



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

**PRODUÇÃO DE CONCENTRADOS PROTÉICOS DE LEITE DE
CABRA POR ULTRAFILTRAÇÃO UTILIZANDO MEMBRANAS DE
FIBRA OCA**

PARECER

Este exemplar corresponde à redação final da tese defendida por **José Andrade Crisóstomo Vieira de Olim**, aprovado pela Comissão Julgadora em 05 de agosto de 2002.

Campinas, 05 de agosto de 2002

Prof. Dr. Luiz Antonio Viotto
Presidente da Banca

José Andrade Crisóstomo Vieira de Olim
Químico Industrial

Prof. Dr. Luiz Antonio Viotto
Orientador

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas para obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Alimentos

Campinas – SP

2002

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

UNIDADE 80
Nº CHAMADA UNICAMP
OL3p
V _____ EX _____
TOMBO BC/ 50841
PROC. 16.837/02
C _____ DX _____
PREÇO R\$ 11,00
DATA 12/09/02
Nº CPD _____

CM00172912-6

BIB ID 256568

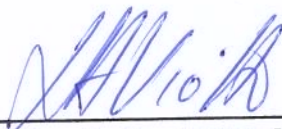
FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA F.E.A. – UNICAMP

OL3p Olim, José Andrade Crisóstomo Vieira de
Produção de concentrados protéicos de leite de cabra por
ultrafiltração utilizando membranas de fibra oca / José Andrade
Crisóstomo Vieira de Olim.—Campinas, SP: [s.n.], 2002.

Orientador: Luiz Antonio Viotto
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de
Campinas.Faculdade de Engenharia de Alimentos.

1.Leite de cabra. 2.Ultrafiltração. 3.Proteínas.
4.Rendimento. I.Viotto, Luis Antonio. II.Universidade Estadual
de Campinas.Faculdade de Engenharia de Alimentos. III.Título.

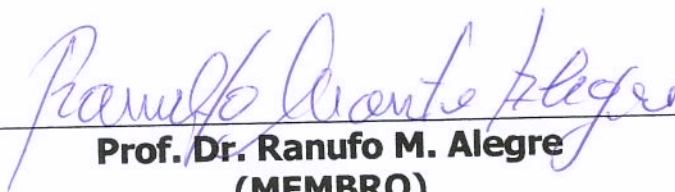
BANCA EXAMINADORA



**Prof. Dr. Luiz Antonio Viotto
(ORIENTADOR)**

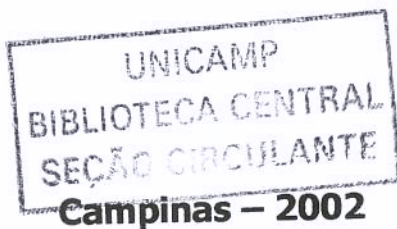


**Profª. Dra. Leila Peres
(MEMBRO)**



**Prof. Dr. Ranufo M. Alegre
(MEMBRO)**

**Profª. Dra. Florência C. Menegalli
(SUPLENTE)**



2002/3284

Dedico este trabalho a deus,
primeiramente, por conceder mais
uma oportunidade de evolução
espiritual e moral em minha vida; a
meus pais João C. V. de Olim e
Esperança P. S. Olim, irmãos Lena,
Manuela, Junior e Adão os quais
mostraram o quanto sou privilegiado
por fazer parte desta magnífica
família.

AGRADECIMENTOS

A deus, por todos os momentos.

Ao professor Dr. Luíz Antonio Viotto, pela confiança, compreensão, orientação, desenvolvimento de um espírito crítico e de um método de trabalho, Principalmente pela amizade.

Aos Professores: Dra Walkíria H. Viotto, Dr. Salvador M. Roig, Dra Mirna L. Gigante e ao Departamento de Tecnologia de alimentos pela disponibilidade de uso do laboratório, sem o qual não seria possível a realização deste trabalho.

Às professoras Walkíria Hanada Viotto, Leila Peres, Florência Cecilia Menegalli e ao professor Ranufo M. Alegre, pela avaliação, instrução e sugestões necessárias ao desenvolvimento do trabalho

Aos meus pais pela oportunidade de ter tido um começo.

À Sueli, Leila, Jorge, Zé Dornelas, Juraneide, Clarrissa, Fabio, Flávio, Mardoni, Guida, Gert, Salles, Zaida, Henda, Brito, Miguel, Jozi, Sanir, Chita, Pedro gomes, Honorato, Robson, Gilvanete, Bebeto, Guerra, Mara, Marcelo Carioca, Josinira, Noé, Luciano, Inês, Patricia, Érika, Daniel, Romulo, Paulinho, Darlila, Marlei, Cinthia, Socrates, Oman e Aracely, pela ajuda, pelos momentos de descontração, companheirismo e apoio.

À técnica do laboratório de Leite e Derivados, Bete, pela amizade e valiosos ensinamentos durante a execução das análises químicas.

Ao José de Ribamar Macedo Costa pelo auxílio na Planta Piloto e durante a execução das análises químicas.

Aos funcionários das Plantas Pilotos e laboratórios do Departamento de Tecnologia de Alimentos pelo apoio e colaboração prestados, durante o decorrer dos experimentos, em especial ao sr. Nelson.

A todos os amigos e colegas da Universidade Estadual de Campinas.

À Celles Cordeiro Agroindustrial-CCA Laticínios pelo fornecimento da matéria-prima

À bibliotecária Creusa pela revisão das referências bibliográficas deste trabalho

À Faculdade de Engenharia de Alimentos pela oportunidade e à FAPESP projeto n^o 00/09855-9 pelo suporte financeiro de vital importância.

ÍNDICE	Pg
ÍNDICE DE TABELAS.....	xv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvii
NOMENCLATURA.....	xxi
SIGLA.....	xxi
RESUMO.....	xxiii
ABSTRACT.....	xxv
I. INTRODUÇÃO.....	01
II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	04
II.1. A caprinocultura no Brasil e no mundo.....	04
II.1.2. Fatores que influenciam na composição do leite de cabra.....	06
II.1.3. O leite de cabra como alimento.....	09
II.1.4. Composição química do leite de cabra.....	10
II.1.5. Produção de queijos de cabra.....	13
II.2. Ultrafiltração.....	16
II.2.1 Fundamentos do processo de ultrafiltração.....	16
II.2.2. Processos com membrana.....	17
II.2.2.1 Fenômenos envolvidos no processo.....	20
II.2.2.2. Parâmetros operacionais.....	22
II.3. Parâmetros dos processos de membranas.....	23
II.3.1 Coeficiente de retenção.....	23
II.3.2 Rendimento.....	23
II.3.3 Porcentagem de variação do componente.....	24
II.4. A aplicação da ultrafiltração na indústria de laticínios.....	25

II.5. Concentrados de leite de cabra por ultrafiltração.....	28
II.6. Modelagem do fluxo de permeado.....	32
III. MATERIAIS E MÉTODOS.....	33
III.1. Concentração das proteínas do leite integral de cabra reconstituído.....	33
III.2. Planejamento experimental.....	35
III.3. Análise estatística dos dados experimentais.....	37
III.4. Determinação de composição química durante a UF.....	38
III.5 Determinação do fluxo de permeado.....	39
IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
IV.1 Análise da composição química do CPLC durante o processo de concentração.....	41
IV.2. Análise do Coeficiente de Retenção do leite integral de cabra reconstituído.....	53
IV.3. Análise do Rendimento dos componentes do leite integral de cabra reconstituído.....	56
IV.4. Fluxo de permeado.....	58
IV.4.1.Efeito da vazão volumétrica e da pressão transmembrana na porcentagem de variação da relação Pt/Lact e no fluxo de permeado global.....	62
IV.4.2. Análise estatística do efeito da vazão volumétrica e da pressão transmembrana sobre a porcentagem de variação da relação Pt/Lact e do fluxo de permeado global.....	64
IV.5. Modelagem do fluxo de permeado.....	67
V. CONCLUSÕES.....	72
VI. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	74
VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	75
ANEXOS.....	89
ANEXO I. Descrição detalhada dos componentes do sistema de ultrafiltração.....	89
ANEXO II. Descrição do procedimento adotado para realização de um experimento.....	90
ANEXO III. Descrição do procedimento adotado para limpeza da membrana.....	93

ANEXO IV Planejamento experimental e gráficos complementares à análise estatística dos dados de porcentagem da variação da relação $P_t/Lact$ e do fluxo de permeado global, a FC igual a 4.....	95
Anexo IV.1. Planejamento experimental.....	95
Anexo IV.2. Efeito da vazão volumétrica e da pressão transmembrana na porcentagem de variação da relação P_t/Lac	99
Anexo IV.3. Efeito da vazão volumétrica e da pressão transmembrana no fluxo de permeado global.....	101

ÍNDICE DE TABELAS

	Pg
Tabela 1. Produção mundial de queijo de cabra.....	05
Tabela 2. Composição média do leite de cabra.....	07
Tabela 3: Comparação da composição do leite de cabra com o de vaca e o humano/100 g.....	12
Tabela 4: Variáveis independentes e níveis usados no estudo.....	36
Tabela 5: Matriz do planejamento fatorial completo 2 ²	37
Tabela 6. Composição centesimal*, em base seca, da alimentação e dos concentrados de proteína de leite integral de cabra reconstituído durante a UF.....	45
Tabela 7. Coeficiente de retenção dos componentes do leite de cabra integral reconstituído em função do FC.....	55
Tabela 8. Rendimento dos componentes do leite integral reconstituído de cabra em função do FC.....	57
Tabela 9. Porcentagem de proteína e relação Pt/Lact em base seca, em função da vazão volumétrica e da pressão transmembrana para a alimentação e concentrados a FC4.....	63
Tabela 10. Porcentagem de variação Pt/Lact a FC 4 em relação a alimentação e fluxo de permeado global em função da vazão volumétrica de alimentação e da pressão transmembrana.....	64
Tabela 11. Valor dos efeitos da vazão volumétrica de alimentação, pressão transmembrana e da interação entre esses efeitos sobre a porcentagem de variação da relação Pt/Lact a FC 4.....	65
Tabela 12. Valor dos efeitos da vazão volumétrica de alimentação, pressão transmembrana e da interação entre esses efeitos sobre o fluxo de permeado global.....	66
Tabela 13. Valores do ajuste dos dados de regressão linear (R), fluxo de permeado (J ₁), índice do “fouling” (b), fluxo de permeado calculado (J _{calc}) e o fluxo de permeado (J _p) em função da vazão volumétrica de alimentação e da pressão transmembrana até FC4.....	68

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pg
Figura 1. Fluxograma produtivo de leite de cabra tipo Chabichou.....	15
Figura 2. Comparação entre filtração convencional (a) e filtração tangencial (b).....	18
Figura 3. Principais características dos processos com membranas que utilizam diferenças de pressão como força motriz.....	19
Figura 4. Declínio do fluxo de permeado com o tempo. <u>Estágio I:</u> Polarização da concentração; <u>Estágio II:</u> Camada “fouling”; <u>Estágio III:</u> Consolidação da camada “fouling”.....	21
Figura 5. Fluxograma do processo de UF do leite de cabra destinado a ser armazenado.....	30
Figura 6 - Esquema da unidade Piloto de ultrafiltração.....	34
Figura 7. Composição, em base seca, da alimentação, dos concentrados e permeados a FC2 e FC4 durante a UF com alimentação de 4m ³ /h, pressão transmembrana de 1,2 bar e temperatura de 50°C (experimento 4).....	47
Figura 8. Porcentagem de variação dos componentes dos concentrados a FC2 e FC4 durante a UF com alimentação de 4m ³ /h, pressão transmembrana de 1,2 bar e temperatura de 50°C (experimento 4).....	49
FIGURA 9. Composição, em base seca, da alimentação, dos concentrados e permeados a FC2 e FC4 durante a UF com alimentação de 1,8m ³ /h, pressão transmembrana de 0,2 bar e temperatura de 50°C (experimento 1).....	51
Figura 10. Porcentagem de variação dos componentes do concentrado a FC2 e FC4 durante a UF com alimentação de 1,8m ³ /h, pressão transmembrana de 0,2 bar e temperatura de 50°C (experimento 1).....	53
Figura 11. Efeito do fator de concentração volumétrica sobre o coeficiente de retenção dos componentes, durante a UF de leite integral de cabra l reconstituído para o (experimento 4).....	56
Figura 12. Efeito do fator de concentração volumétrica sobre o rendimento dos componentes, durante a ultrafiltração do leite integral de cabra reconstituído para o (experimento 4).....	58
Figura 13. Curvas de fluxo de permeado em função do tempo durante a UF, até FC igual a 4, à temperatura de 50°C, para várias vazões de alimentação (Q), e pressões transmembrana (P _{TM}).....	60
Figura 14. Curvas de fluxo de permeado em função do fator de concentração durante a UF, até FC igual a 4, à temperatura de 50°C, para várias vazões de alimentação (Q), e pressões transmembrana (P _{TM}).....	62

Figura 15. Fluxo de permeado experimental e calculado pelo modelo Kuo e Cheryan (1983), para a corrida 1, a temperatura de 50 ⁰ C, pressão transmembrana de 0,2 bar e vazão volumétrica de 1,8m ³ /h.....	69
Figura 16. Fluxo de permeado experimental e calculado pelo modelo Kuo e Cheryan (1983), para a corrida 6, a temperatura de 50 ⁰ C, pressão transmembrana de 0,7 bar e vazão volumétrica de 2,9m ³ /h.....	70
Figura 17. Fluxo de permeado experimental e calculado pelo modelo Kuo e Cheryan (1983), para a corrida 4, a temperatura de 50 ⁰ C, pressão transmembrana de 1,2 bar e vazão volumétrica de 4m ³ /h.....	71

NOMENCLATURA

b	= índice de “fouling”	
C _R	= coeficiente de retenção	
J	= fluxo de permeado global	(kg/h.m ²)
J _p	= fluxo de permeado	(kg/h.m ²)
J _{calc}	= fluxo de permeado calculado	(kg/h.m ²)
P _{TM}	= pressão transmembrana	(bar)
P	= parâmetro de significância do planejamento experimental	(%)
Q	= vazão do fluido	(m ³ /h)
R	= regressão linear	
R ²	= coeficiente de correlação	
Re	= Rendimento protéico	
T	= tempo	(min)
v _t	= velocidade tangencial	(m/s)
V _P	= valores preditos pelo modelo	
V ₀	= valores observados experimentalmente	
Y _p	= % do componente Y no permeado	
Y _r	= % do componente Y no retentado	

Sigla

ALIM	= Alimentação
BS	= base seca
C	= cinzas
CPLC	= concentrados protéicos de leite de cabra
FC	= fator de concentração
FC2	= fator de concentração 2
FC4	= fator de concentração 4
FLS	= fermento láctico selecionado
IBGE	= Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDF	= International Dairy Federation
l	= litros
Lact	= lactose
MF	= microfiltração
MWCO	= peso molecular de corte
NT	= nitrogênio total
N	= número de pontos experimentais
NNP	= nitrogênio não protéico
OR	= osmose reversa
PA	= poliamida
Pt/Lact	= proteína total/lactose
PS	= polissulfona
Pt	= proteína total
PM	= Peso molecular
ST	= sólidos totais
UF	= ultrafiltração

RESUMO

Leite em pó integral de cabra foi reconstituído à temperatura de 50°C e ultrafiltrado a fator de concentração FC4 em unidade piloto, utilizando membrana de fibra oca de polissulfona Romicom “Hollow Fiber”, PM 10.000 Daltons, “Fiber 43”, área efetiva de aproximadamente 1,3 m², pressão máxima de 2,5 bar e temperatura máxima de 75°C, resultando em produtos com cerca de 40% de proteína total, em base seca. Amostras de alimentação, do retentado e do permeado a FC2 e FC4 foram tomadas para análise de composição química. Para as condições operacionais de pressão transmembrana na faixa de 0,2 a 1,2 bar e de vazão volumétrica entre 1,8 e 4 m³/h, foi possível verificar, através do planejamento experimental, o efeito combinado destes parâmetros sobre a porcentagem de variação da relação, entre proteína e lactose (Pt/Lact) a FC4 em relação a alimentação e sobre o fluxo de permeado global, também até FC4. Foi possível verificar ainda que o aumento da vazão volumétrica e da alta pressão transmembrana, nas faixas estudadas, levaram a um aumento da relação Pt/Lact em FC4. Além disso, o aumento da vazão volumétrica melhorou sensivelmente o fluxo de permeado, sendo que a 4m³/h e pressão transmembrana de 1,2 bar foi obtido o maior fluxo de permeado (51,51 kg/h.m²) e a maior concentração relativa de proteína, tendo a relação Pt/Lact assumido o mais alto valor (3,93) na etapa de concentração a FC4. Para as condições operacionais usadas o rendimento e o coeficiente de retenção mostraram-se elevados e assumiram valores entre 0,96 e 0,99 e de 0,96 e 0,98, respectivamente. Para sólidos totais, cinzas e proteínas o coeficiente de retenção aumentou durante a concentração. O modelo de Kuo e Cheryan (1983) para as condições de pressão transmembrana de 0,2-1,2 bar, vazão volumétrica de 1,8-4 m³/h e a temperatura de 50°C apresentou boa concordância com os dados experimentais

ABSTRACT

Whole goat milk powder was reconstituted at 50°C and ultrafiltered up to a concentration factor CF4, using a pilot system composed by a polysulfone membrane Romicon "Hollow Fiber", MW 10.000 D, "Fiber 43" with 1.3 m² of permeation effective area, 2.5 bar of maximum pressure and maximum temperature of 70°C. Products obtained had approximately 40% of total protein in "dried base". Chemical composition analysis were made in samples taken off the feed, retentate and permeate at CF 2.0 and CF 4.0. Recording to operation conditions, it was observed, by the experimental planning, that in the range of 2.0 to 1.2 bar of transmembrane pressure and 1.8 to 4.0 m³/h of flow rate, there was an interactive effect of these operation parameters over protein and lactose relation rate (Pt/lact) at concentration factor 4, when compared to the rate in the feed and comparison in to the global permeate flux, until this same concentration factor. Moreover, high volume flow and high transmembrane pressure caused an increase on the Pt/lact relation at CF4, under the study conditions. It could also be observed that an increase on the volume flow improved permeate flow, and with 4.0 m³/h and a transmembrane pressure of 1.2 bar, we obtained the highest global permeate flow (51.51 kg/h.m²) and protein concentration. At the same conditions and CF4, the relation Pt/lact obtained the highest value (3.93). For the used operational conditions the income and the coefficient of retention had showed high and had assumed values between 0,96 and 0,99 and the 0,96 and 0,98 respectively. For total solids, leached, ashes and proteins the retention coefficient increased during the concentration. The model of Kuo and Cheryan (1983), for the conditions of transmembrane pressure of 0.2 – 1,2 bar, volumetric outflow of 1,8 – 4 m³/h and temperature of 50°C presented good agreement with the experimental data.

I. INTRODUÇÃO

A cabra, um dos primeiros animais a serem domesticados pelo homem, é reconhecida pela sua docilidade, facilidade de manejo e capacidade de utilização dos recursos naturais, sendo pouco exigente e muito resistente às doenças em geral e às variações climáticas. Por estas e outras vantagens é que a caprinocultura vem ganhando destaque, especialmente nos países do terceiro mundo, onde as deficiências alimentares são muito mais preocupantes que nos países desenvolvidos.

A região nordeste do Brasil possui elevada concentração do rebanho caprino e tradicionalmente apresenta elevado índice de desnutrição infantil e apesar das dificuldades tem conseguido combatê-la, pelo menos parcialmente, com esta fonte de proteína. Entretanto, mais entusiasmador ainda é o significado social do que a caprinocultura representa em termos de ativação da economia, de fixação do homem no campo e, sobretudo, da elevação do nível e da qualidade de vida da população sertaneja do nordeste (FAO, 1994; Suassuna 2000).

A indústria de transformação do leite de cabra tem marchado em progresso acelerado, muitas vezes contrastando com a lenta evolução dos processos de produção do leite nas propriedades rurais. A melhoria na qualidade e o número cada vez maior de novos produtos vêm atestar esse progresso. Mas apesar dos avanços, a falta de organização dos produtores, a inexistência de normas adequadas que permitam a comercialização e o processamento do leite e a dificuldade de concorrer com produtos similares já estabelecidos

no mercado e de preços mais acessíveis, prejudicam a implantação de novas técnicas que viabilizem e facilitem a utilização deste produto.

A crescente preocupação com o problema energético, a busca de novos produtos alimentícios de melhor qualidade e a valorização de seus subprodutos, vêm privilegiando o surgimento de processos alternativos de fracionamento e concentração não convencionais. Dentre esses processos, destacam-se os de separação por membranas. Tendo em vista que nos processos físico-químicos as proteínas, geralmente, são modificadas resultando em perdas quanto às suas propriedades funcionais e nutricionais, os processos que usam membranas têm se mostrado uma excelente alternativa para obtenção das proteínas na sua forma nativa.

Considerando o crescente aumento do rebanho caprino, no Brasil e no Mundo, com conseqüente aumento na produção de leite de cabra e a existência de plantas de micro e ultrafiltração compactas com bom fluxo de permeado, abre-se um horizonte para os pequenos produtores e/ou cooperativas com possibilidades de aplicação desta tecnologia para o desenvolvimento de um mercado específico de produtos com maior valor agregado, e conseqüentemente, criando possibilidades de maior crescimento econômico e desenvolvimento social.

Assim, torna-se interessante o estudo dos parâmetros do processo de ultrafiltração na obtenção de um produto base, a partir do leite de cabra, contendo gordura, proteína, lactose e sais minerais que podem apresentar várias aplicações industriais na fabricação de queijos e outros produtos com maior valor agregado.

O principal objetivo de qualquer processo com membrana é permitir a separação seletiva dos componentes da alimentação à máxima taxa de fluxo de permeado, para que o processo seja eficiente e economicamente viável.

Dessa forma, este trabalho visou a produção de Concentrado Protéico de Leite de Cabra (CPLC) por ultrafiltração (UF) utilizando membranas de fibra oca de polissulfona “Hollow Fiber” de peso molecular de corte de 10.000 Daltons, observando a composição, a retenção e o rendimento dos componentes e a relação proteína/lactose (Pt/Lact) até o fator de concentração FC4. Além disso a metodologia de planejamento experimental foi aplicada para verificar o efeito combinado da vazão volumétrica e da pressão transmembrana sobre o fluxo de permeado global e sobre o comportamento da porcentagem de variação da relação Pt/Lact.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

II.1. A caprinocultura no Brasil e no mundo

O rebanho caprino no Brasil é estimado em 12, 8 milhões de cabeças, é o nono maior rebanho caprino do mundo mas contribui com apenas 1,3% da produção de leite de cabra do mundo (FAO, 1995). Durante o período de 1980 a 1992 foi observado um aumento de 50,6% na produção de leite de cabra nacional (FAO, 1993).

A região nordeste concentra cerca de 90% do total do rebanho caprino brasileiro e devido às condições adversas de clima e solo da região, foram ocorrendo alterações que levaram à redução no porte, diminuição no rendimento de carne e menor produção de leite. Assim, esta atividade desenvolveu-se num tipo de exploração extensiva e extrativista, exercendo importante papel sócio-econômico no local (IBGE, 1991).

Somente nos últimos anos, a partir de 1977, com a implantação de programas como PATCOM (Programa de Assistência Técnica a Caprinocultura e Ovinocultura no Nordeste) e a criação de centros como a Caprileite (Associação Brasileira de Criadores de Cabras Leiteiras) e a CNPC (Centro Nacional de Pesquisa de Caprinos) é que a caprinocultura leiteira nacional ganhou novo impulso (Hashimoto *et alii*, 1994)

Segundo Cordeiro *et alii* (2000), é freqüente a opinião de que o mercado internacional poderá ser conquistado com queijo de leite de cabra, desde que o Brasil ofereça produtos de alta qualidade. Porém, ressalta-se a dificuldade enfrentada por

laticínios nacionais em concorrer com os produtos lácteos importados, principalmente da França. O queijo é, sem dúvida, o derivado lácteo de maior interesse econômico e tecnológico, sendo a França, com uma produção de 430 milhões de litros, para um rebanho de 1.069.000 milhões de cabeças, o país que melhor domina a arte de sua fabricação.

Segundo Figueiredo (1987) e Quintans (1995), apesar do imenso potencial que o Brasil apresenta, a coleta para a indústria é muito baixa, em relação aos outros países. Isto se deve em grande parte a ampla distribuição geográfica da produção (não havendo concentração); falta de equipamentos e instalações; débil organização dos produtores; inexistência de normas adequadas que permitam a comercialização e o processamento de leite e de preços mais acessíveis no mercado. Na Tabela 1 são apresentados valores da produção mundial de leite e de queijo de cabra, juntamente com os percentuais do produto industrializado.

Tabela 1. Produção mundial de queijo de cabra (FAO, 1996).

Países	Reb. Caprino FAO 96	Produção de Leite ml*	Coletado p/ Indústria ml	%	Prod. Artesanal (fermier) ml	%	Produção Queijeira
Espanha	2.465.000	450	393	87	-	-	95% queijos misturados. Queijo (mancheiro)
Grécia	6.220.000	436	174	40	174	40	80% queijo feta mist. cabra + ovelha
França	1.069.000	430	270	63	144	33	queijo industrial 43.880 t queijo artesanal 20.550 t 10% ap. orig. controle
Itália	1.457.000	173	7,7	60	-	-	mistura ovelha cabra (80-20)
Alemanha	89.000	25	2,5	10	por volta de 130 fermier	-	puro cabra fresco 800 t cammembert misto cabra + vaca
Países Baixos	50.000	23	21	90	1,5	-	Sobretudo gouda de cabra 70% Exportação
Brasil	12.200.000	147	1,1 (estima tiva)	-	Processado na propriedade; Restante para subsistência (estimativa)	-	40 t leite em pó leite fluido queijos / cosméticos e restante para subsistência

* milhões de litros

Hoje já é possível o acesso a este nutritivo alimento (leite e queijo), distribuído pela Celles Cordeiro Agroindustrial-CCA Laticínios e pela EPAMIG (Empresa de Pesquisas Agropecuárias de Minas Gerais), através do Instituto de laticínios Cândido Tostes (ICLT) em todo o Brasil nos supermercados, farmácias, padarias, delicatessens e lojas de produtos naturais, disponível na forma de leite pasteurizado e congelado, bem como na forma de leite em pó e mais recentemente em embalagens longa-vida (UHT).

A industrialização do leite e derivados na propriedade exige instalações e equipamentos adequados e credenciamento junto a serviço de inspeção, podendo ser federal (SIF), estadual (SIE no Rio de Janeiro) ou municipal, quando a cidade possuir.

Dentre os produtos de industrialização, os mais freqüentes são:

- Leite integral pasteurizado, congelado e na forma de leite em pó;
- Iogurte natural ou com frutas;
- Queijos – Boursin – natural ou com ingredientes (ervas, alho, etc.) – Moleson; Chevrotin, Chabichou (com mofo); Frescal;
- Sorvetes;
- Cosméticos – sabonetes, shampoo, condicionadores, cremes hidratantes, etc.

II.1.2. Fatores que influenciam na composição do leite de cabra

Em um trabalho realizado na EPAMIG/DTA/ILCT, Mansur Furtado e Wolfschoon Pombo (1994) encontraram algumas diferenças notáveis na composição do leite de cabra se comparada a outros autores (Parkash e Jenness, 1968; Jenness, 1980). Estas variações

devem levar em conta o período de lactação dos animais do rebanho, bem como o número de animais, pois se trata de fato conhecido que um animal isoladamente produz mais leite, e de composição mais variada do que se estivesse num grupo com outros animais. A observação foi feita num período de 3 meses, com rebanho de cerca de 150 animais. O quadro demonstrativo elaborado por Furtado (1984), fazendo uma comparação com a composição em relação à fração lipolítica que é fornecida por Le Jaouen, na França e por produtores italianos.

