526	0.218
30	229.1000	233.1689	1.6539	-4.0689	7.597	-0.536
31	251.2000	233.6223	1.6275	17.5777	7.602	2.312
32	231.1000	229.9835	2.0221	1.1165	7.507	0.149
33	221.5000	230.4300	1.9657	-8.9300	7.522	-1.187
34	223.3000	234.5586	2.7896	-11.2586	7.257	-1.551
35	238.0000	235.8482	2.2290	2.1518	7.448	0.289
36	235.9000	235.7680	2.2770	0.1320	7.434	0.0178
37	235.3000	235.3776	2.1976	-0.0776	7.457	-0.0104
38	234.0000	231.7587	3.0799	2.2413	7.138	0.314
39	220.3000	225.5143	4.3400	-5.2143	6.450	-0.808
40	224.1000	226.8579	4.0906	-2.7579	6.611	-0.417

Output Statistics

Obs	-2	-1	0	1	2	Cook's D
1						0.007
2						0.002
3						0.000
4				*		0.010
5		**				0.036
6						0.002
7		*				0.022
8				***		0.035
9		**				0.032
10						0.000
11						0.000
12		*				0.010
13				***		0.075
14				*		0.007
15						0.002
16		*				0.012
17		**				0.020
18		**				0.024
19		***				0.076
20						0.003
21						0.002
22				**		0.022
23				***		0.041
24				**		0.039
25						0.000
26		*				0.016
27						0.009
28				*		0.009
29						0.001
30		*				0.003
31				****		0.061
32						0.000
33		**				0.024
34		***				0.089

35				0.002
36				0.000
37				0.000
38				0.005
39		*		0.074
40				0.017

Sum of Residuals -0.36801
Sum of Squared Residuals 2175.93128
Predicted Residual SS (PRESS) 2537.63652

IV.4.4. PROC GLM – FALTA DE AJUSTE

The SAS System

The GLM Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
LOF	6	1 2 3 4 5 6

Number of observations 40
The SAS System

The GLM Procedure

Dependent Variable: NC

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	8	1175.492311	146.936539	2.57	0.0283
Error	31	1774.383689	57.238184		
Corrected Total	39	2949.876000			

R-Square Coeff Var Root MSE NC Mean
0.398489 3.230260 7.565592 234.2100

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
umd	1	450.7698217	450.7698217	7.88	0.0086
Sac	1	0.1047214	0.1047214	0.00	0.9662
US	1	68.0720093	68.0720093	1.19	0.2839
U2	1	301.5986787	301.5986787	5.27	0.0286
LOF	4	354.9470798	88.7367699	1.55	0.2122