Tabela 2. Composição média do leite de cabra. Fonte: Furtado, 1984.

Item	Le Jaouen (França)	Itália	Furtado e Wolfschoon
Gordura (%)	3,4	3,5	4,69
Proteínas (%)	3,0	4,2	3,95
Lactose (%)	4,5	4,4	4,72
Cinzas (%)	0,7	-	0,77
Extrato Seco Total (%)	11,6	12,1	14,12
Densidade (a 15°C)	1,032	-	1,031
Acidez (°D)	16,0	-	17,7
PH	6,54	-	6,57

Parametros como: raça, indivíduo e estado de lactação influenciam na composição fisico-química do leite de cabra de forma bastante acentuada, segundo os autores de diversos países (Parkash e Jenness, 1968; Jenness, 1980; Furtado, 1984). A influência de cada uma destas variáveis ocorrem da seguinte maneira:

- a) Raça – Normalmente a variação na composição do leite é pequena de raça para raça, mas pode ser maior entre indivíduos da mesma espécie. Estudos realizados na França demonstraram que existiam poucas diferenças entre as três raças predominantes naquele país. No entanto, observou-se que tal não se passava com diferentes raças de outros

países. Por exemplo, a cabra da raça nubiana apresenta extrato seco superior àquele da raça alpina, mas por outro lado sua produção leiteira é inferior. Aliás, tal fato ocorre comumente com bovinos, onde, por exemplo, a raça jérsei apresenta maior teor de gordura que a raça holandesa, apresentando porém menor produção de leite.

- b) O indivíduo – Segundo Le Jaouen, citado por Furtado (1984), é em nível individual, e não de raças, que se observam as maiores diferenças na composição do leite. Evidencia-se a importância dos caracteres hereditários como fatores determinantes na riqueza em sólidos no leite.

Esta constatação evidencia igualmente o quanto é interessante efetuar o controle leiteiro do rebanho, bem como a composição do leite produzido, para a avaliação do desempenho dos animais e posterior seleção das melhores linhagens.

- c) O estado de lactação – Possui importância capital na variação da composição do leite de cabra. Não deve ser levado em consideração o leite produzido nos primeiros dias após a parição. Impróprio para consumo, o colostro é rico em substâncias nutritivas para a cria, sobretudo pelo seu elevado teor de imunoglobulinas, anticorpos essenciais à defesa orgânica do animal contra infecções.

Normalmente na cabra, o volume de leite aumenta no primeiro mês de lactação e depois diminui progressivamente até estabilizar. O mesmo

não acontece com o teor de gordura e proteínas do leite. Estes componentes apresentam tendência inversa, ou seja, tendem a aumentar do princípio para o final da lactação, sobretudo a gordura. Para um fabricante de queijos, é importante conhecer estas variações pois influem no rendimento.

- d) A alimentação – A cabra é um animal que se alimenta muito mais que a vaca. Pode-se dizer, a título de comparação, que ela consome diariamente, em sólidos, o equivalente a 5% do seu peso, ao passo que a vaca não o faz acima de 3%.

O teor de gordura do leite e igualmente, o teor de sais minerais, é que se encontram mais diretamente ligados à alimentação do animal. Uma ração muito rica em gorduras, por exemplo, pode fazer aumentar o teor gorduroso do leite. Esta influência da alimentação do animal na composição do seu leite está na origem da diferença de “bouquet”, que se pode observar nos queijos de diferentes regiões da França.

II.1.3. O leite de cabra como alimento

O leite de cabra fresco, proveniente de animal sadio e corretamente alimentado, é um líquido branco, opaco, de sabor ligeiramente adocicado e odor de baixa intensidade. O forte odor que às vezes lhe é atribuído, deve-se à presença do macho nas proximidades das cabras em lactação, que acaba impregnando o leite. O sabor característico é dado pela matéria graxa do leite, principalmente pelos ácidos graxos: cáprico, caprílico e capróico

(Jaquen, 1974 citado por Bonassi, 1987). A coloração mais branca em relação ao leite bovino deve-se à ausência de carotenóides, o que explica também a produção de manteiga mais branca (Furtado, 1978).

O valor de um alimento geralmente se mede pela quantidade de calorias que fornece por 100 gramas ou 100ml. Segundo estudos científicos, um adulto de 18 a 35 anos de idade necessita diariamente de uma alimentação que lhe forneça 2800 calorias. O leite de vaca fornece, por cada 100ml, um total de 67 calorias (Furtado, 1984). Estudos internacionais concernentes ao leite de cabra estimam que cada 100gramas podem oferecer 60 a 75 calorias. É evidente que esta variação é função do teor de gordura, proteína e lactose, principalmente, inerente ao leite de cada região considerada. Por exemplo, em estudos realizados na EPAMIG/DTA/ILCT, Wolfschoon e Furtado (1984), estimaram em 83 calorias o total fornecido por 100 gramas de leite de cabra.

II.1.4. Composição química do leite de cabra

Tem-se demonstrado que cabras de raças européias produzem, nos trópicos, menos leite e com teor gorduroso inferior ao das regiões de clima temperado (Devendra, 1972; Devendra 1980; MBA *et alii*, 1975). No entanto, a composição média do leite de cabra, apresentada pela FIL-IDF (1981) é a seguinte: gordura 3,27 a 6,2%; proteínas 3,1 a 5,84%; cinzas 0,51 a 2,7% e lactose 3,91 a 4,72%.

Assim como em outras espécies animais, a cabra também apresenta a matéria graxa do leite em forma de emulsão de glóbulos de gordura, cujo diâmetro varia de 1 a 10 μ m, que

estão envolvidos por uma fina membrana protetora. No leite de cabra especificamente, predominam os glóbulos de menor tamanho, 28% dos quais inferiores a 1,5 μ m (Jaquen, 1980).

Segundo Alais (1970), citado por Jaquen (1980), a composição em ácidos graxos é bastante similar àquela encontrada no leite de vaca, diferindo apenas na proporção, pois no leite de cabra predominam os de cadeia curta (C4 a C10), correspondendo a cerca de 15% do total. Estes ácidos graxos são mais voláteis e dão o odor característico ao leite de cabra.

As diferenças mais sutis entre os leites caprino e bovino são sem dúvida, as de natureza protéica. A relação caseína/proteínas do soro é similar nos leites de vaca e de cabra (80/20), mas o teor praticamente reduzido de α -s-1-caseína no leite de cabra, favorece a formação de coágulos finos e suaves, o que facilita o processo digestivo. (Maree, 1978; Haenlein *et alii*, 1984). As principais proteínas do soro, β -lactoglobulina (β -lg) e α -lactoalbumina (α -la), diferenciam-se em concentrações e determinadas posições e resíduos de aminoácidos (-as). As concentrações de β -lg e α -la no leite de cabra são da ordem de 240 mg e 220 mg, por 100, respectivamente, contra 300 mg e 120 mg existentes no leite de vaca. A β -lg caprina, assim como a sua homóloga no leite de vaca, consiste de uma cadeia de polipeptídios de 162 resíduos de aminoácidos e difere em 6 posições, enquanto a α -la é formada de uma sequência de 123 aminoácidos com 12 posições diferentes, sendo destituída de metionina (Janness, 1980). No leite humano, a β -lg está ausente (Janness, 1980; Loewenstein *et alii*, 1982). As duas proteínas do soro são as mais consideradas por sua alergenicidade, mas a caseína também pode induzir a processos alérgicos (Park 1992; Luke *et alii*, 1992).

Em termos energéticos, os leites caprino, bovino e humano são aproximadamente isocalóricos, diferindo apenas nas proporções de energias derivadas de gorduras, proteínas e lactose (Jenness, 1980). Na Tabela 3 apresenta um quadro comparativo de composição de leite de cabra, vaca e humano, conforme o Agricultural Handbook nº8-1, Washington, 1986.

Tabela 3: Comparação da composição do leite de cabra com o de vaca e o humano/100 g.

Nutrientes	Vaca	Cabra	Humano
Proteína (g)	3,3	3,6	1,0
Gordura (g)	3,3	4,2	4,4
Carboidratos (g)	4,7	4,5	6,9
Caloria	61	69	70
Fósforos (g)	93	111	14
Cálcio (g)	119	134	32
Magnésio (mg)	13	14	3
Ferro (mg)	0,05	0,05	0,03
Zinco (mg)	0,38	0,30	0,17
Sódio (mg)	49	50	17
Potássio (mg)	152	204	51
Vitamina A (UI)	126	185	241
Tiamina (mg)	0,04	0,05	0,014
Riboflavina (mg)	0,16	0,14	0,04
Micina (mg)	0,08	0,28	0,18
Vitamina B-6 (mg)	0,04	0,05	0,01

Fonte: adaptado de "Compositions of foods: dairy and egg products", Agricultural Handbook nº8-1, Agricultural Research Service, Washington, DC, USDA, 1986.

O leite de cabra, assim como o de vaca, consiste de uma mistura complexa de gorduras (em forma de emulsão), proteínas (em estado coloidal) e lactose (em solução). Além disso, constituintes menores, como os minerais (sobretudo cálcio e fósforo), vitaminas, enzimas e outros dominados de oligoelementos também estão presentes e contribuem para a estabilidade deste sistema (Furtado e Wolfschoon – Pombo, 1978).

Nutricionalmente, o leite caprino é considerado de fácil digestibilidade devido a grande proporção de ácidos graxos de cadeia curta e média e ao menor tamanho tanto dos glóbulos de gordura como das micelas de caseína (Jenness, 1980).

Levando-se em conta os aspectos terapêuticos, deve-se ressaltar a importância do leite de cabra nos problemas de intolerância ao leite de vaca, para as crianças especialmente em seus primeiros anos de vida, e nos problemas alérgicos oriundos das proteínas do leite de vaca (Furtado, 1981).

Experiências da Dra. Walker (1965) mostraram que em 300 casos de asma causados por leite de vaca, 270 tornaram-se livres dos sintomas após 6 meses de substituição por leite de cabra. É relatado também que em 100 casos de crianças alérgicas às proteínas do leite de vaca, somente uma não tolerou bem o leite de cabra.

É estimado que aproximadamente 7% das crianças americanas, menores de 3 anos de idade são alérgicas às proteínas do leite de vaca (Park, 1992). Outros autores relatam que esta alergia atingiria cerca de 3 a 8% de todas as crianças do mundo (Maree, 1978; Luike *et alii*, 1992).

II.1.5. Produção de queijos de cabra

A caprinocultura tem como objetivo básico o fornecimento de carne como fonte barata de proteínas, entretanto, o aproveitamento mais racional destes animais poderia nos trazer resultados mais satisfatórios como por exemplo, a utilização do leite dos mesmos na

obtenção de queijos, produtos estes de comprovada aceitação pelos consumidores mais exigentes (Ceara, 2001).

Podemos afirmar que a pecuária de bovinos, em alguns estados, está em franco desenvolvimento, notadamente nos estados de Minas Gerais, São Paulo, Goiás, Rio Grande do Sul, etc., o mesmo não ocorrendo no Nordeste, quer pelas condições climáticas desfavoráveis, tais como inconstância das chuvas, bem como pelo risco do investimento na produção de leite pelo qual passa o nosso pecuarista (Ceara, 2001).

A França é o país onde se fabricam os melhores queijos de cabra do mundo e em maior variedade. Embora este país tenha uma indústria queijeira muito desenvolvida e moderna, ele não rejeita a indústria caseira, sendo que a maior parte dos queijos produzidos é maturada em mofo (Faria, 1987).

Os queijos mais comuns encontrados na França são: Chabichou, Sainte-Maure, Charalais, Valençay de Chavignol, Pouligny e Sant Pierre (Furtado, 1984). Na Figura 1 tem-se o Fluxograma de produção do queijo de leite de cabra tipo Chabichou (Ceara, 2001).

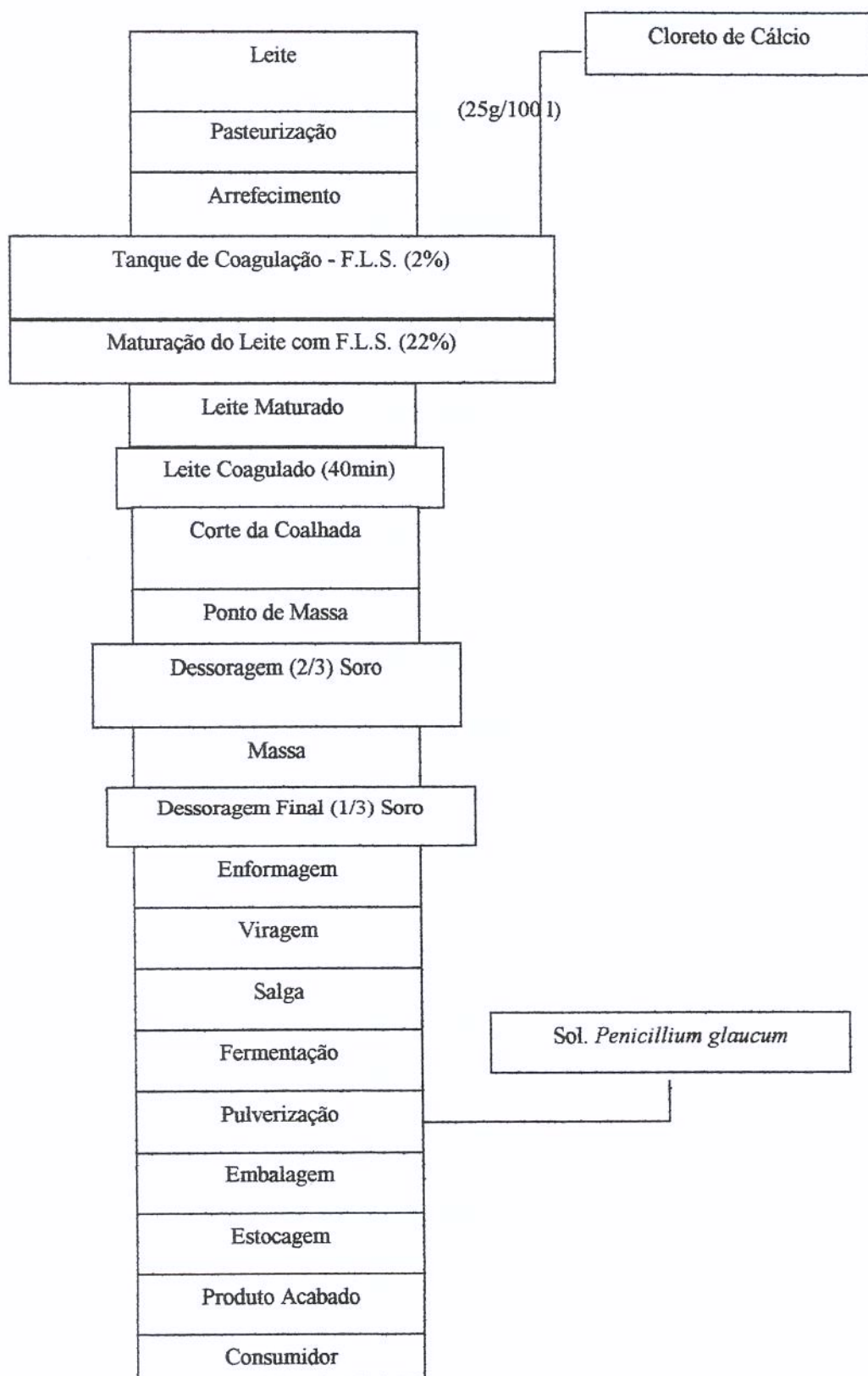


Figura 1. Fluxograma e produção do leite de cabra tipo Chabichou. Fonte: Ceara, 2001

II.2. Ultrafiltração

II.2.1. Fundamentos do processo de ultrafiltração

A ultrafiltração pode ser definida como uma separação soluto-solvente (de um ou mais solutos de uma solução) através da membrana seletiva adequada, por aplicação de pressão hidrostática (Beaton, 1979). Como resultante do gradiente de pressão aplicado através da membrana, componentes menores passam pela membrana e são coletados como permeado. Dependendo das características da membrana utilizada, componentes maiores são retidos e concentrados (Renner e Abd El-Salam, 1991). Benito (1980) explica que essa retenção depende do valor do peso molecular de corte da membrana e das substâncias cujo peso molecular superior, são impedidas de atravessarem a mesma e conseqüentemente concentradas. As principais vantagens da ultrafiltração sobre outros processos de separação são: o processo é isotérmico e não envolve mudança de fase, pode ser conduzido a baixas temperaturas e pressão hidrostática, não afeta as substâncias termosensíveis e não necessita de reagentes químicos (Porter e Michaelis, 1990).

A ultrafiltração oferece uma alternativa bastante atrativa a um número considerável de operações unitárias no processamento de produtos químicos, farmacêuticos, biotecnologia e de alimentos. Com o processo de ultrafiltração pode-se separar proteínas, gorduras, vírus, amidos, gomas, tintas, partículas de látex, glicose e pigmentos Petrus (1997).

Um dos principais atrativos do uso da ultrafiltração (na produção de queijo), quando comparados ao processo tradicional, é o aumento no rendimento do produto devido à

incorporação das proteínas do soro, normalmente perdidas no soro de queijo (Lang, 1980; Eriksen, 1985; Puhán *et alii*, 1980; Eriksen, 1985). Outro atrativo é a redução da demanda biológica de oxigênio em até 20%, quando compara-se o permeado com o soro de queijo, pelo fato de que o permeado não apresenta gordura e nem proteína (El-Gazzar e Marth, 1991).

II.2.2. Processos com membrana

A filtração é definida como uma separação de um ou mais componentes de um fluido. Em filtração convencional, o escoamento do fluido, líquido ou gasoso, é perpendicular à superfície da membrana, fazendo com que os solutos se depositem sobre a mesma, sendo necessária a interrupção do processo para a limpeza ou substituição do filtro (Freitas, 1995). Já o sistema de filtração tangencial é mais eficiente, pois o escoamento do fluido é paralelo à superfície da membrana e devido a alta velocidade, ocorre o arraste dos solutos que tendem a se acumular na superfície (Paulson *et alii*, 1984). A Figura 2 apresenta a comparação entre filtração convencional e filtração tangencial, sendo que a última pode ser classificada quanto ao tipo de membrana utilizada e a força motriz de separação.

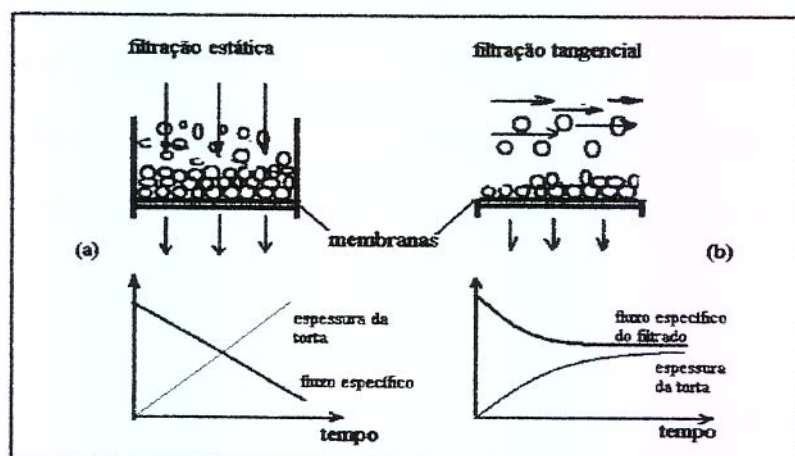


Figura 2. Comparação entre filtração convencional (a) e filtração tangencial (b). Fonte: Freitas, 1995.

A escolha de um sistema de membranas é ditada principalmente pelo tipo de aplicação. Em adição, a porosidade e o coeficiente de retenção da membrana devem ser considerados na escolha de um sistema adequado. Processos com membrana, para os quais a diferença de pressão é a força motriz, têm sido utilizados para concentrar, fracionar e purificar soluções diluídas (Habert *et alii*, 1997). Basicamente, uma solução contendo um ou mais solutos escoam tangencialmente sobre uma membrana semi-permeável, sob pressão, onde o solvente e os solutos com tamanho menor que os poros da membrana passam através dela e são recolhidos como permeado, enquanto as partículas maiores são retidas pela membrana e recolhidas numa solução denominada retentado ou concentrado (Viotto, 1993).

Em função da natureza, do tipo de soluto, da presença ou não de partículas em suspensão, é possível o emprego de membranas com diferentes tamanhos médios e distribuição de tamanhos de poros, caracterizando os processos conhecidos como: microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose inversa ou hiperfiltração (Habert *et*

alii, 1997). A Figura 3, apresenta a permeabilidade dos sistemas de membranas para diferentes solutos, bem como a diferença entre os processos (Habert *et alii*, 1997).

A principal vantagem da filtração com membrana é que se trata de um processo termicamente suave e puramente mecânico. Isto significa que o processo não tem um impacto negativo nas propriedades funcionais e nutricionais do produto, que é frequente quando o leite é exposto a tratamento térmico (Osterland, 1998)

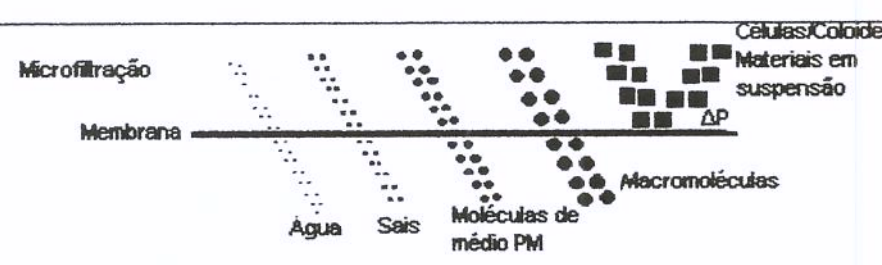
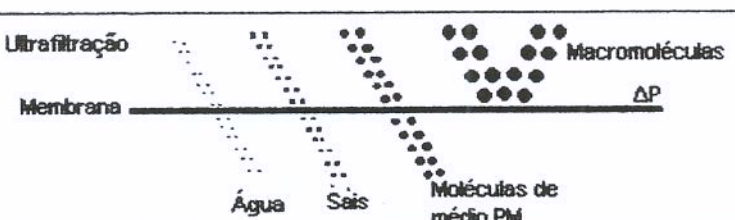
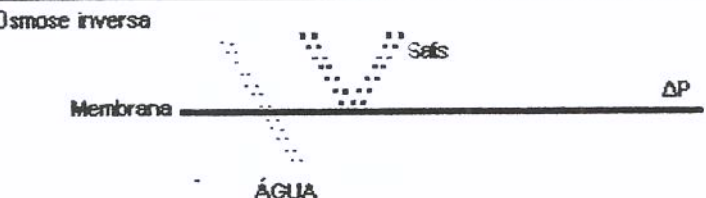
Dimensões das partículas e moléculas		Técnicas de Separação
Microorganismo 1 μ	10 ⁻⁵ 10 ⁻⁶	
Macromoléculas e vírus	10 ⁻⁷	
Moléculas de médio peso molecular	10 ⁻⁸ 10 ⁻⁹	
Moléculas de baixo PM e íons 1 Å Átomos	10 ⁻¹⁰	

Figura 3. Principais características dos processos com membranas que utilizam diferenças de pressão como força motriz (Habert *et alii*, 1997)

II.2.2.1. Fenômenos envolvidos no processo

Em todos os processos de separação com membranas, observa-se o declínio progressivo no fluxo de permeado com o tempo (à pressão constante), sendo atribuído à associação de 3 fenômenos distintos e interligados que limitam o transporte do solvente: a polarização da concentração, a formação de uma camada “fouling” e a consolidação da camada “fouling”, como ilustrado pela Figura 4.

Segundo Marshall e Daufin (1995), no início do processo (estágio I), a queda brusca do fluxo deve-se basicamente à polarização da concentração, que resulta de um gradiente de concentração desenvolvido pelo aumento da concentração de soluto na interface membrana/solução, sendo esta função das condições hidrodinâmicas de escoamento da solução de alimentação e independente das propriedades físicas da membrana.

A zona de polarização não pode ser evitada, mas seu efeito na redução do fluxo pode ser revertida promovendo-se a inversão do sentido do fluxo do permeado com água num certo intervalo de tempo quando o “fouling” é insignificante, o fluxo então retorna ao seu valor original (Habert, *et alii*, 1997).

No segundo estágio, o declínio do fluxo continua rapidamente devido ao “fouling” da membrana. O “fouling” é descrito por Marshall *et alii*, (1995) como um “acoplamento” de materiais depositados na membrana através de graus intermediários de polarização da concentração, o qual inicialmente causa um acúmulo ou aumento na concentração sobre a superfície da membrana. A queda de fluxo de permeado devido ao “fouling” é normalmente

irreversível e dependente do tempo, sendo necessária a interrupção do processo para limpeza da membrana com agentes químicos.

Na fase final do processo, o fluxo declina lentamente, devido à deposição e ao acúmulo de partículas na superfície da membrana e/ou cristalização e precipitação de solutos muito pequenos sobre a superfície e interior dos poros, ocasionando a incrustação na membrana, ou seja, a consolidação da camada “fouling”. A natureza e a extensão da incrustação dependem da natureza química da membrana, dos solutos e das interações soluto-membrana (Cheryan, 1986). A Figura 3, apresenta uma curva típica do declínio do fluxo de permeado com o tempo.

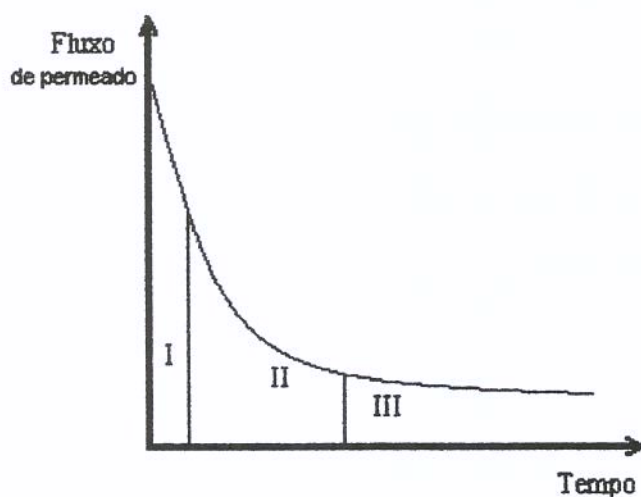


Figura 4. Declínio do fluxo de permeado com o tempo. Estágio I: Polarização da concentração; Estágio II: Camada “fouling”; Estágio III: Consolidação da camada “fouling”.

II.2.2.2. Parâmetros operacionais

Segundo Cheryan (1986) os quatro principais parâmetros operacionais que afetam o fluxo de permeado são: pressão, concentração de alimentação, temperatura e velocidade de alimentação.

- Pressão: A diferença de pressão, entre os lados opostos da membrana, é a principal força motriz responsável pela separação. Quanto maior a diferença de pressão, até certo limite, maior será a permeação. Deve-se também respeitar o limite de resistência física da membrana. A pressões muito elevadas pode ocorrer alteração na seletividade das membranas, permitindo a passagem de solutos que a pressões normais não permeariam (Petrus *et alii*, 1993).
- Concentração da alimentação: A concentração das espécies moleculares em solução e em suspensão implica num aumento da viscosidade, que causa maior perda de carga. A camada de polarização torna-se mais espessa e os fluxos diminuem (Petrus *et alii*, 1993).
- Temperatura: O aumento de temperatura reduz a viscosidade da solução, promove maior fluxo de permeado, aumenta a velocidade de difusão do soluto e muda as interações membrana-soluto (Renner e Salam, 1991).
- Velocidade tangencial de alimentação: O aumento da velocidade tangencial aumenta a taxa de permeação por provocar maior turbulência. A agitação da mistura do fluido próxima à superfície da membrana arrasta os sólidos acumulados reduzindo a espessura da camada limite (Cheryan, 1986).

II. 3. Parâmetros dos processos de membranas

II. 3.1. Coeficiente de retenção

O coeficiente de retenção de um determinado componente é a medida quantitativa da capacidade da membrana em reter esse componente. Os valores de retenção da membrana para cada substância podem ser determinados pela análise da composição das amostras do permeado e do fluido de alimentação e do cálculo do coeficiente de retenção (C_R) de um dado componente através da equação (1)

$$C_R = 1 - \frac{Y_P}{Y_R} \quad (1)$$

Onde: Y_P = % do componente Y no permeado; Y_R = % do componente Y no retentado

Uma substância com um coeficiente de retenção de 1 (100% retenção) terá zero de concentração no permeado ($Y_P = 0$). Os valores de retenção da membrana para cada componente podem ser determinados pela análise simultânea de amostras do permeado e do fluido de alimentação

II. 3.2. Rendimento

O valor do coeficiente de retenção de uma substância também pode ser usado para se determinar o rendimento (R_e) de um componente. Este parâmetro representa a fração do componente original que é recuperado no concentrado final. Para o processo de

concentração de proteína, é necessário maximizar o rendimento, enquanto que para a remoção de fatores tóxicos ou substâncias indesejáveis deseja-se minimizar o rendimento.

Num processo de UF por batelada, o rendimento (R_e) de um componente é dado por (Lewis, 1982):

$$R_e = F_C^{C_R - 1} \quad (2)$$

Onde: F_C = representa o fator de concentração. O fator de concentração FC é definido como sendo a razão entre a massa de leite da alimentação e a massa de retentado;
 C_R = coeficiente de retenção da membrana

II. 3.3. Porcentagem de variação do componente

A relação entre a diferença de porcentagem de um dado componente, num dado FC e a porcentagem deste componente na alimentação, dividida pela porcentagem do componente na alimentação é definida como a porcentagem de variação do componente durante a concentração. Em termos de equação tem-se:

$$\% \text{variação componente} = \frac{\%Y_{FC} - \%Y_{ALIM}}{\%Y_{ALIM}} * 100 \quad (3)$$

Onde: $\%Y_{ALIM}$ = porcentagem do componente Y na alimentação; $\%Y_{FC}$ = porcentagem do componente Y num dado FC .

A porcentagem de variação da relação Pt/Lact é dada por:

$$\% \text{variação} = \frac{(Pt/Lact)_{FC} - (Pt/Lact)_{ALIM}}{(Pt/Lact)_{ALIM}} * 100 \quad (4)$$

Essa equação foi usada como uma das variáveis para análise estatística.

II. 4. A aplicação da ultrafiltração na indústria de laticínios

Historicamente, a ultrafiltração deixou de ser uma técnica de laboratório no final dos anos 60 e, apesar das dificuldades normalmente encontradas na introdução de uma nova tecnologia na indústria, as unidades de ultrafiltração estão agora instaladas nos laticínios em todo o mundo, principalmente na Europa, América do Norte e Nova Zelândia (Viotto, 1993).

A durabilidade das membranas tem melhorado progressivamente desde que a primeira aplicação foi registrada para leite, no início dos anos setenta, até a atual geração de membranas de polissulfona, que apresentam um bom desempenho. Entretanto, as membranas são caras, representando de 14 a 38% do custo capital de uma planta de ultrafiltração (Dejemek *et alii*, 1974) e as garantias não ultrapassam os 12 meses para aplicação Láctea (Sutherland *et alii*, 1991).

No Brasil, a adesão ao processo de ultrafiltração se traduz na instalação e funcionamento de plantas comerciais destinadas à fabricação de queijos, concentração e purificação de enzimas e vacinas (Viotto, 1993).

Segundo Peres (1997), na produção de queijos, a partir de concentrados obtidos através da ultrafiltração é incorporado ao produto final, a fração protéica solúvel do leite, correspondente a 20% da total proteína, constituída principalmente por α -lactoalbumina e β -lactoglobulina, que no processo tradicional de produção de queijo, não coagula com a caseína, sendo perdida no soro. Ao se incorporar tais proteínas ao queijo através da ultrafiltração, ocorre não apenas o aumento significativo do rendimento do processo, como também a melhoria nutricional do produto, além de se minimizar o problema de controle ambiental, associado ao eventual descarte do soro de queijo produzido pelo processo tradicional.

A tecnologia de membranas é uma ferramenta excelente para o fracionamento das proteínas do leite. Seu uso na indústria de laticínios vem permitindo a criação de novos produtos com alto valor agregado. Além disso, as proteínas do leite têm a vantagem única de oferecer duplo benefício, que é possuir alto valor nutritivo dentre todas as fontes de proteína disponíveis para a nutrição humana, combinado com características físico-químicas particulares (gelificação, emulsificação, capacidade de retenção de água e de formação de espuma), que lhes garante grandes aplicações como ingredientes funcionais na indústria de alimentos (Maubois, Ollivier e Rollema *et alii*, 1992).

Kosikowski (1974) relata a aplicação de leite concentrado por UF na fabricação do queijo cremoso americano, utilizando leite desnatado concentrado à temperatura de 50°C através de uma unidade de UF ABCOR UF-22S até 17% de proteína. O concentrado foi padronizado a 33% de gordura, adicionado de cultura láctica e sal a 32°C até pH 4,7. Este produto, foi pasteurizado (73°C/30minutos) e homogeneizado. O produto obtido apresentou

excelente sabor e textura. O autor também verificou que o retentado líquido, antes da adição da cultura láctica, pode ser congelado e estocado por diversos meses a 30°C negativos ou desidratado e armazenado por longos períodos, sem alteração na qualidade ou desempenho.

Covacevich e Kosikowski (1970), utilizaram leite pasteurizado desnatado que foi concentrado a 50°C através de uma unidade de UF ABCOR UF-22S até 27,6% de sólidos totais. O retentado foi padronizado com creme de leite com 67-69% de gordura, para dar uma mistura de acordo com o queijo padrão. Este foi inoculado com cultura ácida e processado seguindo a metodologia tradicional. O queijo resultante apresentou excelente vida de prateleira e maciez comparável ao queijo cremoso padrão, entretanto, com maior consistência.

Maubois e Kosikowski (1978) produziram ricota pelo processo MMV (Maubois, Macquot e Vassat) e avaliaram o efeito do grau de acidificação do leite, das condições de UF e do tratamento térmico nos pré-queijos. Segundo os autores, os queijos produzidos nas condições otimizadas foram similares a ricota tradicional

Juliano *et alii*, (1987), citado por Petrus (1997), estudaram a recuperação por ultrafiltração das proteínas do soro para produção de queijos. Após a filtração e pasteurização o soro foi concentrado 10 vezes (v/v) em unidade operando no sistema "Batch", através da membrana espiral de polissulfona, com valor de peso molecular de corte de 10.000 Daltons. O concentrado obtido, após tratamento adequado (acidificação ou calor), foi incorporado, sob pressão, ao leite já pasteurizado e destinado à fabricação do

queijo. Desta forma, as proteínas do soro eram arrastadas pelo coagulo de caseína, durante o processo de fabricação do queijo, com aumento considerável no rendimento, já que parte do leite era substituído pelo concentrado protéico.

Viotto (1997), utilizou o processo de ultrafiltração, em combinação com a microfiltração para fracionar as proteínas do leite de vaca. Leite cru desnatado foi passado por uma membrana de microfiltração, com diâmetro de poro de $0,8\mu\text{m}$, para uma maior separação de gordura. O permeado obtido (leite com baixo teor de gordura), foi utilizado na etapa seguinte, de ultrafiltração. Nesta etapa, fez-se a concentração e diafiltração das micelas de caseína, usando uma membrana cerâmica, com diâmetro de poro de $0,05\mu\text{m}$. O retentado, foi, então, seco em secador por atomização. A esse processo denominou-se processo cascata. A caseína assim obtida, em função das condições operacionais, continha um teor de caseína entre 33,24% e 72,91% e, quando comparada a uma amostra comercial de caseinato de sódio, apresentou desempenho semelhante ou melhor em relação às propriedades funcionais (solubilidade, aeração e estabilidade da espuma), visto que nenhum tratamento químico ou térmico mais severo foi envolvido no processo.

II. 5. Concentrados de leite de cabra por ultrafiltração

A aplicação da ultrafiltração na elaboração de queijos ou concentrados protéicos de leite de cabra (CPLC) destina-se principalmente a dois fins: (1) guardar o leite na forma de “pré-queijo” congelado ou eventualmente seco; (2) como meio de padronização de leites pobres em proteínas destinado à elaboração de queijos (Luquet, 1991).

O desenvolvimento por Maubois, Macquot e Vassat do processo MMV (Maubois *et alii*, 1969), que fez, pela primeira vez aplicação do processo de ultrafiltração na obtenção de concentrados de leite para a produção de queijo, trouxe vários benefícios, tais como: a) Incorporação das proteínas do soro ao queijo, aumentado em 20% o rendimento protéico do processo de produção; b) Melhoria do valor nutricional do queijo; c) Redução significativa da quantidade de enzima para a coagulação e de cultura láctica e d) Diminuição dos problemas de descarte de efluentes com elevada demanda bioquímica de oxigênio (DBO). A utilização do processo de UF do leite para a produção de queijos, usando membranas poliméricas, teve desde então intenso crescimento.

Maubois e Macquot (1971) descreveram a aplicação da ultrafiltração e produção de uma fração “pré-queijo” do leite de cabra, que subsequenteemente foi transformada em queijo, com resultados de aumento de rendimento sem sacrifícios da qualidade. Com a ultrafiltração obtêm-se concentrado 5 a 6 vezes mais rico em proteína que o leite inicial e adicionando-se o creme chega-se a mesma composição do queijo mole. Para fabricação do queijo adiciona-se cultura Láctea, sal e renina. O fluxograma do processo elaborado por Luquet *et alii*, (1997) está apresentado de forma esquemática na Figura 5

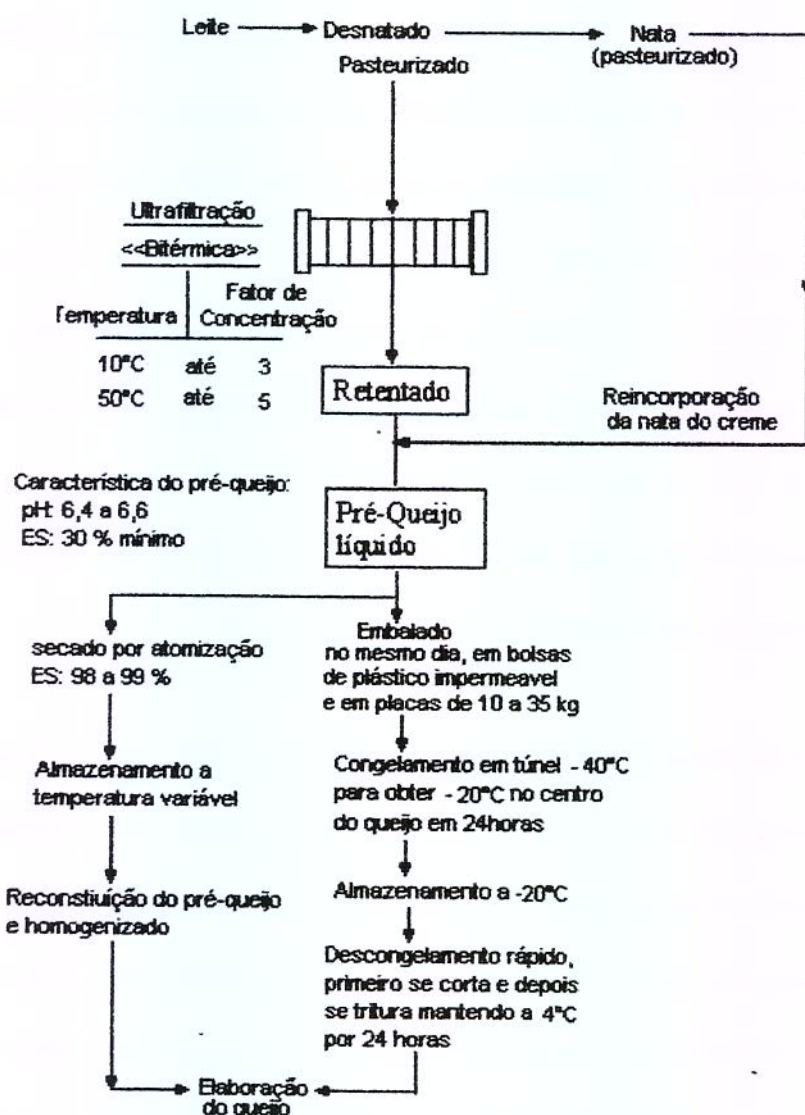


Figura 5. Fluxograma do processo de UF do leite de cabra destinado a ser armazenado.

Fonte: Luquet *et alii*, (1997)

Benito (1980) cita que a aplicação da ultrafiltração tem objetivado principalmente a fabricação de queijos moles, cremosos ou frescos. Eriksen (1985) considera os seguintes tipos de uso da ultrafiltração para produção de queijos: padronização da quantidade de proteína; pré-concentração parcial do leite; concentração até composição requerida no queijo e por último, ultrafiltração de leite já acidificado.

Mehaia *et alii*, (1998) estudaram as características físico-químicas e do tempo de coagulação da UF, no leite de cabra a partir do leite desnatado obtido através da unidade operando em sistema “batch”, usando membrana de polissulfona de peso molecular de corte de 30.000 Daltons, temperatura de 50⁰C e pressão transmembrana de 137 e 35kPa. Obtiveram os seguintes resultados, respectivamente, para FC 2 e FC 4: Proteína 3,80 e 13,80%; gordura 0,15 e 0,60%; sólidos totais 8,95 e 19,81%; lactose 4,20 e 3,70% e de cinzas 0,80 e 1,71%.

Espinoza *et alii*, (1998) estudaram os efeitos da coagulação e o tratamento térmico do leite de cabra, vaca e ovelha nos processos de UF. Analisaram a influência da UF, a intensidade do tratamento aplicado e o tempo de coagulação na alimentação e nos retentados a FC igual a 1,5 e 2 obtidos com membrana de 10.000 Daltons a 50⁰C. A rápida diminuição do tempo de coagulação aumentou com o fator de concentração. Este aumento foi maior quando o leite foi submetido ao tratamento térmico antes do processo de UF, tendo-se obtido os seguintes resultados, respectivamente, para FC 1,5 e FC 2: Proteína 4,80 e 6,40%; sólidos totais 16,90 e 22,50% e de cinzas 0,70 e 1,36%.

Rodriguez *et alii*, (1999) estudaram os efeitos da microestrutura na textura em queijos de cabra com baixo teor de gordura, usando diferentes tecnologias de separação, como a membrana mineral (Tech Sep M14, de peso molecular de corte de 0,14 μ m e pressão de 180 e 60kPa) e a UF (Tech Sep M1, peso molecular de corte de 150kDaltons e pressão de 440 e 300kPa) ocupando área de 1,63m². Foram comparados os efeitos dos baixos teores de gordura encontrados nos queijos feitos por MF e UF. A pasteurização branda no leite de cabra e o uso da MF reduziram a retenção das proteínas do soro em até

35,00%, se comparado com o processo de UF que apresentou retenção de proteínas de 100,00%. Outros autores, em estudos semelhantes com leite desnatado de vaca, obtiveram para FC2 e 4, teores de proteína de 54,00% e 73,00% (Cousin e Premaratne, 1991), 52,00 e 65,00% (Mehaia, 1996) e 51,00% obtido por Waungana, 1998, a FC2.

II. 6. Modelagem do fluxo de permeado

A utilização dos processos de separação com membrana, apesar do seu emprego mais freqüente, não tem ainda equações gerais envolvendo todos os mecanismos que regem os escoamentos em meios porosos (MF e UF). No entanto, alguns autores como Kuo e Cheryan (1983); Merin e Cheryan (1980) apresentam modelos matemáticos para descrever a causa do declínio do fluxo de permeado, o qual depende de vários fatores, como a natureza do fluido de alimentação e alguns parâmetros como: temperatura, pressão, natureza da membrana, diâmetro do poro, concentração dos componentes, etc. Quanto aos fenômenos envolvidos no processo, passaremos a apresentar o modelo proposto por Kuo e Cheryan (1983).

Kuo e Cheryan (1983) estudaram os efeitos que influenciam o declínio do fluxo de permeado na ultrafiltração do soro de queijo e propuseram o seguinte modelo matemático:

$$J_t = J_1 t^{-b} \quad (5)$$

Onde: J_t = fluxo de permeado no tempo; J_1 = fluxo de permeado no instante $t = 1$ (um) minuto; t =tempo de operação; b = constante dada pelo “fouling” da membrana.

Quando $b=0$, não há “fouling” e o fluxo de permeado é constante. A taxa de escoamento (vazão), tensão de cisalhamento na parede e a pressão transmembrana na ultrafiltração do soro de queijo foram os parâmetros estudados e que são particularmente importantes no controle do “fouling” da membrana.

A partir de uma análise experimental, os autores demonstraram que em geral as altas taxas de escoamento paralelo à membrana reduzem esse efeito. Quanto ao efeito da pressão transmembrana (P_{TM}), notou-se maior complexidade. Para baixas vazões de retentado a pressão transmembrana teve pouco efeito; no entanto para altas vazões, o fluxo de permeado aumentou com o aumento da pressão transmembrana até um certo limite, porém com aumento acima deste limite resultou em queda acentuada do fluxo de permeado.

III. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido no laboratório de leite e derivados e na planta piloto de laticínios do Departamento de Tecnologia de Alimentos, da Universidade Estadual de Campinas (FEA/UNICAMP).

III.1. Concentração das proteínas do leite de cabra integral reconstituído

Leite em pó integral, elaborado pela Bussines Unit of Campina Melkumie Bv the Netherlands, gentilmente fornecido pela Celles Cordeiro Agroindustrial, foi reconstituído na proporção de 1kg de leite em pó para cada 7,4 de água deionizada, até 75,6kg de leite

através do homogeneizador a baixa rotação, para dissolver o pó. O leite foi aquecido a 50°C para se iniciar o processo de UF.

Os experimentos foram realizados em uma unidade piloto de ultrafiltração, esquematizada na Figura 6. O procedimento completo para operação do sistema e realização dos experimentos está descrita no Anexo II.

A ultrafiltração foi realizada numa membrana de fibra oca de polissulfona Romicom "Hollow fiber" Cartridge, PM 10.000 Daltons, "Fiber 43", área efetiva de 14ft², aproximadamente 1,3m², pressão máxima 2,5 bar e temperatura máxima de 75°C.

O leite foi concentrado em batelada, até ao fator de concentração 4 (FC = 4).

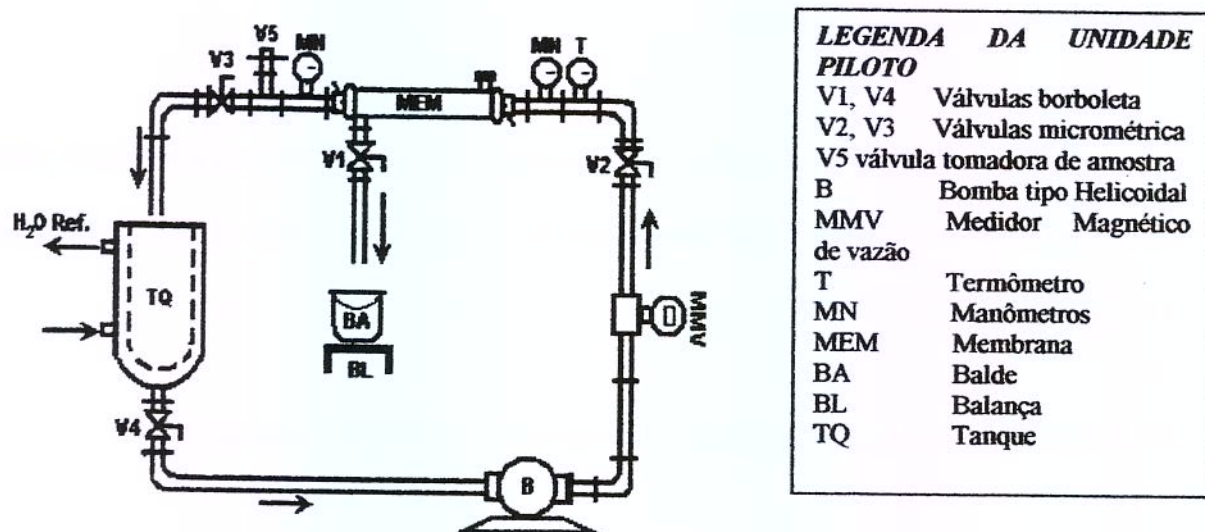


Figura 6. Esquema da unidade Piloto de ultrafiltração.

Após alguns testes preliminares foram observadas as condições operacionais possíveis do sistema e assim estabeleceu-se as faixas operacionais para vazão volumétrica

como sendo entre 1,8-4 m³/h e pressão transmembrana entre 0,2-1,2 bar sob temperatura de 50°C.

Segundo Kosikowski, (1974) a temperatura de 50°C representa valor adequado a este processo, uma vez que evita o crescimento microbiano e não desnatura as proteínas do leite, além disso do ponto de vista do processo, possibilita a obtenção de bom fluxo de permeado e evita alterações de sabor.

As curvas de permeado foram construídas através do monitoramento da massa do permeado, em intervalos de tempo pré-determinados, através de uma balança semi-analítica.

A limpeza da membrana foi efetuada, logo após o processamento, segundo as especificações do fabricante, com o propósito de recuperar a capacidade de permeado original conforme descrito detalhadamente no Anexo III. Antes de cada experimento, a taxa de permeado da membrana foi checada com água deionizada. As condições padrão utilizadas para medidas do fluxo de permeado com água estão descritas no anexo III.

III. 2. Planejamento experimental

Foi usado um planejamento experimental fatorial 2² para analisar e quantificar as influências das variáveis de processo na variável resposta. Segundo Barros *et alii* (1995), um planejamento experimental fatorial 2² requer a execução de experimentos para todas as possíveis combinações dos níveis dos fatores.

Neste trabalho o planejamento experimental fatorial 2^2 , que significa que existem 2 fatores ou variáveis independentes, e 2 níveis para cada variável estudada. A Tabela 4 mostra as variáveis independentes e os níveis de variação que foram usados nos experimentos.

Tabela 4: Variáveis independentes e níveis usados no estudo

Variáveis independentes	Níveis das variáveis		
	-1	0	1
Pressão (bar)	0,2	0,7	1,2
Vazão (m³/h)	1,8	2,9	4

As variáveis estudadas serão a pressão transmembrana e a vazão volumétrica; a resposta, o fluxo de permeado global e a porcentagem de variação da relação Pt/Lact.

Através da análise estatística dos resultados serão verificadas as possíveis interações das variáveis estudadas nas duas respostas, segundo o procedimento descrito por Barros *et alii*, (1995).

Na Tabela 5 pode ser visto a matriz do planejamento experimental, com as combinações dos níveis de pressão transmembrana e vazão volumétrica.

Tabela 5: Matriz do planejamento fatorial completo 2².

Números de ensaios	Níveis codificados		Níveis decodificados	
			P (bar)	Vazão (m ³ /h)
1	-1	-1	0,2	1,8
2	+1	-1	0,2	4
3	-1	+1	1,2	1,8
4	+1	+1	1,2	4
5	0	0	0,7	2,9
6	0	0	0,7	2,9
7	0	0	0,7	2,9

III. 3. Análise estatística dos dados experimentais

O ajuste do modelo aos dados experimentais da porcentagem de variação da relação Pt/Lact e o fluxo de permeado global em função da vazão volumétrica e da pressão transmembrana até FC igual a 4 foram realizados mediante procedimento de regressão linear e não linear do pacote estatístico STATISTICA 5.0. O critério de escolha dos melhores ajustes foi a determinação do coeficiente de regressão (R^2) entre as respostas observadas e os valores preditos pelo modelo (Barros *et alii*, 1996) e o módulo do desvio relativo médio (P) cuja definição encontra-se descrita pela equação 6 (Lomauro *et alii*, 1985)

$$P = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|V_P - V_0|}{V_0} \quad (6)$$

Onde: P = desvio relativo médio (%); V_P = valores preditos pelo modelo; V_0 = valores observados experimentalmente; N = número de pontos experimentais.

III. 4. Determinação da composição química durante a UF

As amostras de leite integral de cabra reconstituído da alimentação, permeado e retentado, a FC2 e FC4 foram analisadas em triplicatas para determinar as concentrações de:

- Nitrogênio Total (NT): pelo método de micro-Kjeldahl, método 991.20 (AOAC, 1995);
- Nitrogênio não protéico (NNP): pelo método de micro-Kjeldahl, método 991.21 (AOAC, 1995);
- Sólidos totais (ST): em estufa à 105°, método 925.23 (AOAC, 1995);
- Cinzas: em mufla, pelo método 945.46 (AOAC, 1995);
- Gordura: pelo método de Mojonnier, método 989.05 (AOAC, 1995);
- pH: potenciômetro

As porcentagens de proteínas e de lactose foram determinadas pelas seguintes equações:

$$\%Pt = 6,38 * (\%NT - \%NNP) \quad (7)$$

Onde: %Pt = Proteína total; NT = Nitrogênio Total; NNP = Nitrogênio Não Protéico

$$\%Lact = \%ST - (\%C + \%Pt + \%NNP + \%G) \quad (8)$$

Onde: Lact = Lactose; C = Cinzas; G = Gordura

III. 5. Determinação do fluxo de permeado

o fluxo de permeado (J_P) foi obtido através da massa de permeado coletada em diversos intervalos de tempo, através da área de fluxo de permeado da membrana.

$$J_P = \frac{\Delta m}{\Delta t * A} \quad (9)$$

Onde: J_P = fluxo de permeado (Kg/h.m^2); Δm = massa recolhida no intervalo de tempo (Kg); Δt = intervalo de tempo (min); A = área de permeado da membrana (m^2).

As curvas de permeado foram construídas com os valores de J_P , em kg/h.m^2 , em função do tempo ou do fator de concentração.

O fluxo de permeado global, utilizado para a construção dos gráficos estatísticos, foi calculado pela equação (Cheryan, 1986):

$$J = J_f + 0,33 \cdot (J_i - J_f) \quad (10)$$

Onde: J = fluxo de permeado global (kg/h.m^2); J_i = fluxo de permeado inicial (kg/h.m^2); J_f = fluxo de permeado no maior fator de concentração (kg/h.m^2).

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

IV.1. Análise da composição química do CPLC durante o processo de concentração

A Tabela 6 apresenta a composição centesimal da alimentação (A), dos concentrados a fator de concentração dois (C2) e quatro (C4), obtidos para cada um dos experimentos de processamento. Pode-se verificar que a reconstituição da matéria prima foi bastante adequada, pois na alimentação os teores de sólidos totais, entre 10,70 e 11,00% e seus componentes apresentaram variação muito restrita.

Durante a ultrafiltração ocorreram mudanças na composição química devido à concentração e fracionamento do leite de cabra através da membrana de 10.000 Daltons. Basicamente houve a retenção dos componentes de elevada massa molecular, tais como proteína e gordura, e a permeação dos componentes de menor massa molecular pela membrana como a lactose, cinzas e NNP, conforme pode ser visto através das Figuras 7 a 10. Essas Figuras apresentam os resultados obtidos para os experimentos 4 e 1, que são aqueles que resultaram em maior e menor porcentagem de variação da relação proteína/lactose, respectivamente 3,93 e 3,69. Nas Figuras 7 e 9 são apresentados os gráficos de composição centesimal dos componentes na alimentação (ALIM), concentrados (C-FC2 e C-FC4) e permeados (P-FC2 e P-CF4), enquanto que nas Figuras 8 e 10, são mostrados os respectivos gráficos da porcentagem de variação de cada componente, considerando os experimentos 4 e 1. A comparação entre as Figuras 8 e 10 permite observar uma repetição de tendências durante a UF com valores muito próximos, onde a

proteína e a gordura apresentam comportamentos similares. O mesmo pode ser dito em relação às Figuras 7 e 9.

Os resultados mostram que com o aumento do fator de concentração, houve aumento da concentração de sólidos totais, proteína e gordura, enquanto que para os outros componentes do leite, como o NNP e lactose, houve diminuição destes componentes no retentado, uma vez que estes componentes permeiam a membrana, levando a uma separação para as correntes de permeado e retentado (Mehaia *et alii*, 1998; Mehaia e Cheryan, 1983; Espinoza *et alii*, 1998). Estes dados estão de acordo com os diversos trabalhos encontrados na literatura para leite de vaca (Mehaia 1996; Garnot e Corre, 1980; Reuter *et alii*, 1981; Lucisano *et alii*, 1985). A proteína foi o componente que sofreu maior variação, aumentando, em média, de aproximadamente 27,00% em base seca na alimentação, para cerca de 40,00% em FC4, uma vez que a maior parte das proteínas possuem massa molecular com valores acima de 10.000 Daltons (Cousin e Premaratne, 1991; Mehaia, 1996; Waungana, 1998).

Em média, a concentração, em base seca, de gordura aumentou de 31,24 na alimentação para 42,46% no concentrado em FC4, enquanto que a concentração de cinzas na alimentação até FC4 aumentou de 6,00 para 7,00%. A concentração de cinzas aumentou com o fator de concentração volumétrico em um grau menor que o da proteína e gordura devido a sua baixa massa molecular. Porém a permeabilidade de constituintes minerais do leite, durante a UF ou microfiltração, depende da espécie do íon, das proteínas presentes, do pH e da temperatura. Certos íons são constituintes da fase micelar e dos glóbulos de gorduras e/ou têm capacidade de se ligar ou associar com as proteínas, principalmente a caseína, com a gordura ou mesmo com a

membrana, (Surowka e Celej, 1996; Vasiljevic e Jelen, 1999). Para FC2 o teor de cinzas é reduzido porque há elevada permeação, dispersando-as pelas correntes de permeado e retentado, enquanto que para FC4, após a consolidação do “fouling” há um aumento na retenção das cinzas elevando o seu valor relativo, acima do permeado na alimentação. Isso explica o aumento gradual observado para a concentração dos componentes minerais. Os resultados obtidos neste trabalho estão de acordo com os resultados mostrados por Mehia *et alii*, (1998) e Espinoza *et alii*, (1998).

Durante a UF e conseqüente aumento do fator de concentração, houve aumento gradual da relação Pt/Lact dos concentrados, como pode ser visto na Tabela 6. A relação Pt/Lact para alimentação variou, com valores entre 0,85 e 0,90 média de 0,87, enquanto que para FC4 este parâmetro esteve entre 3,69 e 3,93.

Mehaia *et alii*, (1998) fizeram a UF de leite de cabra desnatado, num sistema operando à pressão transmembrana uniforme de 35 a 137 kPa e temperatura de 50°C. A UF foi conduzida até fator de concentração 5. No FC4 os resultados foram: $13,80 \pm 0,12\%$ de proteína total, $3,70 \pm 0,08\%$ lactose, o que corresponde a razão Pt/Lact de 3,73. Estes resultados foram os melhores encontrados na literatura (item II. 5). Neste trabalho a melhor relação Pt/Lact foi encontrada no experimento 4, cuja vazão volumétrica de 4m³/h sob pressão transmembrana de 1,2 bar foi de 3,93, enquanto que o teor de proteína total em base seca, foi de $40,05 \pm 0,68\%$ e de lactose 10,18%, respectivamente. Este resultado apresenta, portanto, teor de proteína e variação Pt/Lact comparável ou ligeiramente acima dos encontrados pelos autores (Cousin e Premaratne, 1991; Espinoza *et alii*, 1998; Waungana, 1998; Mehaia, 1996)

É importante ressaltar que se o teor de gordura inicial fosse reduzido, por exemplo, através da microfiltração do leite desnatado em membrana de diâmetro médio de poro $0,5\mu\text{m}$ (Surel e Famelart, 1995) ou ainda de $0,8\mu\text{m}$ (Viotto, 1997) antes da UF com membrana de 10.000 Daltons, os valores relativos de proteína seriam mais elevados em relação aos valores aqui encontrados.

Tabela 6. Composição centesimal, em base seca, da alimentação e dos concentrados de proteína de leite integral de cabra reconstituído durante a ultrafiltração.

Exp	Vazão m ³ /h	P transm bar	A/FC*	Sólidos totais	Cinzas	Proteína	Gordura	NNP	Lactose	Relação Pt/Lact
1	1,8	0,2	A	10,70 ± 0,02	6,65 ± 0,04	27,73 ± 0,11	31,72 ± 0,0	1,78 ± 0,01	32,12	0,86
			FC2	16,91 ± 0,04	5,67 ± 0,12	32,88 ± 0,07	39,98 ± 0,01	1,30 ± 0,05	20,17	1,63
			FC4	32,13 ± 0,02	7,22 ± 0,05	38,94 ± 0,09	42,08 ± 0,03	1,21 ± 0,04	10,55	3,69
2	4	0,2	A	10,83 ± 0,03	6,65 ± 0,10	27,56 ± 0,28	32,52 ± 0,09	1,85 ± 0,03	31,43	0,88
			FC2	17,24 ± 0,08	5,73 ± 0,10	32,70 ± 0,31	40,65 ± 0,05	1,45 ± 0,02	19,47	1,68
			FC4	32,96 ± 0,06	7,22 ± 0,04	38,83 ± 0,12	42,51 ± 0,50	1,24 ± 0,04	10,19	3,81
3	1,8	1,2	A	11,09 ± 0,06	6,47 ± 0,5	27,38 ± 0,01	32,09 ± 0,00	1,80 ± 0,05	32,18	0,85
			FC2	17,60 ± 0,02	5,54 ± 0,09	32,74 ± 0,04	40,18 ± 0,01	1,36 ± 0,05	20,18	1,62
			FC4	33,59 ± 0,0	6,99 ± 0,10	38,97 ± 0,35	42,30 ± 0,03	1,22 ± 0,03	10,51	3,71
4	4	1,2	A	10,89 ± 0,02	6,30 ± 0,34	27,96 ± 0,28	31,25 ± 0,07	1,74 ± 0,01	32,74	0,85
			FC2	17,25 ± 0,10	5,44 ± 0,58	33,45 ± 0,12	39,30 ± 0,12	1,28 ± 0,0	20,53	1,63
			FC4	32,61 ± 0,04	6,93 ± 0,33	40,05 ± 0,68	41,61 ± 0,09	1,23 ± 0,01	10,18	3,93

* A/FC = Alimentação (=A) ou concentrado (=FC2; FC4)

Exp	Vazão m³/h	P transm bar	A/FC*	Sólidos totais	Cinzas	Proteína	Gordura	NNP	Lactose	Relação Pt/Lact
5	2,9	0,7	A	10,76 ± 0,04	6,32 ± 0,02	27,80 ± 0,11	32,02 ± 0,20	1,27 ± 0,00	32,09	0,87
			FC2	17,10 ± 0,03	5,55 ± 0,05	33,13 ± 0,09	39,88 ± 0,05	1,29 ± 0,01	20,15	1,64
			FC4	32,65 ± 0,02	6,74 ± 0,03	39,51 ± 0,26	41,99 ± 0,09	1,23 ± 0,0	10,53	3,75
6	2,9	0,7	A	10,89 ± 0,01	6,57 ± 0,10	28,06 ± 0,35	31,58 ± 0,06	1,84 ± 0,0	31,95	0,88
			FC2	17,33 ± 0,05	5,53 ± 0,07	33,58 ± 0,14	39,53 ± 0,05	1,38 ± 0,02	19,98	1,68
			FC4	33,11 ± 0,04	7,15 ± 0,02	39,75 ± 0,26	41,47 ± 0,16	1,21 ± 0,01	10,42	3,81
7	2,9	0,7	A	10,68 ± 0,05	6,26 ± 0,12	28,18 ± 0,31	32,55 ± 0,10	1,87 ± 0,03	31,13	0,90
			FC2	17,09 ± 0,06	5,60 ± 0,10	33,12 ± 0,03	40,58 ± 0,12	1,35 ± 0,02	19,36	1,71
			FC4	32,78 ± 0,06	6,86 ± 0,07	39,32 ± 0,04	42,46 ± 0,08	1,25 ± 0,02	10,10	3,89

*A/FC = Alimentação (=A) ou concentrado (=FC2, FC4)

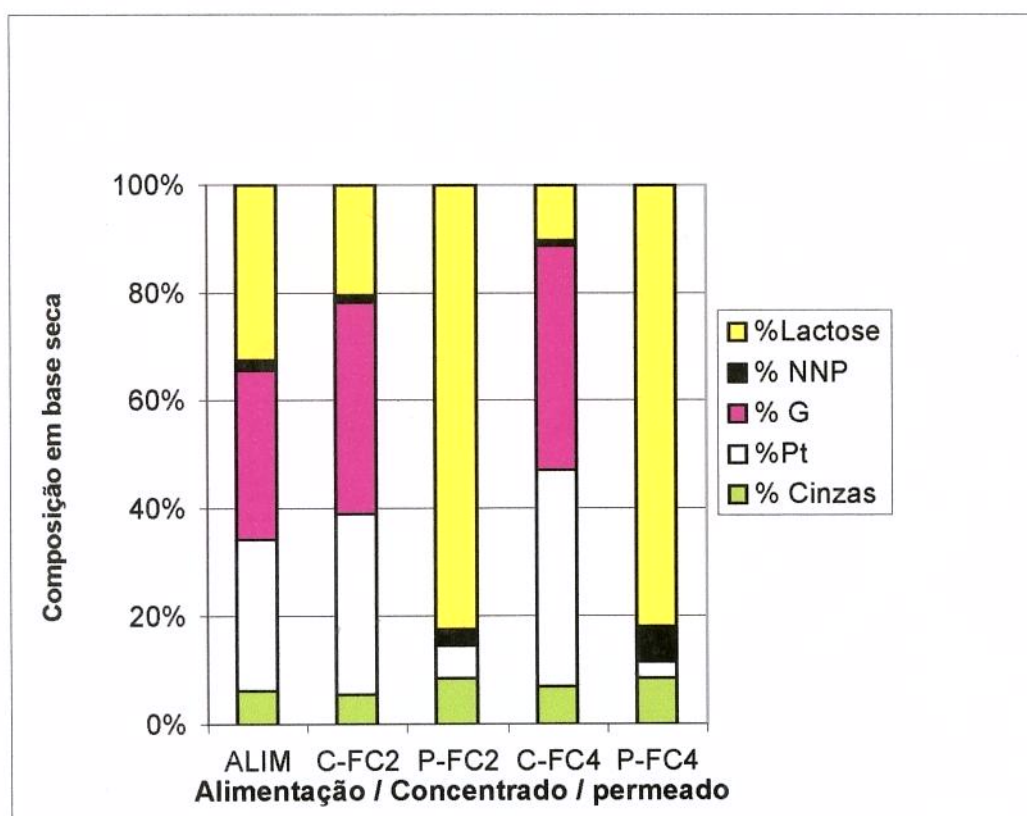


FIGURA 7. Composição, em base seca, da alimentação, dos concentrados e permeados a FC2 e FC4 durante a UF com alimentação de $4\text{m}^3/\text{h}$, pressão transmembrana de 1,2 bar e temperatura de 50°C (experimento 4).



Figure 1. Effect of the concentration of the inhibitor on the growth of the microorganism. The growth rate was determined by measuring the optical density (OD600) of the culture. The concentration of the inhibitor was 0, 0.01, 0.02, 0.03, and 0.04 g/L. The growth rate decreased as the concentration of the inhibitor increased.

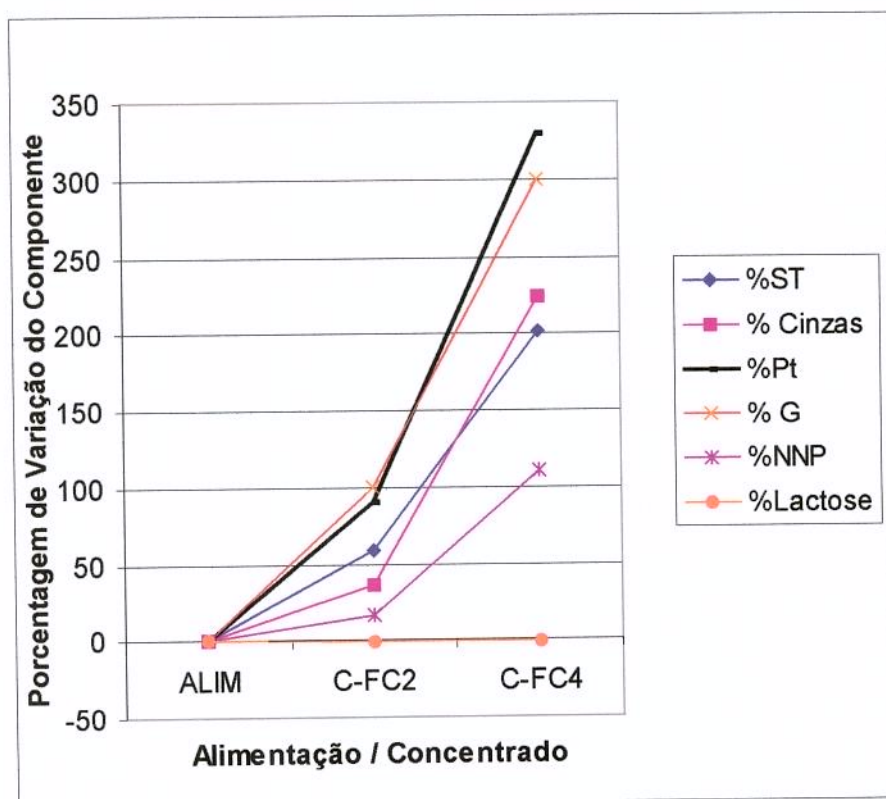


Figura 8. Porcentagem de variação dos componentes dos concentrados a FC2 e FC4 durante a UF com alimentação de $4\text{m}^3/\text{h}$, pressão transmembrana de 1,2 bar e temperatura de 50°C (experimento 4).

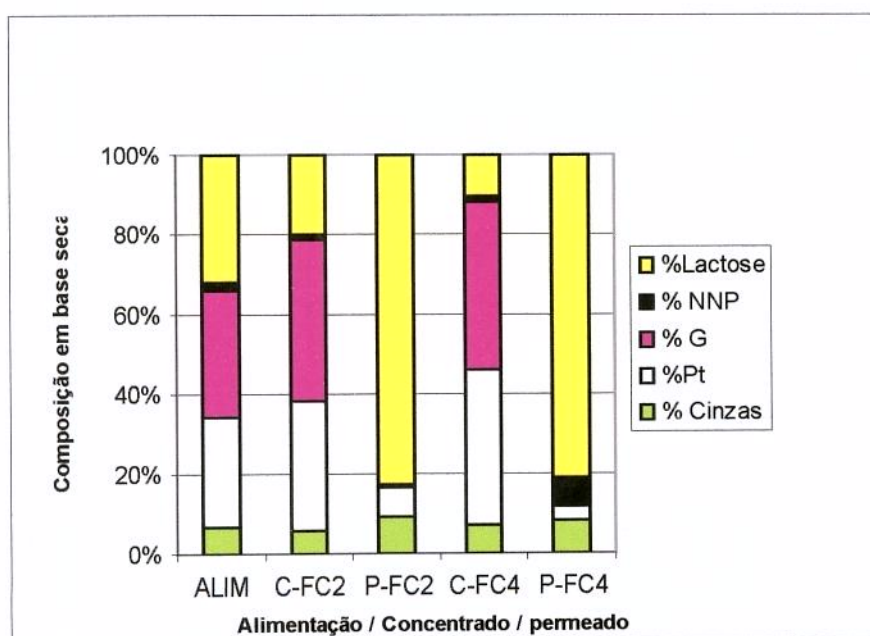


FIGURA 9. Composição, em base seca, da alimentação, dos concentrados e permeados a FC2 e FC4 durante a UF com alimentação de $1,8\text{m}^3/\text{h}$, pressão transmembrana de 0,2 bar e temperatura de 50°C (experimento 1).

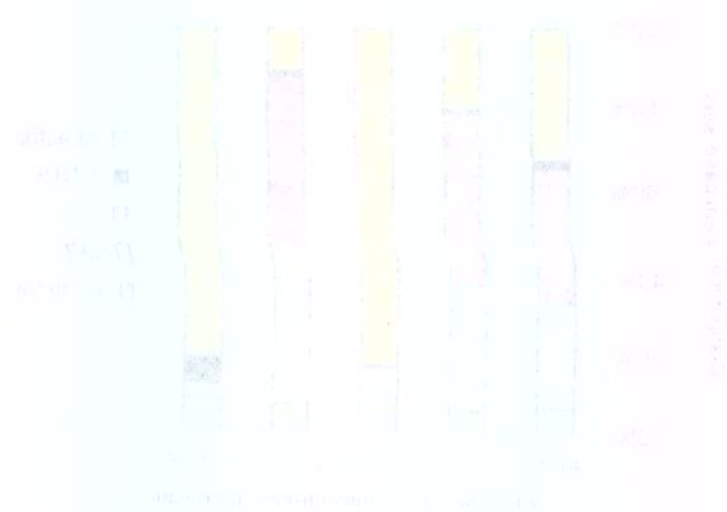


FIGURE 1. Five vertical bar charts showing the percentage of different soil types (0-100 cm depth) for five different soil profiles (A, B, C, D, E). The y-axis represents 'Percentage of soil type' from 0 to 100. The x-axis represents 'Soil profile' with categories A, B, C, D, and E. The legend indicates: 0-10 cm (light blue), 10-20 cm (dark blue), 20-30 cm (light green), 30-40 cm (dark green), 40-50 cm (light yellow), 50-60 cm (dark yellow), 60-70 cm (light orange), 70-80 cm (dark orange), 80-90 cm (light red), 90-100 cm (dark red).

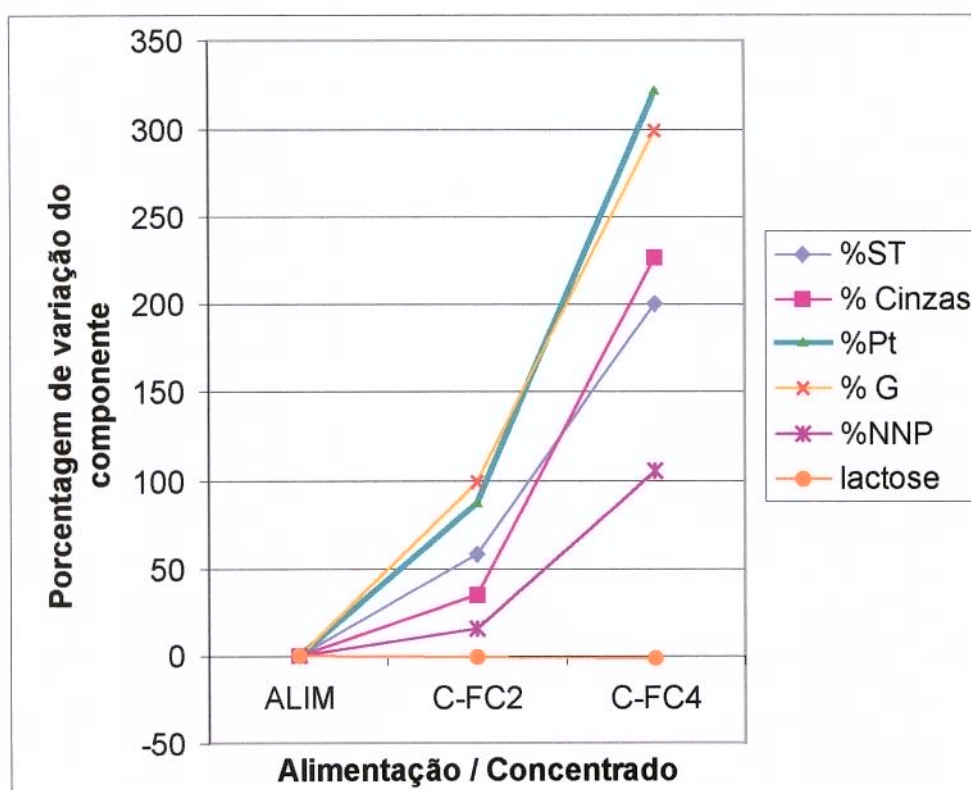


Figura 10. Porcentagem de variação dos componentes dos concentrados a FC2 e FC4 durante a UF com alimentação de $1,8\text{m}^3/\text{h}$, pressão transmembrana de 0,2 bar e temperatura de 50°C (experimento 1).

IV.2. Análise do coeficiente de retenção do leite integral de cabra reconstituído

Através da Tabela 7, que apresenta o coeficiente de retenção dos constituintes do leite submetido aos vários processamentos em função do FC, pode ser verificado que o coeficiente de retenção dos componentes do leite integral de cabra reconstituído aumentou com o fator de concentração. Estes valores estão bastante próximos aos encontrados por Mehaia *et alii*, 1998, que apresentaram os seguintes resultados, do coeficiente de retenção, em porcentagem, durante a concentração do leite de cabra desnatado para FC2 e FC4:

sólidos totais 58,20 e 73,10%; cinzas 60,00 e 74,80%; lactose 0,30 e 0,80%; nitrogênio total 96,90 e 97,00% e de gordura 100,00%.

Tabela 7. Coeficiente de retenção dos componentes do leite integral de cabra reconstituído em função do FC.

Exp	FC	Sólidos totais	Cinzas	Proteína	Gordura	NNP	Lactose
1	C-FC2	0,68	0,51	0,95	1	-0,41	-0,30
	C-FC4	0,83	0,80	0,98	1	0,21	-0,30
2	C-FC2	0,70	0,56	0,96	1	0,04	-0,31
	C-FC4	0,84	0,82	0,98	1	0,44	-0,31
3	C-FC2	0,70	0,52	0,96	1	-0,13	-0,21
	C-FC4	0,84	0,8	0,98	1	0,34	-0,22
4	C-FC2	0,69	0,52	0,96	1	-0,11	-0,24
	C-FC4	0,84	0,80	0,98	1	0,39	-0,32
5	C-FC2	0,70	0,53	0,96	1	-0,09	-0,24
	C-FC4	0,84	0,80	0,98	1	0,4	-0,34
6	C-FC2	0,7	0,51	0,97	1	-0,042	-0,21
	C-FC4	0,84	0,80	0,98	1	0,38	0,058
7	C-FC2	0,69	0,55	0,95	1	-0,087	-0,087
	C-FC4	0,84	0,80	0,97	1	0,39	0,39

O aumento do coeficiente de retenção, com o tempo e o fator de concentração, tem sido atribuído à adsorção de solutos, notadamente as proteínas e ao acúmulo de sólidos sobre a membrana, o que leva à formação de uma membrana secundária (Pouliot *et alii*, 1992), que funciona como uma barreira adicional ao transporte dos solutos. Tais mudanças no coeficiente de retenção poderiam ser devidas, segundo Cheryan (1986), à obstrução física dos poros da membrana pela proteína adsorvida. Segundo Zenan (1983), a adsorção do soluto está intimamente ligada à retenção do soluto. Portanto, as propriedades de retenção dependeriam principalmente do “fouling” interno, enquanto que o fluxo seria controlado pela polarização da concentração (Pouliot *et alii*, 1992). Isto explicaria porque, durante a UF de soluções protéicas, tanto o fluxo de permeado como a retenção são

dependentes do tempo e do fator de concentração. À medida que o fluxo diminuiu, a retenção dos componentes aumentou, para os componentes de alto peso molecular como mostra a Figura 11, enquanto que para o NNP até FC2 o coeficiente de retenção ficou próximo de zero, para em seguida aumentar. Isto provavelmente deve-se ao comportamento da curva de permeado na qual, após FC acima de 1,5, há uma consolidação do “fouling”, com conseqüente aumento do coeficiente de retenção, inclusive para o NNP.

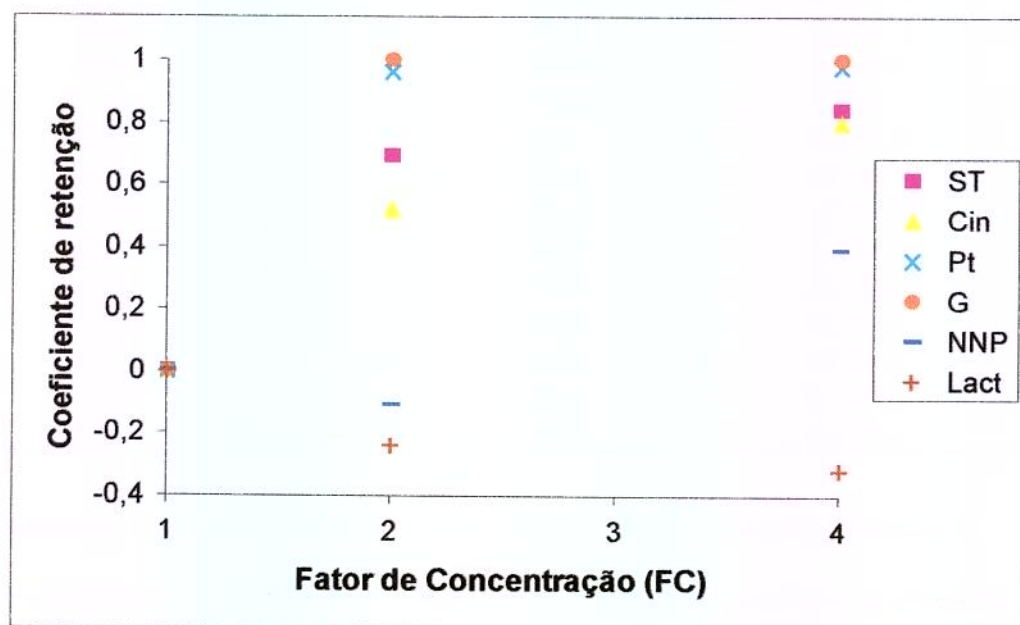


Figura 11. Efeito do fator de concentração volumétrica sobre o coeficiente de retenção dos componentes, durante a ultrafiltração do leite integral de cabra reconstituído, para o (experimento 4).

IV.3. Análise do rendimento dos componentes do leite integral de cabra reconstituído

O rendimento dos componentes do leite integral de cabra reconstituído, calculado através da equação (2) diminuiu com o fator de concentração, para NNP, lactose e sólidos

totais como pode ser verificado através da Tabela 8, que apresenta o rendimento dos vários constituintes do leite submetido as diferentes condições de processo, em função de FC. O rendimento das proteínas aumentou, sendo que em alguns casos ele manteve-se acima de 0,97 para FC igual a 4, mostrando que a membrana apresentou alta eficiência na retenção da proteína, permitindo permeado muito baixo para este componente.

Tabela 8. Rendimento dos componentes do leite integral de cabra reconstituído em função do FC.

Exp	FC	Sólidos totais	Cinzas	Proteína	Gordura	NNP	Lactose
1	C-FC2	0,80	0,71	0,96	1	0,38	0,41
	C-FC4	0,79	0,76	0,97	1	0,33	0,17
2	C-FC2	0,81	0,74	0,97	1	0,51	0,40
	C-FC4	0,80	0,77	0,97	1	0,44	0,16
3	C-FC2	0,81	0,72	0,97	1	0,46	0,43
	C-FC4	0,80	0,76	0,98	1	0,40	0,19
4	C-FC2	0,81	0,72	0,97	1	0,46	0,42
	C-FC4	0,80	0,76	0,97	1	0,43	0,16
5	C-FC2	0,81	0,72	0,98	1	0,47	0,42
	C-FC4	0,80	0,75	0,98	1	0,43	0,17
6	C-FC2	0,81	0,71	0,98	1	0,49	0,43
	C-FC4	0,80	0,87	0,99	1	0,65	0,52
7	C-FC2	0,81	0,73	0,97	1	0,47	0,41
	C-FC4	0,80	0,77	0,97	1	0,43	0,18

A diminuição do rendimento de sólidos totais, NNP e lactose com o aumento do FC, explica-se pelo fracionamento desses componentes no concentrado e permeado, além da deposição de parte destes compostos ainda que muito reduzida, dentro dos poros e / ou sobre a superfície da membrana. A Figura 12 mostra o comportamento da retenção dos componentes do leite integral de cabra reconstituído, em função do fator de concentração durante a UF.

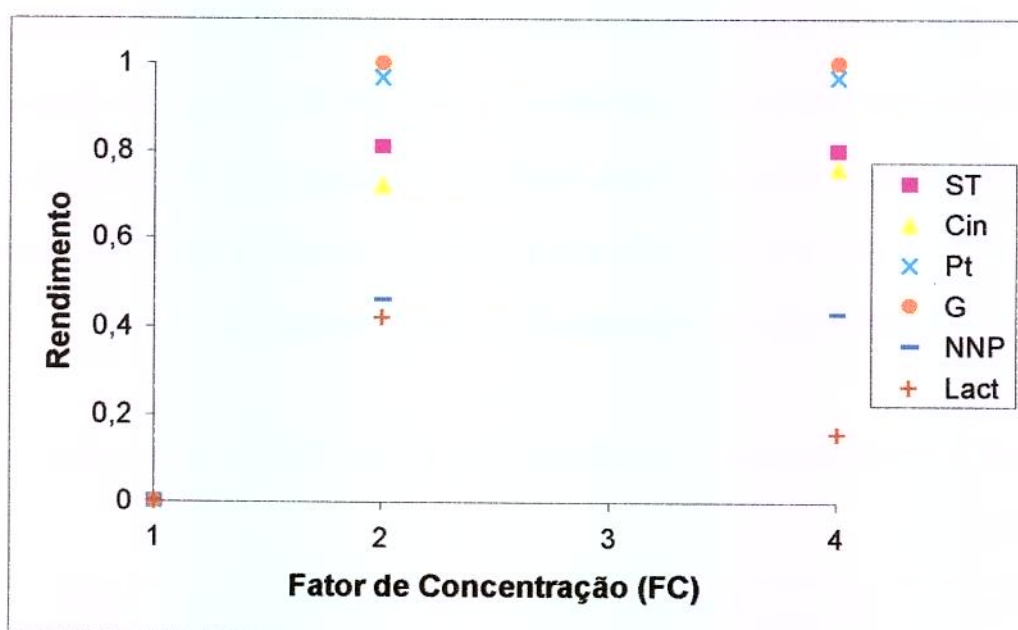


Figura 12. Efeito do fator de concentração volumétrica sobre o rendimento dos componentes, durante a ultrafiltração do leite integral de cabra reconstituído para o (experimento 4).

IV. 4. Fluxo de permeado

Durante a concentração do leite integral de cabra por UF, verificou-se declínio no fluxo de permeado com o aumento do tempo de processo e com o aumento do fator de concentração, como pode ser visualizado nas Figuras 13 e 14, que apresentam as curvas de permeado para as diversas condições experimentais. A curva de fluxo para cada corrida foi elaborada a partir dos dados experimentais e está representada no anexo V. A diminuição do fluxo de permeado encontrada no processo de UF tem sido observada e discutida por inúmeros autores (Marshall e Daufin, 1995; Marshall *et alii*, 1995; Pouliot *et alii*, 1996., Habert, *et alii*, 1997; Maubois, 1980; Merin e Cheryan, 1980) que enfocam, basicamente, o

efeito da polarização da concentração e o fenômeno do “fouling”, como sendo os responsáveis por esta redução significativa no fluxo de permeado.

Os dois maiores valores de fluxos encontrados, para FC 4, ocorreram para combinações de vazão volumétrica de alimentação de $4\text{m}^3/\text{h}$ e pressão transmembrana de 1,2 bar, (exp 4), respectivamente $1,8\text{m}^3/\text{h}$ e 1,2 bar (exp3), sendo que para o experimento 4 o fluxo de permeado caiu de 70,34 para $42,23\text{ kg/m}^2.\text{h}$, enquanto que para o experimento 3, de 65,31 para $34,43\text{ kg/m}^2.\text{h}$, valores estes obtidos no início do processo e ao atingir o FC4, respectivamente. Para estes mesmos critérios os dois menores valores de fluxos ocorreram para combinações de vazão volumétrica de alimentação de $1,8\text{m}^3/\text{h}$ e pressão transmembrana de 0,2 bar (exp 1) e $4\text{m}^3/\text{h}$ e de 0,2 bar (exp 2), sendo que para o experimento 1 o fluxo de permeado caiu de 31,85 para $19,10\text{ kg/h.m}^2$, enquanto que para o experimento 2, de 35,08 para $14,17\text{ kg/m}^2.\text{h}$.

As proteínas e a gordura são os 2 componentes que apresentaram maior coeficiente de retenção, aproximadamente ou igual a (1) um, para a membrana de 10.000 Daltons, e conseqüentemente tendem a apresentar altas concentrações na superfície da mesma. Essa concentração é alta o bastante para formar uma camada gelificada, que aumenta a resistência hidráulica da membrana e reduz o fluxo de permeado, quando todos os parâmetros operacionais, tais como pressão transmembrana, vazão volumétrica e temperatura são mantidas constantes e o fator de concentração aumenta. Na UF de leite o diâmetro do poro que permanece aberto para o fluxo do permeado, diminui durante o experimento devido também à deposição de microorganismos e micelas de caseína na superfície da membrana (Gésan-Guiziou *et alii*, 1999 b; Marshall *et alii*, 1996)

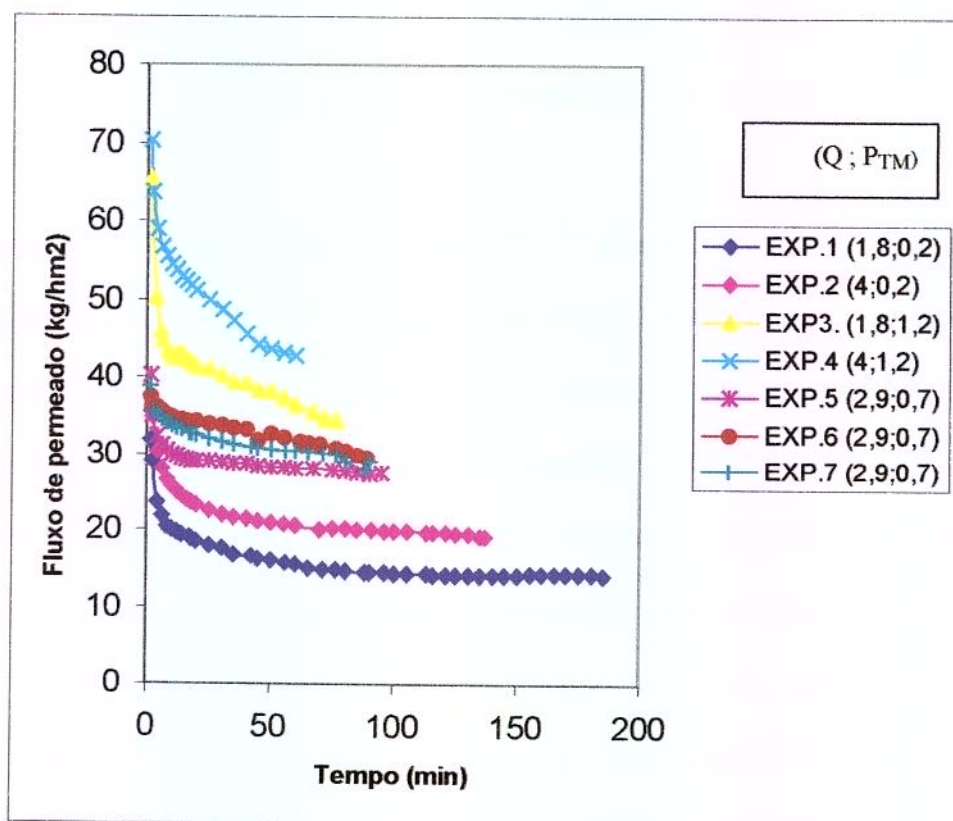


Figura 13. Curvas de fluxo de permeado em função do tempo durante a ultrafiltração, até FC igual a 4, à temperatura de 50°C, para várias vazões de alimentação (Q), e pressões transmembrana (P_{TM}).

A Figura 14 mostra que há queda acentuada do fluxo de permeado até aproximadamente FC igual a 1,1, correspondente à fase em que ocorre a formação da camada gel polarizada. Entre FC 1,1 até FC por volta de 2 está ocorrendo o “fouling”, deposição de componentes na superfície e nos poros da membrana. Para FC acima de 2 há, uma consolidação do “fouling”, mostrando concordância com o comportamento de uma curva típica apresentada na literatura (Figura 4).

A taxa de queda de fluxo de permeado na faixa entre FC 1,1 até FC 1,5 sofreu redução acentuada em relação à fase posterior (final). À exceção dos experimentos 3 e 4, verifica-se que há tendência à formação do “fouling” que se dá logo após FC 1,1 e se prolonga até por volta de FC 1,5, quando a partir daí inicia-se o que se convencionou chamar de consolidação do “fouling” (Marchal *et alii*, 1995; Pouliot *et alii*, 1996; Habert *et alii*, 1997).

Para os experimentos 3 e 4 observa-se que a queda de fluxo persiste continuamente durante toda a concentração, não atingindo nitidamente o patamar de fluxo aproximadamente constante, o que corresponde à etapa de consolidação do “fouling”. Estes 2 experimentos foram realizados com os maiores valores de vazão volumétrica e pressão transmembrana. Verifica-se assim o efeito importante de velocidade tangencial e de pressão transmembrana sob o fluxo de permeado. O efeito de velocidade tangencial, como esperado, vem no sentido de aumentar o fluxo de permeado devido à maior turbulência provocada na camada gel polarizada, facilitando a passagem do permeado.

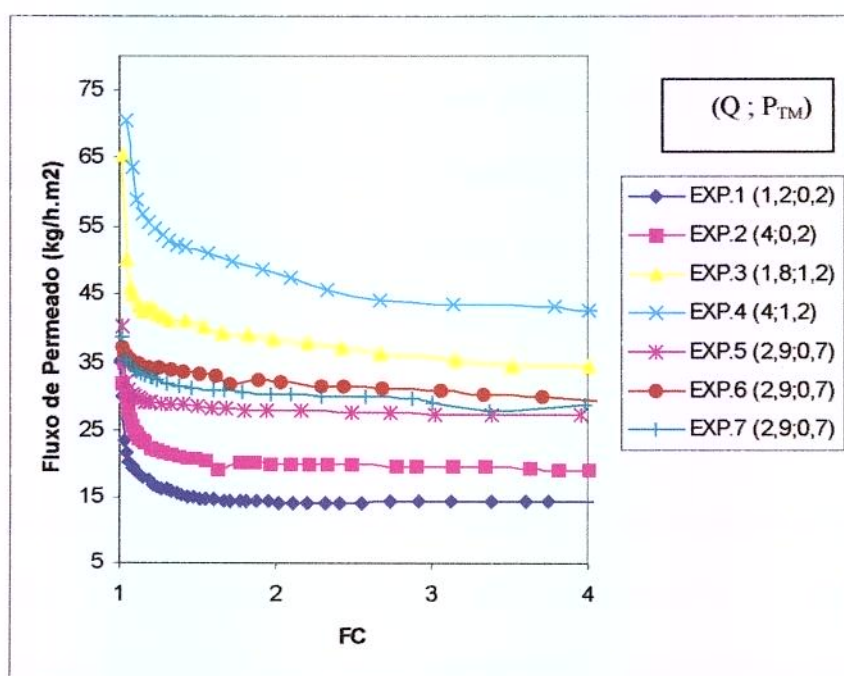


Figura 14. Curvas de fluxo de permeado em função do fator de concentração durante a UF, até FC igual a 4, à temperatura de 50°C, para várias vazões de alimentação (Q), e pressões transmembrana (P_{TM}).

IV.4.1. Efeito da vazão volumétrica e da pressão transmembrana na porcentagem de variação da relação Pt/Lact e no fluxo de permeado global

Pela Tabela 9 verifica-se que a concentração por UF elevou o teor de proteína, em base seca, de cerca de 27,45 para 38,18%, em termos de valor médio. Já a relação Pt/Lact, conseqüentemente sofreu alteração de um valor médio de $0,87 \pm 0,02$, na alimentação, para $3,80 \pm 0,09$ a FC4, sendo o valor máximo de 3,93 para a condição experimental 4, onde vazão volumétrica de alimentação e a pressão transmembrana atingem os valores máximos, respectivamente, 4m³/h e 1,2 bar, e o fluxo de permeado também foi máximo.

Tabela 9. Porcentagem de proteína e relação Pt/Lact em base seca, em função da vazão volumétrica e da pressão transmembrana para a alimentação e concentrados a FC4

Exp	Condições	Experim.	% Proteína*		Proteína/Lactose (Pt/Lact)	
	Q (m ³ /h)	P(bar)	Alim	FC=4	Alim	FC=4
1	1,8	0,2	27,73	38,94	0,86	3,69
2	4	0,2	27,56	38,83	0,88	3,81
3	1,8	1,2	27,45	38,97	0,85	3,71
4	4	1,2	27,96	40,05	0,85	3,93
5	2,9	0,7	27,80	39,51	0,87	3,73
6	2,9	0,7	28,06	39,75	0,88	3,81
7	2,9	0,7	28,18	39,32	0,90	3,89

*Os respectivos erros experimentais estão na Tabela 6

Do ponto de vista do processo de obtenção do concentrado protéico é interessante que seja estabelecido alto fluxo de permeado com a máxima porcentagem de variação de proteína, e o máximo de retenção de proteína, o que significa menor tempo de processo para a maior recuperação possível de proteína.

A Tabela 10 apresenta a porcentagem de variação da relação Pt/Lact a FC4 da alimentação e o fluxo de permeado em função das condições experimentais. O valor do fluxo de permeado global (J) foi calculado através da equação (10) e representa uma das variáveis dependentes para a análise estatística da influência das condições operacionais neste parâmetro.

Tabela 10. Porcentagem de variação Pt/Lact a FC4 em relação à alimentação e fluxo de permeado global em função da vazão volumétrica de alimentação e da pressão transmembrana.

Experimento	Variáveis independentes		Variáveis dependentes	
	Q(m ³ /h)	P(bar)	% var. Pt/Lact *	J(kg/h.m ²)
1	1,8	0,2	329	20
2	4	0,2	333	24,50
3	1,8	1,2	336	44,62
4	4	1,2	362	51,51
5	2,9	0,7	329	31,61
6	2,9	0,7	333	32,12
7	2,9	0,7	332	31,13

*Calculado através da equação (3)

IV.4.2. Análise estatística do efeito da vazão volumétrica e da pressão transmembrana sobre a porcentagem de variação da relação Pt/Lact e do fluxo de permeado global

Através da análise estatística dos resultados foram verificadas as porcentagens de variação da relação Pt/Lact e de fluxo de permeado global obtido a FC igual a 4. A Tabela 11 apresenta os resultados obtidos do cálculo estatístico do efeito da vazão volumétrica da alimentação, da pressão transmembrana e da interação entre eles na porcentagem de variação da relação Pt/Lact. Estes resultados permitem afirmar que, para as condições estudadas, os parâmetros vazão volumétrica de alimentação e pressão transmembrana e a interação vazão versus pressão transmembrana exerceram efeito significativo sobre a porcentagem de variação da relação Pt/Lact.

Tabela 11. Valor dos efeitos da vazão volumétrica de alimentação, pressão transmembrana e da interação entre esses efeitos, sobre a porcentagem de variação da relação Pt/Lact a FC4

	Coef. Reg.	Desv.padr.	T (2)	P	Lim. Conf. -95%	Lim. Conf. +95%
Média*	336,29	79	427,41	5,0E-06	332,90	339,67
(1) pressão	7,5	1,04	7,21	0,019	3,02	11,98
(2) Vazão	9	1,04	8,65	0,013	4,52	13,48
P X Q	5,5	1,04	5,28	0,034	1,02	9,98

- $P < 0,05$ (estatisticamente significativo a 95% de confiança)

Coefficiente de Correlação $R^2 = 0,83$

A interpretação dos resultados da Tabela 11 deve ser feita com base na magnitude e sinais de efeitos. Quanto maior o valor do efeito, maior será a influência deste sobre a resposta em estudo. O sinal indica a proporcionalidade com que varia o efeito com relação à resposta. Por exemplo, um sinal positivo indica que a relação existente entre a variável independente e a resposta é de direta proporcionalidade, ou seja, a passagem de um nível inferior para um superior da variável independente acarreta aumento no valor da resposta. Para sinal negativo, a relação é de inversa proporcionalidade.

O valor do coeficiente P (desvio relativo médio) está relacionado ao nível de significância da variável independente sobre a resposta em estudo. Normalmente é escolhido como intervalo de confiança o valor de 95%. Sendo assim, pode-se afirmar que para valores de P inferiores à 5%, a variável é considerada estatisticamente significativa, caso contrário, é considerada não significativa.

Pela análise do valor de P da Tabela 11 observa-se que para as condições estudadas, os parâmetros pressão transmembrana e vazão volumétrica de alimentação e a interação

vazão versus pressão transmembrana exerceram efeito significativo sobre a porcentagem de variação da relação Pt/Lact.

Ao observar a magnitude dos efeitos percebe-se que a vazão volumétrica de alimentação exerceu maior influência sobre a porcentagem de variação da relação Pt/Lact em relação a pressão transmembrana.

Com relação ao parâmetro P da Tabela 12, nota-se que para as condições estudadas a pressão transmembrana e a vazão volumétrica de alimentação exerceram efeito significativo sobre o fluxo de permeado global, o mesmo não ocorrendo para o efeito de interação.

A magnitude dos efeitos da Tabela 12 sugere que a pressão transmembrana exerceu maior influência sobre o fluxo de permeado global, em relação à vazão volumétrica de alimentação.

Tabela 12. Valor dos efeitos da vazão volumétrica de alimentação, pressão transmembrana e da interação entre esses efeitos sobre o fluxo de permeado global.

	Coef. Reg.	Desv.padr.	T (2)	P	Lim. Conf. -95%	Lim. Conf. +95%
Média*	33,64	0,19	179,78	3,09E-05	32,84	34,45
(1) pressão	12,91	0,25	52,14	3,7E-04	11,84	13,97
(2) Vazão	2,85	0,25	11,50	0,0075	1,78	3,91
P X Q	0,60	0,25	2,41	0,14	-0,47	1,66

- $P < 0,05$ (estatisticamente significativo a 95% de confiança)

Coefficiente de Correlação $R^2 = 0,97$

Verificou-se também que o efeito positivo do aumento da pressão transmembrana ocorreu de uma forma mais intensa para as altas vazões de alimentação (2,9 e 4 m³/h), do que em relação à faixa de vazão de alimentação entre 1,8 e 2,9 m³/h, para fluxo de permeado global. Do ponto de vista de composição química o efeito positivo do aumento da pressão transmembrana ocorreu de uma forma mais intensa para as altas pressões (0,7 e 1,2 bar), do que em relação à faixa de pressão entre 0,2 e 0,7 bar. Por isso, a análise estatística dos dados indica que para se obter um produto com a máxima relação Pt/Lact e máximo fluxo de permeado global de leite integral de cabra até FC4, com membrana de fibra oca de polissulfona, com valor de peso molecular de corte 10.000 Daltons, deve-se operar nas condições do experimento 4, ou seja, a vazão volumétrica de alimentação de 4m³/h e pressão transmembrana de 1,2 bar.

IV.5. Modelagem do fluxo de permeado

Como descrito no item II. 6 foi adotado o modelo elaborado por Kuo *et alii* (1983), expresso pela equação (5), para descrever o comportamento do fluxo de permeado em função do tempo, na etapa de concentração do leite integral de cabra reconstituído até FC4. A Tabela 13 apresenta: valores do ajuste dos dados de regressão linear (R); fluxo de permeado no tempo de 1 (um) minuto (J₁); índice do “fouling” (b), obtido a partir de dados experimentais até FC4, o fluxo de permeado calculado em FC4 (J_{calc}) e o fluxo de permeado (J_p).

Tabela 13. Valores do ajuste dos dados de regressão linear (R), fluxo de permeado (J_1), índice do “fouling” (b), fluxo de permeado calculado (Jcalc) e o fluxo de permeado (J_P) em função da vazão volumétrica de alimentação e da pressão transmembrana até FC4

CORRIDAS	$P_{TM}(\text{bar})$	$Q(\text{m}^3/\text{h})$	R	b	$J_1(\text{kg}/\text{h}.\text{m}^2)$	J_P	Jcalc(kg/h.m ²)
1	0,2	1,8	-0,98	0,151	29,28	20,00	18,59
2	0,2	4	-0,99	0,122	34,30	24,50	23,91
3	1,2	1,8	-0,96	0,116	58,15	44,62	42,78
4	1,2	4	-0,99	0,118	70,88	51,51	52,56
5	0,7	2,9	-0,93	0,065	36,05	31,61	29,89
6	0,7	2,9	-0,93	0,047	38,51	32,12	33,61
7	0,7	2,9	-0,98	0,06	38,59	31,13	32,44

Observa-se que as curvas do ponto central corridas 5, 6 e 7, foram as que tenderam a apresentar menor queda no fluxo entre o início do experimento e o FC 1,1 e que apresentou maior tendência a se estabilizar mais rapidamente, neste caso os valores de vazão e pressão transmembrana foram 2,9m³/h e 0,7 bar respectivamente, e o valor de (b) esteve entre 0,065 e 0,047, sendo os valores, dentre todos, os mais próximo de zero. Os experimentos 1 e 2 sob baixa pressão apresentaram significativa variação entre o fluxo (J_1) inicial e o fluxo estabilizado (Jcalc), neste caso o valor de (b), esteve entre 0,151 e 0,122. Mas os casos em que houve maior queda de fluxo, em valores absolutos e que necessitou-se mais tempo para a sua estabilização, foram os experimentos 3 e 4 cujos valores de (b), situaram-se entre 0,118 e 0,116.

As Figuras 15 a 17 representam, respectivamente, para as corridas 1, 6 e 4, os valores dos dados experimentais do fluxo de permeado (J_p) e as curvas representam o ajuste do modelo de Kuo *et alii*, (1983).

O modelo apresentou boa concordância com os dados experimentais (J_p), pois as diferenças entre os valores calculados (J_{calc}) e os experimentais (J_p) não ultrapassaram a diferença de 5%.

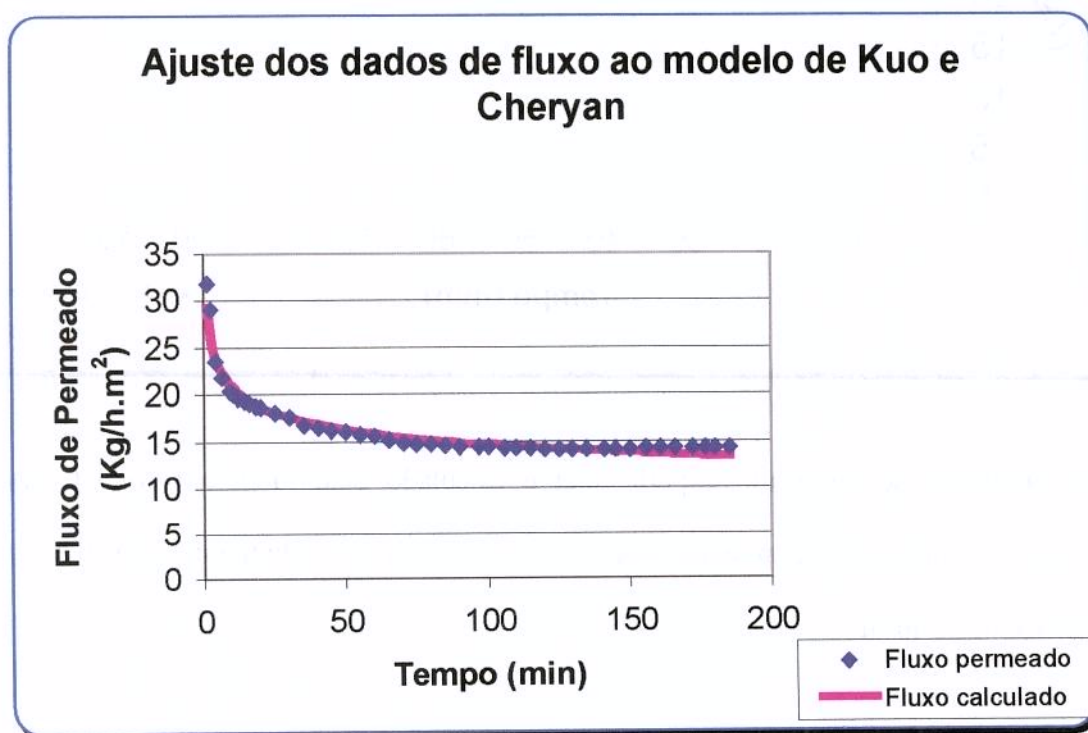


Figura 15 Fluxo de permeado experimental e calculado pelo modelo Kuo e Cheryan (1983), para a corrida 1, a temperatura de 50⁰C, pressão transmembrana de 0,2 bar e vazão volumétrica de 1,8m³/h.

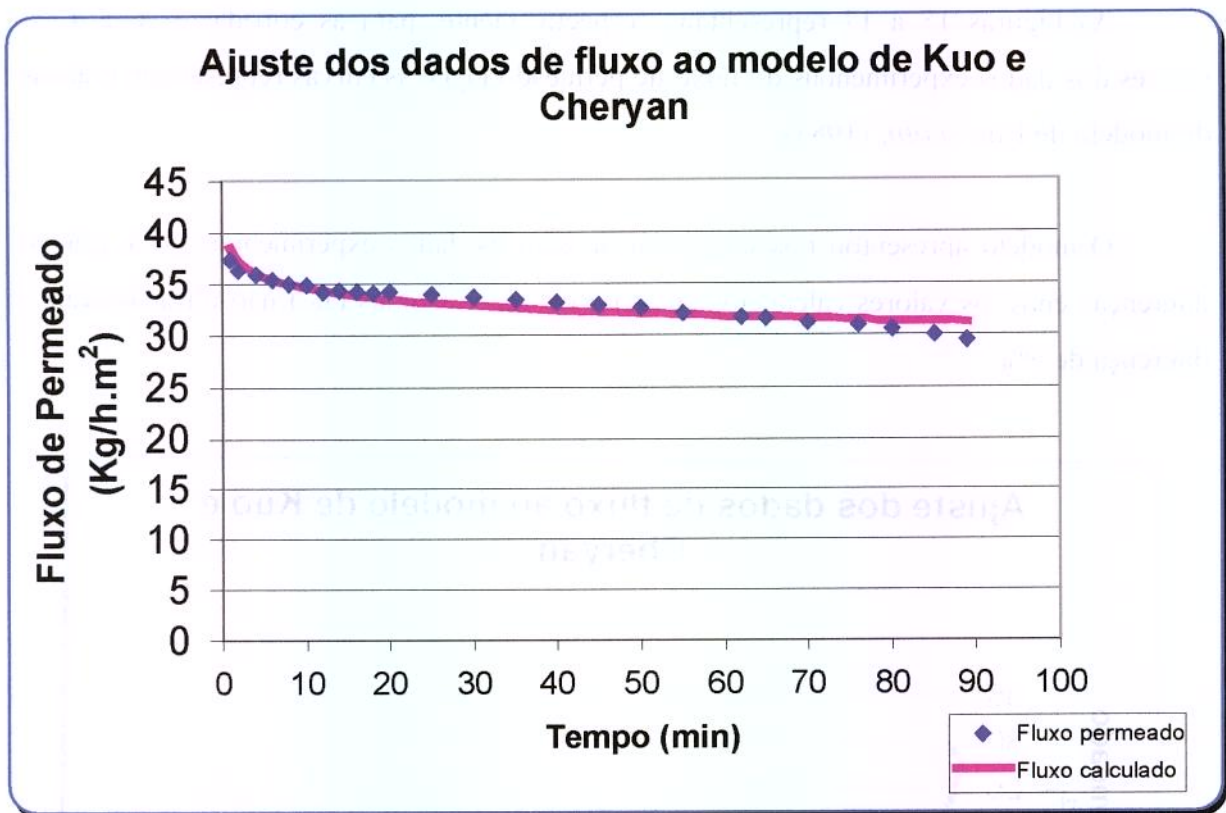


Figura 16 Fluxo de permeado experimental e calculado pelo modelo Kuo e Cheryan (1983), para o corrida 6, a temperatura de 50°C , pressão transmembrana de 0,7 bar e vazão volumétrica de $2,9\text{m}^3/\text{h}$.

Ajuste dos dados de fluxo ao modelo de KUO e CHERYAN

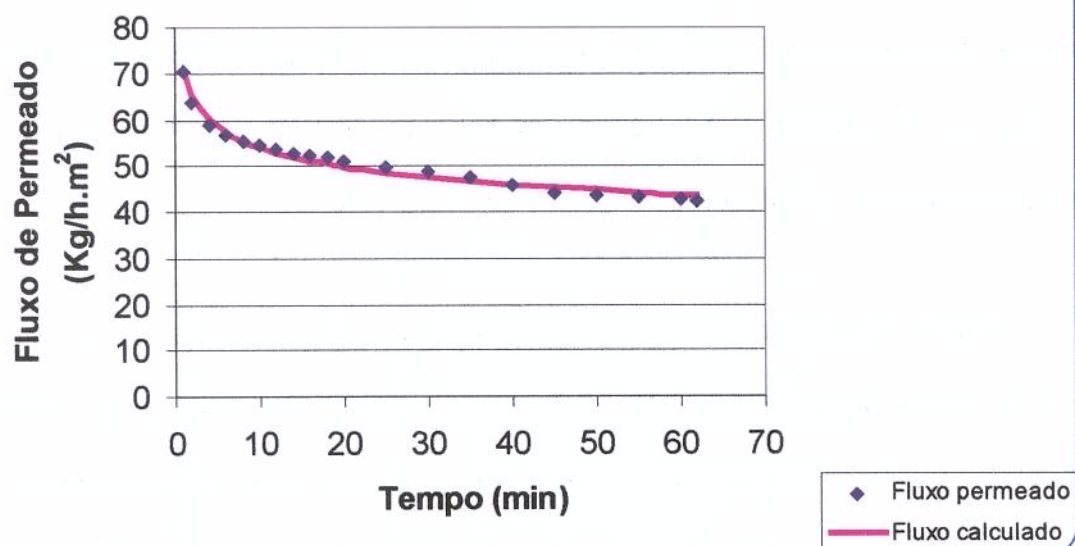


Figura 17 Fluxo de permeado experimental e calculado pelo modelo Kuo e Cheryan (1983), para o corrida 4, a temperatura de 50⁰C, pressão transmembrana de 1,2 bar e vazão volumétrica de 4m³/h.

V. CONCLUSÕES

O processo de concentração das proteínas do leite integral de cabra reconstituído através da ultrafiltração utilizando, membrana de fibra oca de polissulfona, com valor de peso molecular de corte de 10.000 Daltons, até FC 4, resultou em um CPLC com elevado teor de proteína total, em média com $40,00\% \pm 0,30\%$ em base seca.

A relação Pt/Lact mais elevada foi encontrada na condição de vazão volumétrica de $4 \text{ m}^3/\text{h}$ e pressão transmembrana de 1,2 bar, para o fator de concentração quatro e apresentou valor de 3,93. Esse valor foi igual ou um pouco acima da porcentagem dos valores observados na literatura.

Os parâmetros operacionais, nas faixas consideradas, praticamente não exerceram influência na composição final do concentrado.

Na faixa de condições operacionais estudada, com vazão volumétrica entre $1,8 \text{ m}^3/\text{h}$ e $4 \text{ m}^3/\text{h}$ e pressão transmembrana entre 0,2 e 1,2 bar, verificou-se valores experimentais de fluxo de permeado no FC4 entre 14,17 e $42,23 \text{ kg/h.m}^2$, enquanto que o valor do fluxo de permeado global esteve entre 20,00 e $51,51 \text{ kg/h.m}^2$. O máximo fluxo de permeado experimental ou calculado foi obtido na condição de $4 \text{ m}^3/\text{h}$ e 1,2 bar.

A pressão transmembrana exerceu maior influência em relação a vazão volumétrica no fluxo de permeado, enquanto que para a relação Pt/Lact foi a vazão volumétrica que exerceu maior influência.

O rendimento protéico durante a UF foi bastante alto situando-se entre 0,96 e 0,98, sendo que a sua queda foi ao redor de 1%. Já o coeficiente de retenção protéico variou entre 0,95 e 0,98, valores estes bastante elevados.

A aplicação do modelo de Kuo e Cheryan (1983), revelou bom ajuste entre os dados experimentais e os calculados pelo modelo para o fluxo de permeado em função do tempo.

VII. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Algumas sugestões para trabalhos futuros:

1. operar esta membrana com pressão transmembrana e vazão volumétrica maiores que 1,2 bar e $4\text{m}^3/\text{h}$, visando a obtenção de maior fluxo de permeado e maior relação Pt/Lact;
2. Utilizar leite fluido, com baixo teor de gordura para produção de matéria base (CPLC) com menor teor de gordura e maior teor de proteína.
3. Estudar a composição química e as propriedades funcionais do CPLC.

VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AOAC. Methods of analysis. 16^a ed. Washington, D. C. **Association Official Analytical Chemists**, 1995. v.1

AOAC. Methods of analysis. 16^a ed. Washington, D. C. **Association Official Analytical Chemists**, 1995. v.2

ASCHAFFENBURG, R.; DREWRY, J. New procedure for the routine determination of the various non-casein protein of milk. In: **International Dairy Congress 15.**, London, v. 3, n.5, p.1631-1637, 1958.

ALAIS, C. **Ciências de la leche: principios de técnica lechera**. Barcelona: continental, 1970. 593p.

BARROS NETO, B.; SCARMINO, I. S.; BRUNS, R. E. **Planejamento e otimização de experimentos**. Campinas: Ed. Unicamp, 1995. 299p.

BEATON, N. C. Ultrafiltration and reverse osmosis in the dairy industry-an introduction to sanitary consideration. **Journal of Food Protection.**, v.42, n.7, p. 584-590, 1979.

Beveridge, T.; TOMA, S.; NAKAI, S. Determination of-SH and-SS groups in some food proteins using bellman's reagent. **Journal Food Science.**, Chicago, v.39, n.1, 1974

BENITO, J. J. S. Tradução de pasilac, A. S. Representada pela indústria mecânica inox Ltda. Skim milk processing by ultra filtration. **Revista do LLC.T.**, Dinamarca, nov.-dez., p.41-47, 1980

BIRD, J. The application of membrane systems in the dairy industry. **Journal of the Society of Dairy Technology.**, London, v.49, n.1. p.16-23, 1996.

BONASSI, J.A. Leite de cabra: característica e tecnologia. **Revista do LC.L.T.**, Juiz de Fora, v.42, n.251, p.17-21, 1987

CEARA. **Como fazer queijo de leite de cabra.** Disponível em: <http://www.CEARA.tur.br/fazer/gintro.htm>. Acesso em: 09 maio 2001

CHERYAN, M. Fouling of ultra filtration membranes. In: CHERYAN, M. ed. **Ultra filtration Handbook**. Lancaster Pennsylvania, USA, technomic publ. Co. cap.6, p.171-178, 1986

CORDEIRO, P. R. **Opções de mercado do leite de cabra e derivados.** disponível em: <http://www.capritec.com.br/art06.htm>. acesso em : 30 maio 2000

COVACEVICH, H. R.; KOSIKOWSKI, F. V. Cream cheese by ultra filtration. **Journal of Food Science.**, Chicago, v.42, n.5, p.1362-1372, 1977.

COUSIN, M. A.; PREMARATNE, R. J. Changes in the chemical composition during ultrafiltration of skim milk. **Journal of Dairy Science.**, v.74, n.3, p.789-795, 1991

DEVENDRA, C. The composition of milk of British alpine and anglo-nubian goats imported into trinidad. **Journal Dairy Res.** Cambridge, v.39, p.381-383, 1972

DEVENDRA, C. Milk production in goats compared to buffalo and cattle in humid tropics. **Journal Dairy Science.** Champaign, v.63, p.1755-1767, 1980

DEJEMEK, R.; FUNETEG, B.; HALLSTROM, B.; WINGE, L. Turbulence promoters in ultrafiltration of whey protein concentrate. **Journal Food Science**, v.39, p.1014-1017, 1974.

ERIKSEN, J. New technology applied to cheese production. **Food Technology in New Zealand.**, June, p.29-30, 1995

EL GAZZAR, F. E.; MARTH, E. H. Ultrafiltration and reverse osmosis in dairy technology: A review. **Journal of Food Protection.**, v. 54, n.10, p.801-809, 1991

ESPINOZA, N. A.; CALVO, M. M. Effect of heat treatment and ultrafiltration process of cow's ewe's, or goat's milk on its coagulation properties. **Journal Agric. Food Chem.**, marc, v.46, n.4, 1998

FAO. (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF DE UNITED NATIONS). **STATISTICS SERIES.**, Roma, 1993, v.47, n°121, 351p.

FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF DE UNITED NATIONS. **QUATERLY BULLETIN OF STATISTIC.** Roma, 1994, v.8.

FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF DE UNITED NATIONS. **STATISTICS SERIES.**, Roma, 1995, v.49, nº 132, 378p.

FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF DE UNITED NATIONS. **STATISTICS SERIES.**, Roma, 1996, v.50, nº 138, 398p.

FREITAS, I. C. **Estudo da clarificação do suco de laranja por ultrafiltração.** Campinas, 1995. 73p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.

FARIA, V.M.C.O. **Estudo do rendimento e composição do leite de cabra na região nordeste: raça sanaam.** Campinas, 1987. 95p. (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Tecnologia de Alimentos, Universidade Estadual de Alimentos.

FIL-IDF.(FEDERATION INTERNATIONALE DE LAITERIE-INTERNATIONAL DAIRY FEDERATION). The composition of ewe's and goat's milk. **Bulletin of the International Dairy Federation.**, Brussels, n.140. 1981, p.5-18

FIGUEIREDO, E. P. Products and current levels: priorities and strategies for improvement of related on secondary industries. In: **International Conference OF Goals.**, Brasília: EMBRAPA/DDT, v. 4, 1987, p. 713-728

FURTADO, M .M. Desenvolvimento de tecnologia para fabricação de queijos de cabra no Brasil. **Revista do I.C.L.T.**, juiz de fora, v. 33, n.197, p.3-9, 1978

FURTADO, M. M. Leite de cabra. Características especiais: seu uso na alimentação. Intolerância. **Revista do I.L.C.T.**, juiz de Fora, v.36, n.214, p.31-36, 1981

FURTADO, M. M., WOLFSCHOON-POMBO, A. F. Leite de cabra: composição e industrialização. **Revista do I.L.C.T.**, juiz de Fora, v.36, n.198, p.15-17, 1978.

FURTADO, M. M. **Desenvolvimento de tecnologia para fabricação de queijos de cabra**. Ed. 7, São Paulo: nobel, 1984. 126p.

GARNOT, P.; CORRE, C. Influence of milk protein concentration on the gelling activity of chymosin and bovine pepsin. **Journal of Dairy Research.**, v.47, p.103-109, 1980

GLOVER, F. A. Modification to the composition of milk. In: ROBINSON, R. K., ed. **Modern Dairy Technology: advances in milk processing**. New York: Elsevier Applied Science, 1986. v.1, p.237-254

GRAPPIN, R. Variations of the major nitrogen fractions of goat and ewe milk. **Bulletin International Dairy Federation.**, n.202. Brussels, p.79-86, 1986.

GÉSAN-GUIZIOU, G.; DAUFIN, G.; BOYAVAL, E.; LE BERRE, O. Wall shear stress: effective parameter for the characterization of the cross-flow transport in turbulent regime during skimmed milk microfiltration. **Lait.**, v.79, n.3, p.347-354, 1999

HARBERT, A. C.; BORGES, C. P.; NOBREGA, R. Aspectos gerais dos processos com membranas. In: Harbert, A. C.; Borges, C. P.; Nobrega. **Processos de Separação com Membranas**. Rio de Janeiro: cap. 1, 1997.

HAENLEIN, F. G. W.; CACCESE, R. Goat milk versus cow milk. In: Haenlein, G. F. W. Ace Leds, D. L. **Extension Goat Milk Handbook**. USA, p.1-3, 1984.

HASHIMOTO, E.M. **Efeito do tratamento térmico e de cultura lácticas filantes nas características físico-químicas do iogurte de leite de cabra**. Londrina, 1994p. Tese (mestrado em ciência de alimentos)-Departamento de Tecnologia de Alimentos e Medicamentos, Universidade Estadual de Londrina.

HEAPE, J. The role of goats in today's dairy industry. **Journal Society Dairy Technology**., n.43. London, v.14, p.111-114, 1990

INTERNATIONAL DAIRY FEDERATION. **Determination of the total nitrogen content of milk by Kjeldahl method**. FIL-IDF 20. Brussels, 1962.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Anuário Estatístico do Brasil**, Rio de Janeiro. 1991

JANNESS, R. Composition and characteristics of goat's milk: a review 1968-1979. **Journal Dairy Science Abstract**., n. 10, v.63, p.1605-1630, 1980.

JAQUEN, J.C.LE. L'élevage de la chèvre et la production du fromage de chèvre in europe. **Scienza e Técnica lattiero-Casearia**., v.31, n.2, p.77-98, 1980

JELN, P.; RENZ-SCHAUEN, A. Quarg manufacturing innovations and their effects on quality, nutritive value, and consumer acceptance. **Food Technology**, mar, p.74-81, 1989

KUO, K.; CHERYAN, M. Ultra filtration of acid whey in a spiral-wound unit: effect of operating parameters on membrane fouling. **Journal of Food Science**. Chicago, v.48, p.1113-1118, 1983.

KOSIKOWSKI, F. V. Cheemaking by ultra filtration. **Journal of Dairy Science.**, Champaign, v.57, n.4. p.488-491, 1974

KOSIKOWSKI, F. V. Cheese and fermented milk food. 2. ed. New York: KOSIKOWSKI, K. V. And associates, Brooktondale, 1978. Chap. 17: Process cheese and related types: p.291-303

LANG, F. Quark-A popular fresh cheese of considerable potential. **Milk Industry.**, v.82, n.11, p.21-23, 1980

LEWIS, M. J. Concentration of proteins by ultra filtration. **Developments in Food Protein**. Ed. HUDSON, J.F. London and New York, applied science publishers. v.1, cap.3, p.91-130. 1982

LOEWENSTEIN, M. Dairy goat milk and factors affecting it. In: **International Conference on Goat Production and Disease.**, Tucson, Arizona, n.3, p.226-242, 1982.

LOMAURO, C. J.; BAKSHI, A. S.; LABUSA, T. P. Evolution of food moisture sorption isotherm equations. Part I: fruit, vegetable and meat products. **Lebensmittel-Wissenschaft and Technologies**. v. 18, p.122-122, 1985

LOZANO, F. S. D.; BRANDSMA, R. L.; RIZVI, S. S. H. Fractionation of skim milk by ceramic membranes: I. Separations of fat. **Journal Dairy Science**, Champaign, v.78 (suppl. 1), p.147, 1995.

LUKE, B.; KEITH, L. G. Calcium requirements and the diets of women and children: a review of dairy resources. **The Journal of Reproductive Medicine.**, v.37, n.8, p.703-709, 1992.

LUQUET, F. M. **Leche productos lácteos. Vaca, oveja, cabra. 1. La leche.** Zaragoza: Ed. Acribia, 1991. 250-286p.

LUCISANO, M.; PERI, C.; DONATI, E. Studies on coagulation of milk ultrafiltration retentates. I. Coagulation kinetics. **Milchwissenschaft.**, v.40, p.600-604, 1985

MAREE, H. P. Goat milk and its use as hypo-allergenic infant food. **Dairy Goat Journal.**, v. 63, n.12 p.16, 48-50, 1978.

MARSHALL, A. D.; DAUFIN, G. Physico-chemical aspects of membrane fouling by dairy fluids. In: Marshall, A. D.; Daufin. **Fouling and cleaning in pressure driven membrane processes.** Brussels: IDF, 1995, cap.1, p.9-29, 1995. International Dairy Federations Special Issue, no.9504.

MBA, A. U.; BOYO, B.S.; OYENUGA, V.A. Studies on the milk composition of west African dwarf, red sokoto and saanen goats at different stages of lactation. I. Total solids, butterfat, solids non-fat, protein, lactose and energy contents of milk. **Journal Dairy Res.**, Cambridge v.42, n.2. p.217-226, 1975.

MAUBOIS, J. L.; MOCQUOT, G.; VASSAL, L. **Procédé de Traitement du lait et de sous-produits latiers**. Brussels: Brevet Français n° 2.052.121, 1969.

MAUBOIS, J.L., KOSIKOWSKI, F.V. Making ricota cheese by ultra filtration. **Journal of Dairy Science.**, n.7. Champaign, v.61, p.881-884, 1978

MAUBOIS, J. L. Ultra filtration of whey. **Journal of the Society of Dairy Technology.**, London, v. 33, n.2, p.55-58, 1980.

MAUBOIS, J. L. Current uses and future perspectives of micro filtration technology in the dairy industry. **Bulletin of International Dairy Federations.**, n.320. Brussels, p.37-40, 1997.

MAUBOIS, J. L., MOCQUOT, G. Préparation de fromage à partir de "pre-fromage liquide" obtenu par ultrafiltration du lait. **Le Lait.**, n.511. Brussels, p. 495-533, 1971.

MAUBOIS, J. L., OLLIVIER, G. Milk protein fractionation. In: IDF Special Issue 9201. **New Applications of Membrane Processes**. Brussels: IDF, 1992. cap.2, p.15-22

MERIN, U., CHERYAN, M. Factors affecting the mechanism of flux decline during ultra filtration of cottage cheese whey. **Journal of Food Preservation.**, v.4, p.183-97, 1980.

MEHAIA, M. A.; EL-KHADRAGY, S. M. Physicochemical characteristics and rennet coagulation time of ultra filtration goat milk. **Journal Food Science.**, Great Britain, v. 62, n.3, p.257-263, 1998.

- MEHAIA, M. A Chemical composition of camel skim milk concentrated by ultrafiltration. **Int. Dairy Journal.**, v.6, p.741-752, 1996
- MORR, C. V. Improving the texture and functionality of whey protein concentrate. **Food Technology.**, n.1, v.46, p.110-113, 1986
- OSTERLAND, N. New developments in membrane processing. **XXV International dairy Congress**, Aartus, Denmark, 21-24 September, international dairy federation, 30-31, 1998.
- PARK, Y. W. **Hypo-allergenic and therapeutic significance of goat-milk**. USA: Small Ruminant Research., p.151-159, 1992
- PARKASH, S.; JENNESS, R. The composition and characterization of goat's milk. **A Review Dairy Science.**, v.230, p.67-87, 1968
- PAULSON, D. J.; WILSON, R. L.; SPATZ, D. D. Cross flow membrane technology and its applications. **Food Technology.**, Chicago, v. 38, n.12. p.77-87, 1984.
- PERES, L. **Estudo de ultrafiltração por membranas minerais de leite coagulado enzimaticamente**. Campinas, 1997, 101p. Tese (Doutorado em Tecnologia dos Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.
- PETRUS, J. C. C. **Preparação, modificação e caracterização de membranas assimétricas para clarificação de sucos de frutas**. Campinas, 1997. 139p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.

PETRUS, J. C. C.; PASSOS, M. H. C. R. **Concentração do soro lácteo por ultrafiltração tangencial**. Campinas, 1993. 58p. (Monografia apresentada em TP160 – Faculdade de Engenharia de Alimentos – Universidade Estadual de Campinas).

PORTER, M. C. Micro filtration. In: PORTER, M.C. ed. **Handbook of Industrial Membrane Technology**. Westwood, 1990, cap.2, p.61-135

POULIOT, M., POULIOT, Y., BRITTEN, M., RODRIGUEZ, N. Effect of transmembrane pressure and tangential velocity on the rejection of whey proteins during microfiltration of whey. **Journal Dairy Science**. v. 75 (suppl.1). p.111, 1992

POULIOT, M., POULIOT, Y., BRITTEN, M. On the convection cross-flow microfiltration of skim milk for the production of native phosphocaseinat. **International Dairy Journal**., v. 6, n.1, p.105-111, 1996

PUHAN, Z.GALLMANN, P. Ultrafiltration in the manufacture of kumis and quark. **Cultured Dairy products Journal**., February, v. 15, p.12-16, 1980

QUINTANS, L.J. **Estudo de Mercado e localização, usina de desidratação de leite de cabras: microrregião homogênea do Cariri Ocidental**. Plano de Desenvolvimento Local Integrado. João Pessoa, 1995. 104p.

RAMOS, M.; JUÁREZ, M. The Composition of ewe's and Goat's milk. **Bulletin International Dairy Federation**., n.140. Brussels, p.5-19, 1981.

- RENNER, E.; ABD EL-SALAM, M. H. **Application of ultrafiltration in the dairy industry**. London: elsevier applied science, 1991, 371p.
- RODRÍGUÊZ, J.; REQUENA, T.; GOUDEDRANCHE, H.; JUÁREZ, M. Effect of different membrane separation technologies (ultrafiltration and microfiltration) of seminard lofat cheeses. **Journal Agri. Food Chem.**, January. v. 47, n.2, p. 558-565, 1999
- ROLLEMA, H.S. Casein association and micelle formation, In: Rollema, H.S. **Advanced Dairy Chemistry**. London: Blackie academic & Professional, cap.3 p. 111-140, 1992.
- REUTER, H.; HISSERICH, D.; PROKOPEX, D. Study on the formal kinetics Renner coagulation of milk concentrated by ultrafiltration. **Milchwissenschaft**, v.36, p.13-15, 1981
- SUROWKA, K.; CELEJ, A. Partitioning of protein and some trace elements during 3-step ultrafiltration of skim milk through membranes of decreasing permeability. **Milchwissenschaft**, v. 51, n.8, p.426-431, 1996
- SUTHERLAND, J., FREE, M.J. A method for monitoring leakage through membranes during ultrafiltration of milk.. **Journal Dairy Technology**., Austr, v. 46, n.1, p.40-42, 1991
- SHELHAAS, H. Dairying in the Nineties. **Bulletin International Dairy Federation**., n. 243, Brussels, p.36-53, 1991.
- SUASSUNA, A. Cabras. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 29 maio 2000.

VASILJEVIC, T., JELEN, P. Temperature effect on behavior of minerals during ultrafiltration of skim milk and acid whey. **Milchwissenschaft.**, v.54, n. 5, p.243-246, 1999

VIOTTO, L. A. **Fracionamento das proteínas do leite utilizando membranas cerâmicas de micro e ultrafiltração.** Campinas, 1997. 142 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.

VIOTTO, W. H. **Ultrafiltração de soro doce de queijo minas frescal: Efeito de pré-tratamentos do soro no desempenho da membrana e na composição e solubilidade do concentrado protéico do soro.** Campinas, 1993. 213p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.

VITORIA, S.V.N. **Leite de cabra . CABRITA.** disponível em: < <File:///A/cabrita.htm> > .
acesso em : 31 maio 2000

WALKER, V. Therapeutic uses of goat's milk in modern medicine. **Br. Goat Society Yearbook.** London, p.24-6, 1965.

WOLFSCHOO-POMBO, A.F., FURTADO, M. M. Fabricação de queijo tipo chabichau. 1. Algumas características físico-química do leite de cabra da Zona da Mata. **Revista do LL.C.T.,** , juiz de Fora, v.33, n.200p.3-11, 1978.

WAUNGANA, A.; SINGH, H.; BENNETT, R. J. Rennet coagulation properties of skim milk concentrated by ultrafiltration: effects of heat treatment and pH adjustment. **Food Research International.**, v.31, n.9, p.645-657, 1998

WU, D.; HOWELL, J. A.; TURNER, N. M. A new method for modeling the time dependence of permeation flux in ultrafiltration. **Food and Bioproducts Processing**, Trumbull, v.69, Part.C2, p.77-82,

ZEMAN, L. J. Adsorption effects in rejection of macromolecules by ultrafiltration membranes. **Journal Membrane Science.**, v.15, p.213-230, 1983

ANEXOS

ANEXO I. Descrição detalhada dos componentes do sistema de ultrafiltração

1. TQ – Tanque de alimentação, aço inoxidável, parede tripla, com isolamento térmico, capacidade de 100 litros
2. B - Bomba helicoidal (deslocamento positivo), marca Nemo, sanitária, modelo 2NEC504; motor elétrico WEG, 7,5 HP; com controlador/inversor de frequência, marca Danfoss, modelo VLT 6000 HVAC
3. BL – Balança digital, capacidade para 20kg, precisão de 0,005kg, marca Marte, modelo LC 20
4. BA – Baldes plásticos, capacidade 10 litros
5. MEM – Membrana de fibra oca de polissulfona, marca Romicom “Hollow Fiber” Cartridge, PM 10.000 Daltons, “Fiber 43”, área efetiva 14ft² aproximadamente 1,3 cm², pressão máxima 2,5 bar e temperatura máxima de 75°C.
6. MMV – Medidor de vazão eletromagnético, marca Krohne, modelo IFS 4000/6, Vazão 0-15m³/h, precisão 0,01 m³/h; com conversor de sinal modelo IFIC 090K
7. MN – Manômetro na entrada e na saída da “housing”, 0-10 bar, marca Zurich

8. T – termômetro, 0-100⁰C, marca Zurich
9. V1, V2 – Válvula borboleta
10. V3, V4 – Válvula micrométrica
11. V5 – Válvula amostradora (amostragem de retentado) e eliminadora de ar

Preparo da água deionizada:

1. Filtro para água, marca Aqualar, CUNO Latina Ltda., modelo AP230 E
2. Deionizador, marca permution, E.J. & Cia. Ltda., modelo DE 1800

Pesagem da água para reconstituição do leite:

1. Balança digital, capacidade para 15 Kg, precisão de 0,005Kg, marca Filizola, modelo BP15

Dissolução do leite em pó:

1. Homogeneizador, Janke & Kunkel Gmb H U. Co. KG, MARCA Ika-Werk, modelo Ultra Turrax

Anexo II. Descrição do procedimento adotado para realização de um experimento

1. Ligar balanças, bomba e resistência para o aquecimento da água

2. Pesar leite em pó
3. Aquecer água deionizada para dissolver leite em pó (40-50°C)
4. Preparar frascos para amostra (deixá-los em água colorada, a 180 ppm, por 15 min)
5. Preparar conexões para água na camisa do tanque de alimentação (caso seja necessário aquecer o produto)
6. Preparar banho de gelo para as amostras
7. Dissolver leite em pó
7. Ao mesmo tempo aquecer a unidade, gradualmente, usando a resistência elétrica, até 50°C, com água deionizada
8. Estabelecer condições operacionais (vazão e pressão transmembrana) com água deixar por 15 min operando a 50°C
9. Abrir válvula V5 para eliminação de ar do sistema
10. Reduzir um pouco a pressão transmembrana (abrindo a válvula V3), para o experimento, não iniciar a uma pressão muito elevada
11. Preparar mangueira para a coleta do permeado
12. Drenar água, abrindo as válvulas V6 (da carcaça da bomba) e V7 (da curva)

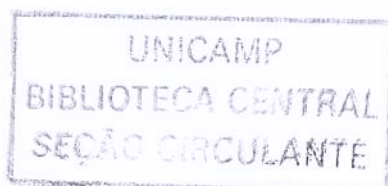
13. Fechar válvulas V1 (do tanque), V6 e V7
14. Carregar o tanque com o leite reconstituído. Misturar, abrir a válvula V1
15. Coletar amostra da alimentação e medir o pH
16. Iniciar o experimento
17. Ligar a bomba e assim que cair a primeira gota de permeado no balde, colocado na balança, acionar o cronômetro
18. Ajustar rapidamente as válvula V3 e V4 e a frequência da bomba, a fim de se obter as condições operacionais desejadas de pressão transmembrana e velocidade tangencial
19. Se necessário ajustar a temperatura do leite circulando água quente ou fria na camisa do tanque
20. Registrar o tempo, massa de permeado coletado e as condições operacionais, fazendo os devidos ajustes para manter a unidade sob condições constantes de pressão transmembrana, vazão e temperatura, durante a concentração
21. Amostrar concentrados em FC igual a 2 e 4 0 permeado médio em FC igual 4 e 2. Imergir as amostras em banho de gelo e posteriormente conservá-las em geladeira
22. Aquecer água para limpeza da unidade (60°C)

Anexo III. Descrição do procedimento adotado para limpeza da membrana

1. Iniciar drenando todo o retentado da unidade
2. Pesar o retentado recolhido
3. Enxaguar tanque e bomba com água filtrada fria (fechar a válvula V2)
4. Lavar o tanque com água e sabão
5. Drenar toda a água
6. Enxaguar com água deionizada
7. Iniciar limpeza da membrana (abrir válvula V2)
 - frequência da bomba durante a limpeza foi de 35 e 38Hz para 25°C e 38°C
 - pressão mínima (válvulas são mantidas abertas)

Tabela A1. Etapas para limpeza da membrana polissulfônica

	Operação	Conc (p/p)	Agente	pH	T (°C)	Duração	Permeado
1.	Enxágüe		água		50°C		fechado
2.	Limpeza alcalina	1,0%	NaOH		50°C	15min	fechado
3.	Enxágüe		água	7,0	50°C		
4.	Lim. H ₃ PO ₄	0,35%	H ₃ PO ₄		50°C	10min	aberto
5.	Enxágüe		água	7,0	50°C		
6.	Desinfecção	200ppm	NaOCl		50°C	10min	aberto
7.	Limp. ácida	1%	Enzimático		50°C	15	fechado
8.	Enxágüe		água	7,0	50°C		



8. Checar fluxo de permeado com água deionizada. Se o valor estiver a baixo do valor normal para a membrana (tabela A2), iniciar nova limpeza

Tabela A2. Fluxo de permeado médio da membrana, com água deionizada.

Vazão(m ³ /h)	P transm.(Kgf/cm ²)	Fluxo médio(Kg/h.m ²)	T (°C)
3,41	0,25	75,69	25
3,98	0,25	71,31	25
4,51	0,8	329,08	50
3,2	0,7	293,31	50

Anexo IV. Planejamento experimental e gráficos complementares à análise estatística dos dados de porcentagem variação da relação Pt/Lact e do fluxo de permeado global, a FC igual a 4

Anexo IV.1. Planejamento experimental

Para se fazer um planejamento experimental fatorial faz-se necessária a especificação dos níveis de cada fator estudado, ou seja, os valores dos fatores (ou as versões, nos casos qualificativos). Um planejamento fatorial requer a execução de experimentos para todas as possíveis combinações dos níveis dos fatores. Cada um desses experimentos, em que o sistema é submetido a um conjunto de níveis definido, é um ensaio experimental. Em geral, se houver n_1 níveis do fator 1, n_2 do fator 2, ...e n_k do fator k, o planejamento será um fatorial $n_1 n_2 \dots n_k$. Isso quer dizer que serão necessários no mínimo $n_1 n_2 \dots n_k$ experimentos a se realizar para a obtenção de um planejamento fatorial completo (Barros *et alii*, 1996).

A fim de se estudar o efeito de qualquer fator sobre a resposta é preciso fazer-lo variar e observar o resultado dessa variação, implicando na realização de ensaios em pelo menos dois níveis desse fator. Havendo k fatores, isto é, k variáveis independentes, o planejamento irá requerer a realização de $2 \cdot 2 \cdot \dots \cdot 2 = 2^k$ ensaios diferentes. Um exemplo simples de planejamento será utilizado para explicar cada etapa da análise estatística: trata-se da determinação do rendimento de uma reação química em função da temperatura e do tipo de catalisador.

Para o exemplo foram escolhidos os níveis de 40°C e 60°C para a temperatura, e catalisadores do tipo A e B. A listagem das possíveis combinações para a realização do planejamento 2² é chamada de matriz de planejamento (Tabela A3).

Tabela A3. Resultados de um planejamento fatorial 2² para estudar o efeito da temperatura e do catalisador no rendimento de uma reação.

Ensaio	Temperatura (°C)	Catalisador	Rendimento (%)		Média
1	40	A	57	61	59
2	60	A	92	88	90
3	40	B	55	53	54
4	60	B	66	70	68

Os ensaios foram feitos em duplicata, produzindo oito respostas no total. Isso permitirá obter uma estimativa do erro experimental associado à determinação de uma resposta individual. A extensão deste erro será importante para se avaliar o nível de significância das variáveis sobre a resposta em estudo.

Pela Tabela A3, quando se usa o catalisador A e se eleva a temperatura de 40°C a 60°C (ensaios 1 e 2), o rendimento passa de 59% para 90% em média. Um aumento de 31%. Quando o catalisador é do tipo B (ensaios 3 e 4), a elevação do rendimento é de apenas 14%, mostrando que o efeito da temperatura depende do tipo do catalisador usado. Da mesma forma, que a 60°C a diminuição passa a ser de 22%. Quando o efeito da variável depende do nível da outra, diz-se que as duas variáveis interagem, e pode-se calcular o valor do efeito de interação entre elas.

O efeito principal da temperatura é por definição a média dos efeitos da temperatura nos dois níveis do catalisador. Usando a letra T , representar esse efeito, e sendo $\bar{y}_i$ a resposta média observada no i -ésimo ensaio, tem-se:

$$T = \left(\frac{1}{2}\right)\{(\bar{y}_2 - \bar{y}_1) + (\bar{y}_4 - \bar{y}_3)\} = \left(\frac{1}{2}\right)\{(90 - 59) + (68 - 54)\} = 22,5 \quad (A1)$$

Esse valor mostra que o rendimento da reação sobe 22,5% em média quando a temperatura passa de seu nível inferior (40°C) para o seu nível superior (60°C). É preciso ter cuidado com essa interpretação, pois a temperatura e o catalisador interagem. A existência da interação torna incorreta a análise isolada do efeito de um único fator.

Nos planejamentos de dois níveis costuma-se identificar os níveis superior e inferior com os sinais (+) e (-), respectivamente. No caso, vê-se que os ensaios 2 e 4 correspondem ao nível (+) da temperatura, enquanto que os ensaios 1 e 3 correspondem ao nível (-). A atribuição desses sinais também pode ser feita para os níveis dos fatores qualitativos. Esta é uma escolha arbitrária, que em nada afetará as conclusões.

$\bar{y}_2$ e $\bar{y}_4$ pertencem ao nível (+) e $\bar{y}_1$ e $\bar{y}_3$ pertencem ao nível (-) do fator temperatura, vê-se que o efeito principal T é a diferença entre a resposta média no nível superior e a resposta média no nível inferior desse fator.

Para o catalisador, nessa escolha de sinais, o nível superior corresponde aos ensaios 3 e 4 e o inferior aos ensaios 1 e 2. O efeito principal do catalisador C será, de acordo com

a equação A1, -13,5%. Isso indica que ao trocarmos o catalisador A pelo B o rendimento cai 13,5%.

Caso não houve interação entre as variáveis, o efeito da temperatura seria o mesmo para os dois tipos de catalisador. Mas, no caso, tal fato não ocorre. O efeito da temperatura é +31 quando o catalisador é do tipo A e cai para +14 quando o catalisador é do tipo B. Como na ausência de interação esses dois valores deveriam ser idênticos (a menos do erro experimental), toma-se a diferença entre eles como uma medida da interação entre os fatores T e C. Na verdade, a metade da diferença é que é, por convenção, o efeito de interação. O valor do efeito obtido pela metade da diferença entre o efeito de T e C é -8,5.

Pelos resultados obtidos para o exemplo em estudo é possível se fazer a seguinte interpretação:

1. A elevação da temperatura aumenta o rendimento da reação, mas esse efeito é muito mais pronunciado com o catalisador A do que com o B (+31% contra +(14%);
2. A troca do catalisador A pelo B diminui o rendimento da reação, e esse efeito é muito mais pronunciado a 60°C do que a 40°C (-22% contra -5%);
3. Os maiores rendimentos (90% em média) são obtidos empregando-se o catalisador A, mantendo-se em 60°C.

Anexo IV.2. Efeito da vazão volumétrica e da pressão transmembrana na porcentagem de variação da relação Pt/Lact

As Figuras A1 a A4 ajudam na verificação da adequação do modelo dos dados experimentais e na validação das suposições feitas durante a construção do modelo (o erro tem média zero, o erro tem variância constante, os erros não são correlacionados, o erro tem distribuição normal. Erro é a diferença entre o valor observado e o valor correspondente dado pelo modelo).

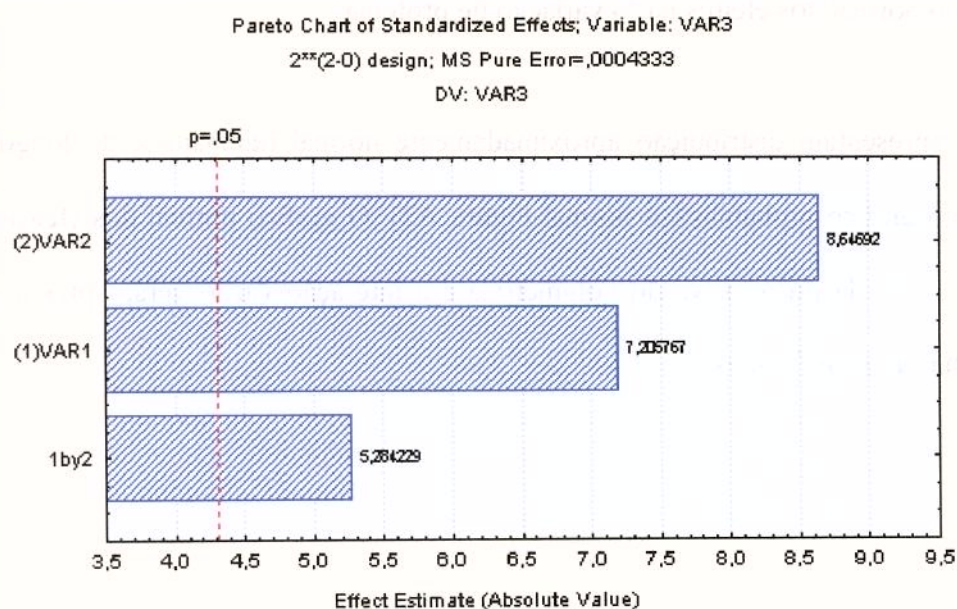


Figura A1. Gráfico de pareto para os efeitos na porcentagem variação de Pt/Lact

Observa-se na Figura A1 que o efeito da pressão, vazão volumétrica e a interação pressão versus vazão volumétrica são significantes.

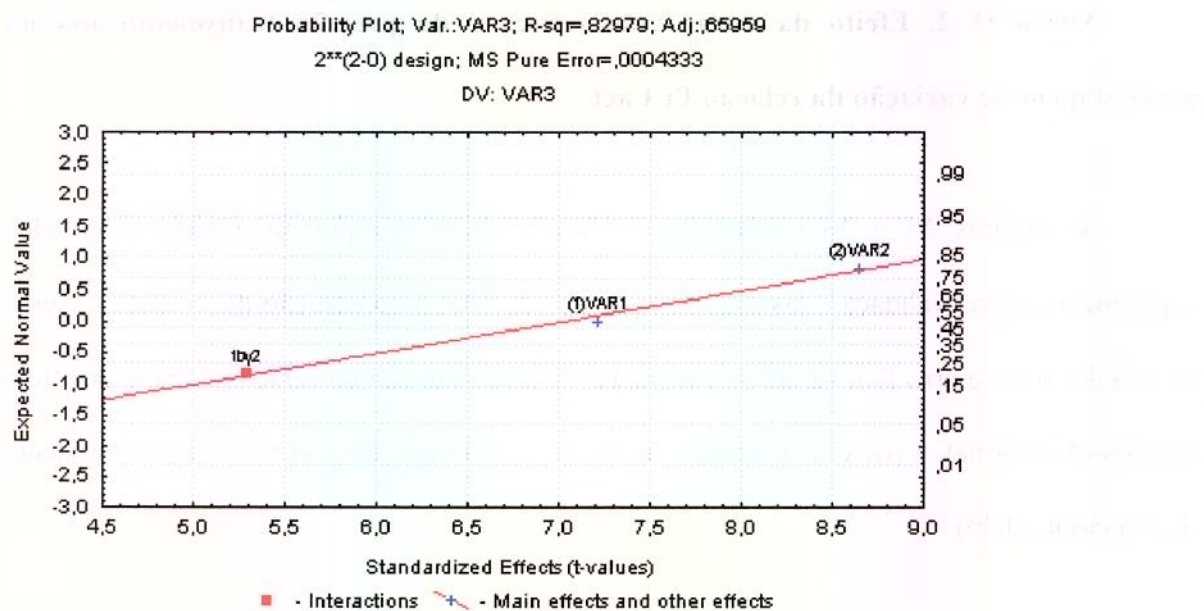


Figura A2. Gráfico normal dos efeitos na % variação de proteína

Os dados apresentam distribuição aproximadamente normal (alinham-se ao longo de uma reta no gráfico probabilístico normal-Figura A2). O gráfico normal dos efeitos revela que o efeito da pressão, vazão volumétrica e a interação vazão versus pressão transmembrana são significantes.

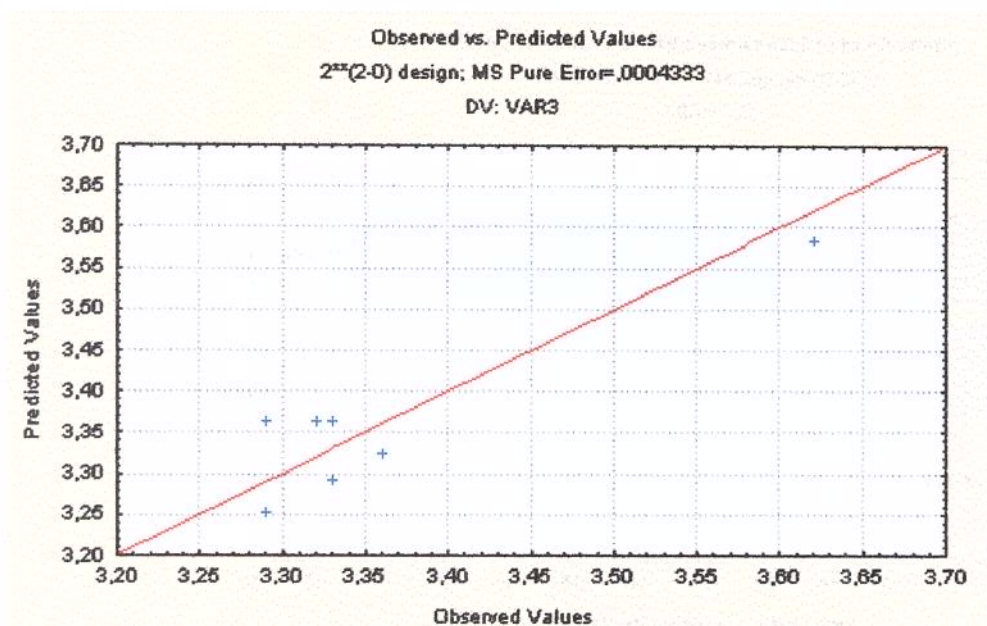


Figura A3. Gráfico probabilístico normal de residuo da % variação de proteína

A figura A3 mostra que o desvio padrão segue uma distribuição normal (resíduos aproximadamente alinhados em torno de uma reta), confirmando a suposição usado para o diagnóstico do modelo aos dados experimentais.

Anexo IV.3. Efeito da vazão volumétrica e da pressão transmembrana no fluxo de permeado global

As Figuras A4 a A6 ajudam na verificação da adequação do modelo aos dados experimentais e na validação das suposições feitas durante a construção do mesmo.

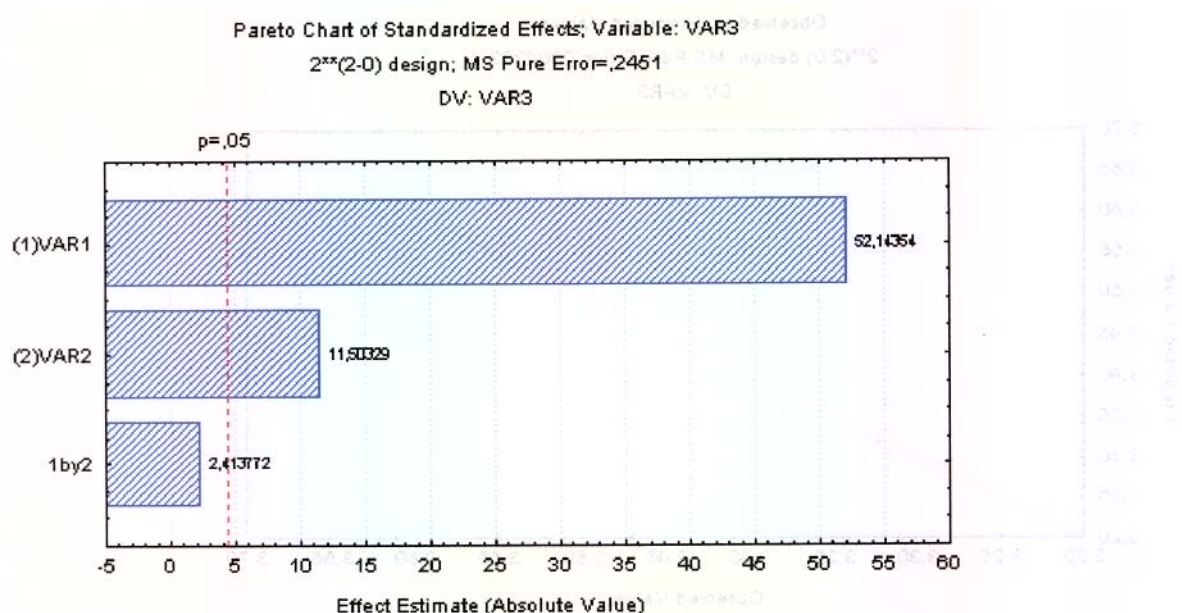


Figura A 4. Gráfico de pareto dos efeitos no fluxo de permeado

Observa-se na Figura A4 que o efeito da pressão e da vazão volumétrica foram significativos

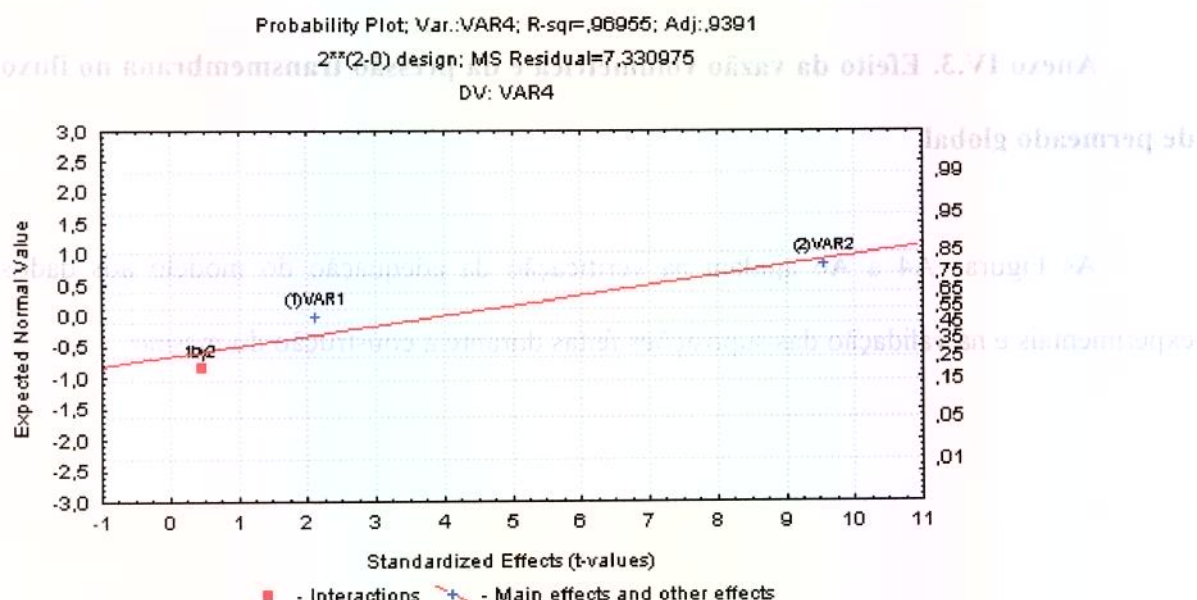


Figura A 5. Gráfico normal dos efeitos no fluxo de permeado

Os dados apresentam distribuição aproximadamente normal (alinham-se ao longo de uma reta no gráfico probabilístico normal – Figura A5). E os efeitos significantes foram a pressão e a vazão volumétrica.

A Figura A6 mostra que o desvio padrão segue uma distribuição normal (resíduos aproximadamente alinhados em torno de uma reta), confirmando a suposição usada para o diagnóstico do ajuste do modelo aos dados experimentais.

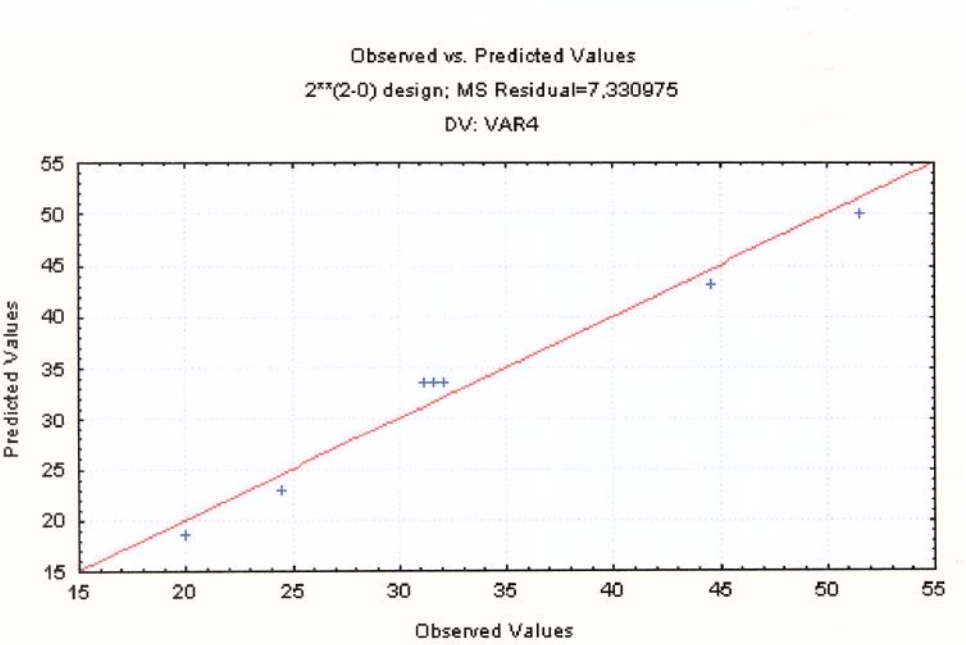


Figura A 6. Gráfico probabilístico normal de resíduo para o fluxo de permeado

Experimento N° 1

Matéria Prima	75,6 Kg de leite de cabra integral
pH inicial:	6,54
Temperatura:	50°C
Membrana:	Polissulfona
Fabricante:	KOCH
Área	1,3 m ²
ΔP	0,2 bar

Tabela A 4. Fluxo de permeado e condições de operação para o experimento 1

t [min]	p. perm [Kg]	FC	Fluxo N [Kg/m ² .h]	Q [m ³ /h]	P1 [bar]	P2 [bar]	ΔP* [bar]	Δperm [Kg]	T [°C]	Δt [min]
0										
1	0,690	1,01	31,846	1,8	0,4	0	0,2	0,7	49	1
2	1,3	1,02	28,98					0,6	50	1
4	2,04	1,03	23,54					0,74		2
6	2,83	1,04	21,77					0,79		2
9	3,96	1,06	20,31					1,13		3
10	4,35	1,06	20,08					0,39		1
12	5,115	1,07	19,67					0,77		2
14	5,87	1,08	19,35					0,75		2
16	6,6	1,1	19,04					0,73		2
18	7,315	1,1	18,76	1,8	0,4	0	0,2	0,72	50	2
20	8,025	1,12	18,52					0,71		2
25	9,735	1,15	17,97					1,71		5
30	11,43	1,18	17,58					1,7		5
35	12,71	1,2	16,76					1,28		5
40	14,26	1,23	16,45					1,55		5
45	15,78	1,26	16,18					1,52		5
50	17,27	1,3	15,94					1,49		5
55	18,725	1,33	15,71	1,8	0,4	0	0,2	1,46	50	5
60	20,155	1,36	15,5					1,43		5
65	21,175	1,39	15,04					1,02		5
70	22,55	1,43	14,87					1,38		5
75	23,935	1,46	14,73					1,39		5
80	25,325	1,51	14,61					1,39		5
85	26,73	1,55	14,51					1,41		5
90	28,155	1,59	14,44	1,8	0,4	0	0,2	1,43	50	5
97	30,165	1,66	14,35					2,01		7
100	31,025	1,7	14,32					0,86		3
106	32,725	1,76	14,25					1,7		6
110	33,865	1,81	14,21					1,14		4
115	35,285	1,88	14,16					1,42		5
120	36,72	1,94	14,12	1,8	0,4	0	0,2	1,44	50	5
125	38,155	2,02	14,09					1,44		5
130	39,6	2,1	14,06					1,45		5
135	41,085	2,19	14,05					1,49		5
141	42,9	2,31	14,04					1,82		6
145	44,175	2,41	14,06					1,28		4
150	45,825	2,54	14,1					1,65		5
156	47,935	2,73	14,18					2,11		6
161	49,64	2,91	14,23					1,71		5

166	51,3	3,11	14,26					1,66		5
172	53,225	3,39	14,28					1,93		6
177	54,55	3,59	14,22	1,8	1,2	0	0,6	1,33	50	5
180	55,385	3,74	14,2					0,83		3
185	56,81	4,02	14,17	1,8	1,4	0	0,7	1,43	50	5

* Não foi possível manter ΔP (pressão transmembrana) constante igual a 0,2, após FC=3,59. Ao final do experimento o FC=4, atingiu uma $\Delta P=0,7$ bar. Portanto houve aumento brusco de pressão.

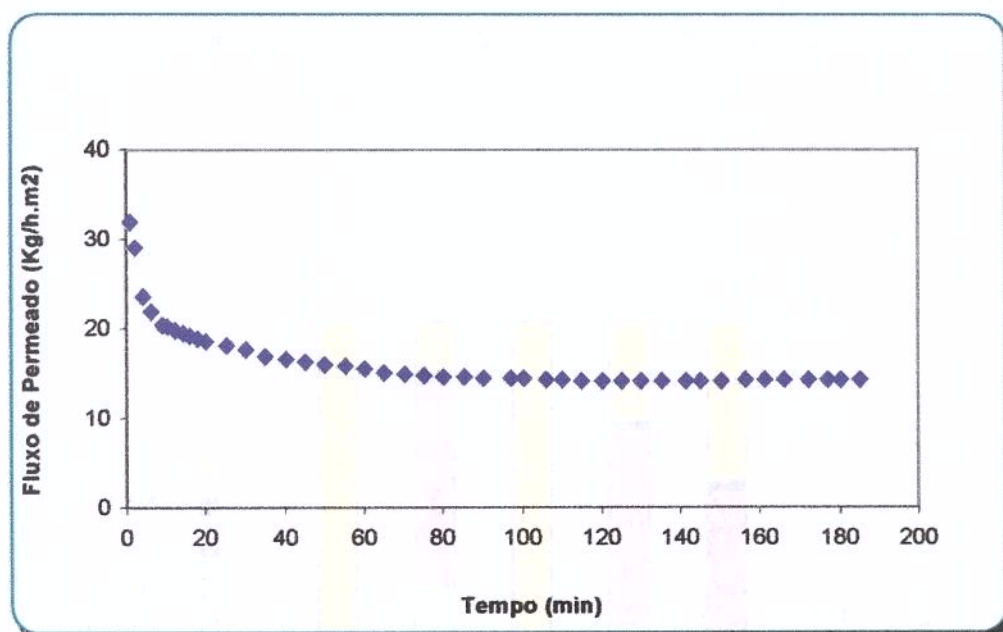


FIGURA A 7. Curva de fluxo de permeado para o leite integral de cabra reconstituído e ultrafiltrado a $1,8 \text{ m}^3/\text{h}$, pressão transmembrana de 0,2 bar e temperatura de 50°C

Tabela A 5. Mudança da composição centesimal* do leite integral de cabra reconstituído durante a ultrafiltração a 1,8m³/h, pressão transmembrana de 0,2 bar e temperatura de 50⁰C

Amostra	ST	%Cinzas	Proteína	%Gordura	NNP	Lactose
ALIM	10,70 ± 0,02	0,71 ± 0,04	2,97 ± 0,11	3,39 ± 0,0	0,19 ± 0,01	3,44
C-FC2	16,91 ± 0,04	0,96 ± 0,12	5,56 ± 0,07	6,76 ± 0,01	0,22 ± 0,05	3,41
C-FC4	32,13 ± 0,02	2,32 ± 0,05	12,51 ± 0,09	13,52 ± 0,03	0,39 ± 0,04	3,39

*Composição centesimal, onde cada valor é a média de três pontos (média ± desvio padrão)

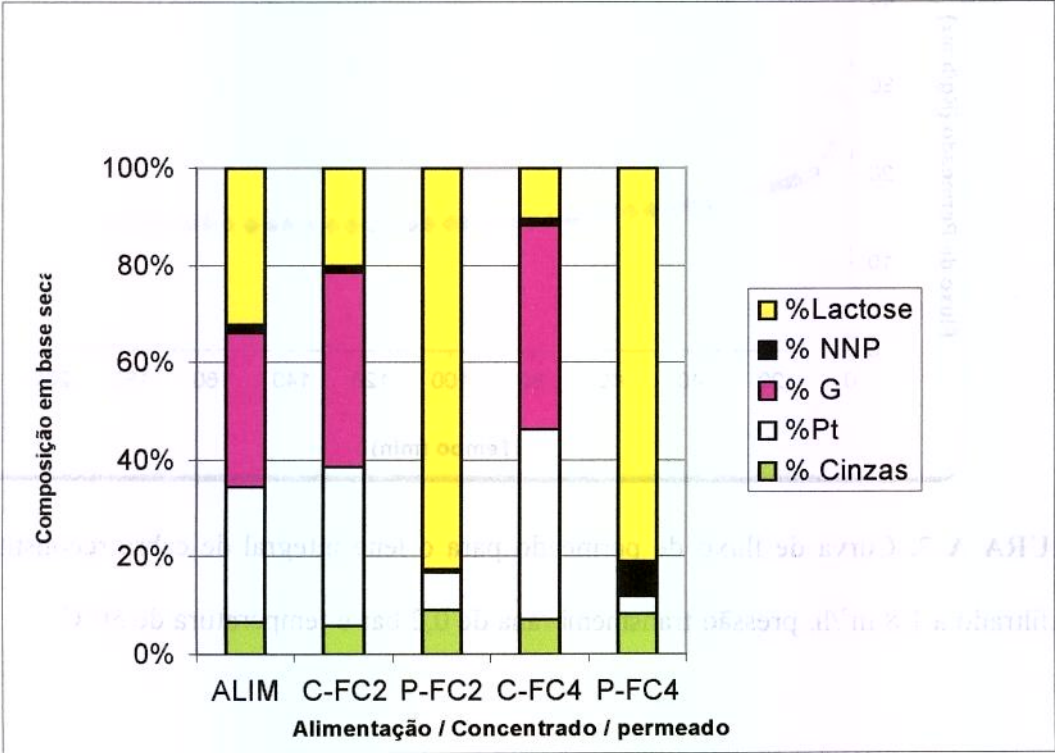


FIGURA A 8. Composição, em base seca, da alimentação, dos concentrados e permeados a FC2 e FC4 durante a UF com alimentação de 1,8 m³/h, pressão transmembrana de 0,2 bar e temperatura de 50⁰C (experimento 1)

EXPERIMENTO Nº 2

Matéria Prima	75,6 Kg de leite integral de cabra
pH inicial:	
Temperatura:	46-47°C
Membrana:	Polissulfona
Fabricante:	KOCH
Área	1,3 m ²
ΔP	0,2bar

Tabela A6 Fluxo de permeado e condições de operação para o experimento 2

t [min]	p. perm [Kg]	FC	Fluxo N Kg/m2.h	Q m ³ /h	P1 [bar]	P2 [bar]	ΔP* [bar]	Δp. per [Kg]	T [°C]	Δt [min]
0,00										
1,00	0,768	1,00	35,45	4	0,4	0	0,2	0,768	49	1,00
2,00	1,420	1,00	32,77					0,652	50	1,00
4,00	2,620	1,04	30,23					1,200		2,00
6,00	3,635	1,05	27,96					1,015		2,00
8,00	4,595	1,06	26,51					0,960		2,00
10,00	5,530	1,08	25,52					0,935		2,00
12,00	6,455	1,09	24,83					0,925		2,00
14,00	7,365	1,11	24,28					0,910		2,00
16,00	8,255	1,12	23,81					0,890		2,00
18,00	9,130	1,14	23,41	4	0,4	0	0,2	0,875	50	2,00
20,00	10,010	1,15	23,10					0,880		2,00
25,00	12,150	1,19	22,43					2,140		5,00
30,00	14,275	1,23	21,96					2,125		5,00
35,00	16,375	1,28	21,59					2,100		5,00
40,00	18,485	1,32	21,33					2,110		5,00
45,00	20,510	1,37	21,04					2,025		5,00
50,00	22,615	1,43	20,88					2,105		5,00
55,00	24,680	1,48	20,71	4	0,4	0	0,2	2,065	50	5,00
60,00	26,740	1,55	20,57					2,060		5,00
70,00	28,855	1,62	19,03					2,115		10,00
75,00	32,850	1,77	20,22					3,995		5,00
80,00	34,885	1,86	20,13					2,035		5,00
85,00	36,925	1,95	20,05					2,040		5,00
91,00	39,360	2,09	19,96					2,435		6,00
96,00	41,405	2,21	19,91	4	0,4	0	0,2	2,045	50	5,00
100,00	43,035	2,32	19,86					1,630		4,00
105,00	45,100	2,48	19,82					2,065		5,00
113,00	48,265	2,77	19,71					3,165		8,00
116,00	49,445	2,89	19,67					1,180		3,00
121,00	51,405	3,12	19,61					1,960		5,00
125,00	52,915	3,33	19,54					1,510		4,00
130,00	54,715	3,62	19,43					1,800		5,00
135,00	55,730	3,80	19,05	4	1,2	0	0,2	1,015	50	5,00
137,00	56,700	4,00	19,10	4	1,2	0	0,2	0,970	50	2,00

* Não foi possível manter ΔP constante igual a 0,2, após FC=3,80. Ao final do experimento o FC=4, atingiu uma ΔP=0,6 bar. Portanto houve aumento brusco de pressão.

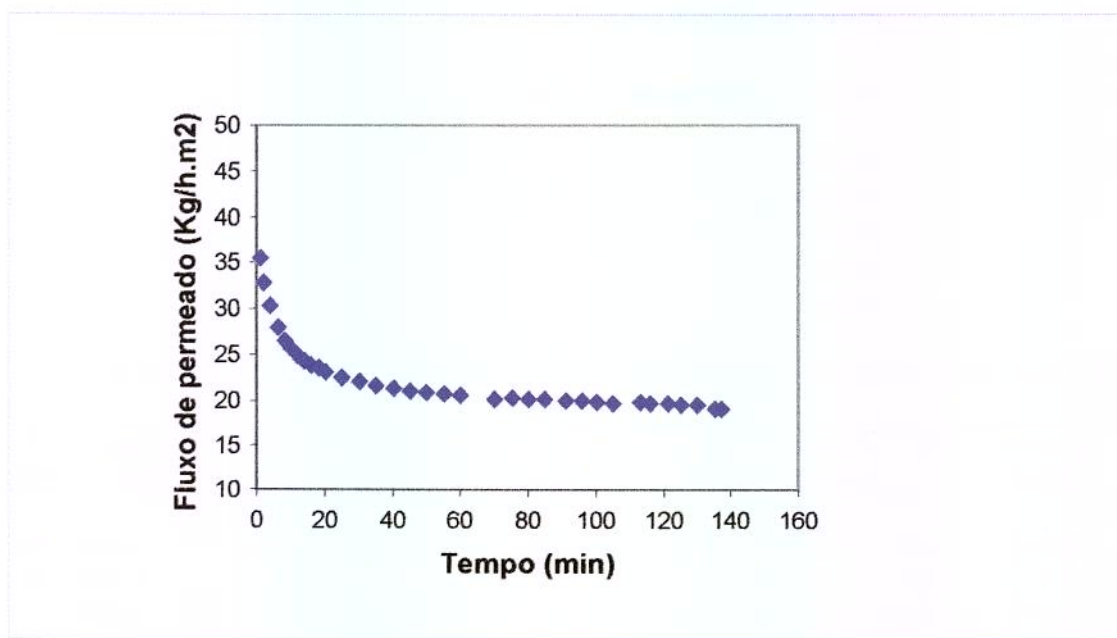


FIGURA A 9. Curva de fluxo de permeado para o leite integral de cabra reconstituído e ultrafiltrado a $4\text{m}^3/\text{h}$, pressão transmembrana de 0,2 bar e temperatura de 50°C

Tabela A.7. Mudança da composição centesimal* do leite integral de cabra reconstituído durante a ultrafiltração a 4m^3 , pressão transmembrana de 0,2 bar e temperatura de 50°C

Amostra	ST	%Cinzas	Proteína	%Gordura	NNP	Lactose
ALIM	$10,83 \pm 0,03$	$0,72 \pm 0,10$	$2,99 \pm 0,28$	$3,52 \pm 0,09$	$0,2 \pm 0,03$	3,41
C-FC2	$14,24 \pm 0,08$	$0,99 \pm 0,10$	$5,64 \pm 0,31$	$7,01 \pm 0,05$	$0,25 \pm 0,02$	3,36
C-FC4	$32,96 \pm 0,06$	$2,38 \pm 0,04$	$12,80 \pm 0,12$	$14,01 \pm 0,5$	$0,41 \pm 0,04$	3,36
P**	$5,45 \pm 0,01$	$0,44 \pm 0,02$	$0,25 \pm 0,02$	$0,025 \pm 0,03$	$0,24 \pm 0,02$	4,56

*Composição centesimal, onde cada valor é a média de três pontos (média $\pm$ desvio padrão) **P= composição centesimal média de todo o permeado coletado até FC=4

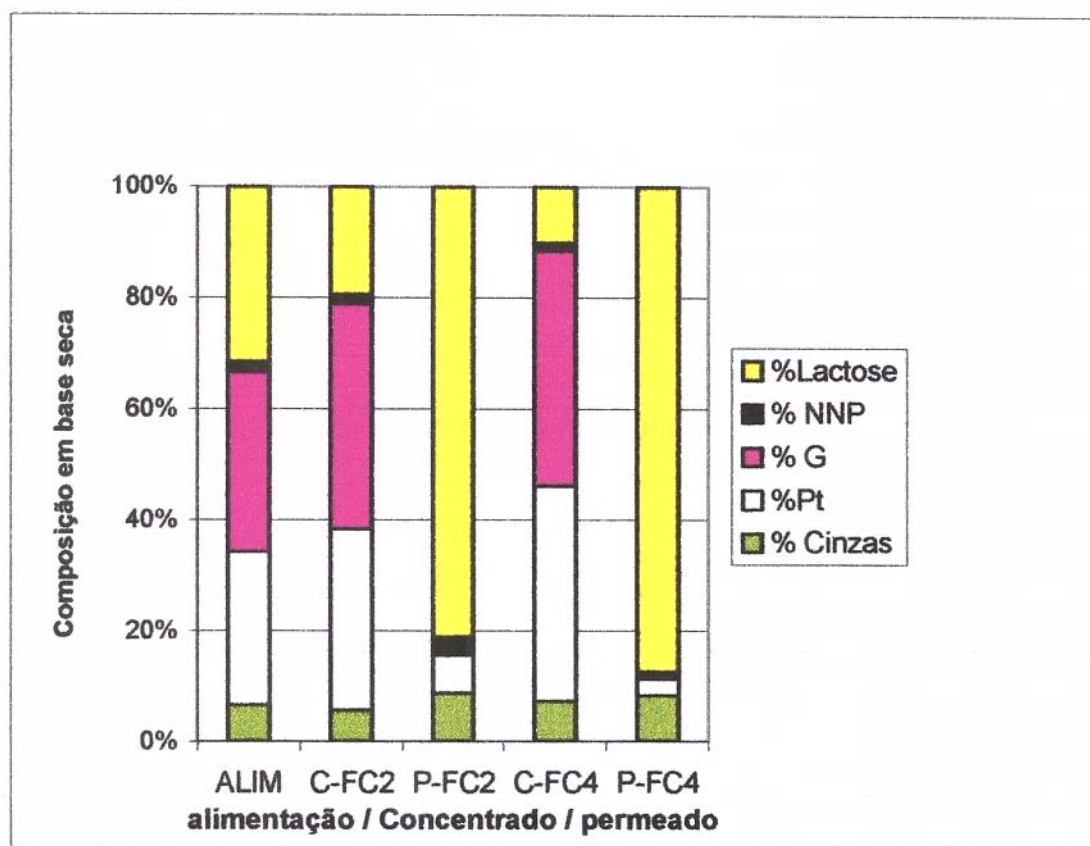


FIGURA A 10. Composição, em base seca, da alimentação e dos concentrados e permeados a FC2 e FC4 durante a UF com alimentação de 4m³/h, pressão transmembrana de 0,2 bar e temperatura de 50°C (experimento 2)

Tabela A 8. Balanço de massa para o experimento 2*

	ST	Cinzas	Pt	NNP	G	Lactose
Alimentação	8187,48	544,32	2260,44	151,2	2661,12	2577,96
FC	Concentração	+ Permeado	médio:			
2	8368,92	536,76	2256,66	147,42	2659,23	2774,52
4	7259,49	534,87	2451,33	124,74	2653,56	1536,57

*Quantidade, em kg, de cada componente

Experimento N° 3

Matéria Prima	75,6 Kg de leite integral de cabra
pH inicial:	6,67
Temperatura:	50°C
Membrana:	Polissulfona
Fabricante:	KOCH
Área	1,3 m ²
ΔP	1,2 bar

Tabela A 9. Fluxo de permeado e condições de operação para o experimento 3

t [min]	p.per. [Kg]	FC	Fluxo N [Kg/m ² .h]	Q [m ³ /h]	P1 [bar]	P2 [bar]	ΔP* [bar]	ΔP. Per [Kg]	T [°C]	Δt [min]
0										
1	1,415	1,02	65,31	1,8	1,4	1	1,2	1	50	1
3	3,265	1,05	50,23					2		2
5	4,975	1,07	45,92					2		2
6	5,82	1,08	44,77					1		1
8	7,52	1,11	43,38					2		2
10	9,195	1,14	42,44					2		2
12	11,165	1,17	42,94					2		2
14	13,015	1,21	42,91					2		2
16	14,615	1,24	42,16					2		2
18	16,245	1,27	41,65	1,8	1,4	1	1,2	2	50	2
20	17,86	1,31	41,22					2		2
25	22,275	1,42	41,12					5		5
30	26,11	1,53	40,17					5		5
35	29,84	1,65	39,35					5		5
40	33,95	1,81	39,17					5		5
45	37,37	1,98	38,33					5		5
50	41,18	2,2	38,01					5		5
55	44,36	2,42	37,23	1,8	1,4	1	1,2	5	50	5
60	47,265	2,67	36,36					5		5
67	51,595	3,15	35,54					7		7
72	54,07	3,51	34,66					5		5
76	56,7	4	34,43	1,8	1,6	0,8	1,2	4	50	4

*A ΔP manteve-se constante apesar das mudanças de P1 e P2

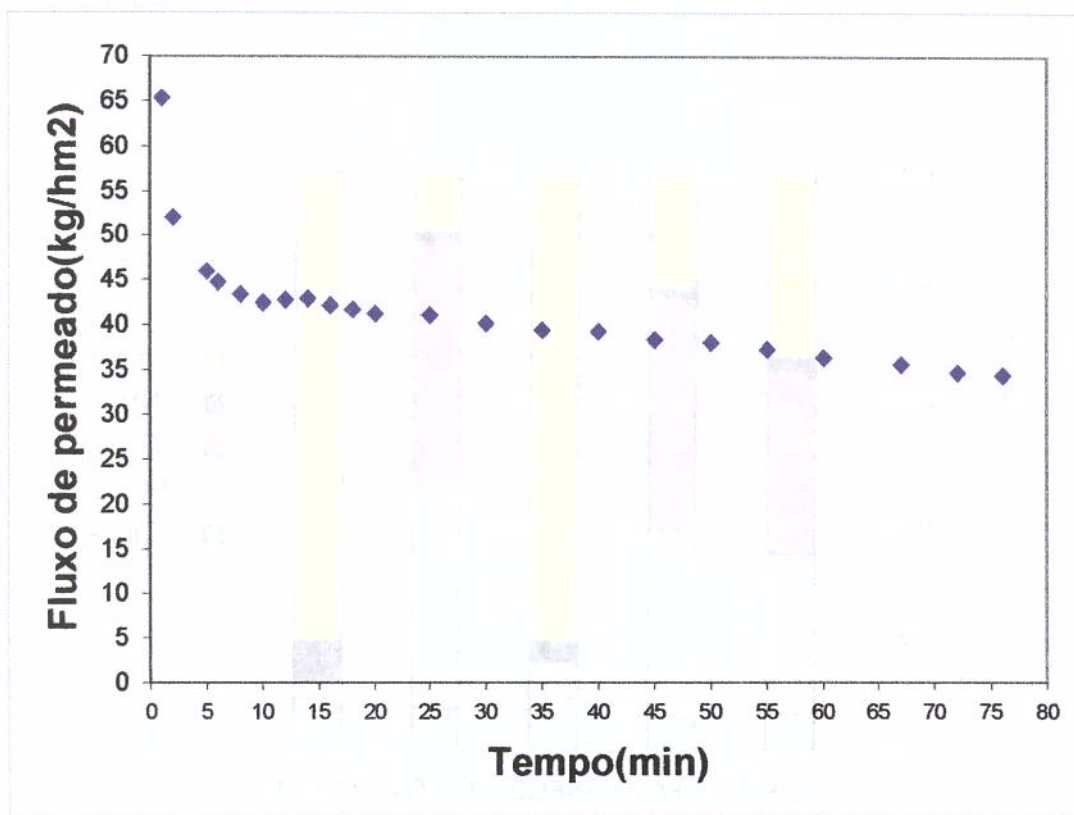


FIGURA A 11. Curva de fluxo de permeado para o leite integral de cabra reconstituído e ultrafiltrado a $1,8\text{m}^3/\text{h}$, pressão transmembrana de 1,2 bar e temperatura de 50°C .

Tabela A 10. Mudança da composição centesimal* do leite de cabra integral reconstituído durante a ultrafiltração a $1,8\text{m}^3/\text{h}$, pressão transmembrana de 1,2 bar e temperatura de 50°C

Amostra	ST	%Cinzas	Proteína	%Gordura	NNP	Lactose
ALIM	$11,09 \pm 0,06$	$0,72 \pm 0,5$	$3,04 \pm 0,01$	$3,56 \pm 0,01$	$0,2 \pm 0,05$	3,57
C-FC2	$17,60 \pm 0,02$	$0,98 \pm 0,09$	$5,76 \pm 0,04$	$7,07 \pm 0,03$	$0,24 \pm 0,05$	3,55
C-FC4	$33,59 \pm 0,0$	$2,35 \pm 0,10$	$13,09 \pm 0,35$	$14,21 \pm 0,07$	$0,410 \pm 0,03$	3,53

*Composição centesimal, onde cada valor é a média de três pontos (média $\pm$ desvio padrão)

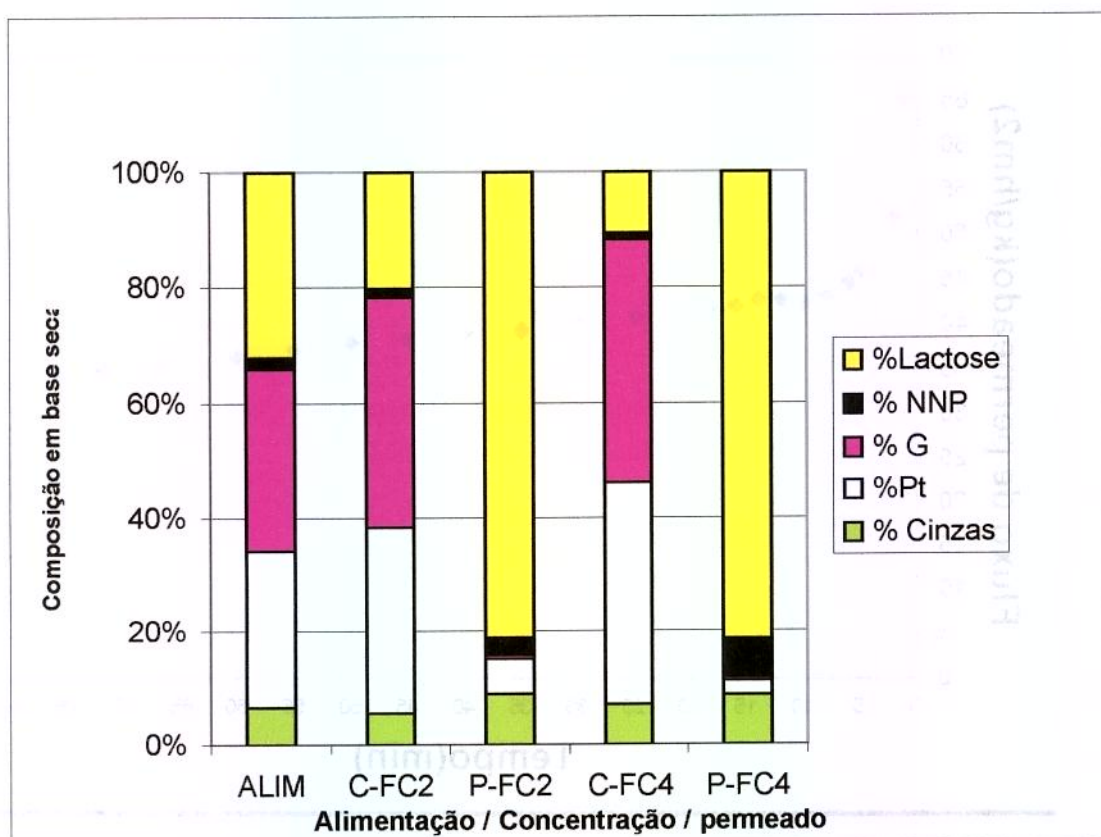


FIGURA A 12. Composição, em base seca, da alimentação dos concentrados e permeados a FC2 e FC4 durante a UF com alimentação de $1,8\text{m}^3/\text{h}$, pressão transmembrana de 1,2 bar e temperatura de 50°C (experimento 3)

Experimento N^o 4

Matéria Prima	75,6 Kg de leite de cabra
pH inicial:	6,54
Temperatura:	50 ⁰ C
Membrana:	Polissulfona
Fabricante:	KOCH
Área	1,3m ²
ΔP	1,2 bar

Tabela A 11. Fluxo de permeado e condições de operação para o experimento 4

t	p. per.	FC	Fluxo N	Q	P1	P2	ΔP*	Δperm	T	Δt
[min]	[Kg]		[Kg/m ² .h]	[m ³ /h]	[bar]	[bar]	[bar]	[Kg]	[°C]	[min]
0										
1	1,524	1	70,338	4	1,8	0,6	1,2	1,524	50	1
2	2,755	1,00	63,58	4	1,8	0,6	1,2	1,231	50	1
4	5,105	1,07	58,90					2,35		2
6	7,38	1,11	56,77					2,28		2
8	9,62	1,15	55,50					2,24		2
10	11,81	1,19	54,51	4				2,19	50	2
12	13,97	1,23	53,73					2,16		2
14	16,05	1,27	52,91					2,08		2
16	18,12	1,32	52,27					2,07		2
18	20,225	1,37	51,86					2,11		2
20	22,15	1,41	51,12	4	1,8	0,6	1,2	1,93	50	2
25	27,015	1,56	49,87					4,87		5
30	31,625	1,72	48,65					4,61		5
35	35,915	1,91	47,36					4,29		5
40	39,535	2,10	45,62					3,62		5
45	42,991	2,32	44,09					3,46		5
50	47,23	2,66	43,60					4,24		5
55	51,435	3,13	43,16					4,21		5
60	55,625	3,78	42,79	4	2	0,4	1,2	4,19	50	5
62	56,723	4,00	42,23	4	2	0,4	1,2	1,1	50	2

*A ΔP manteve-se constante apesar das mudanças de P1 e P2

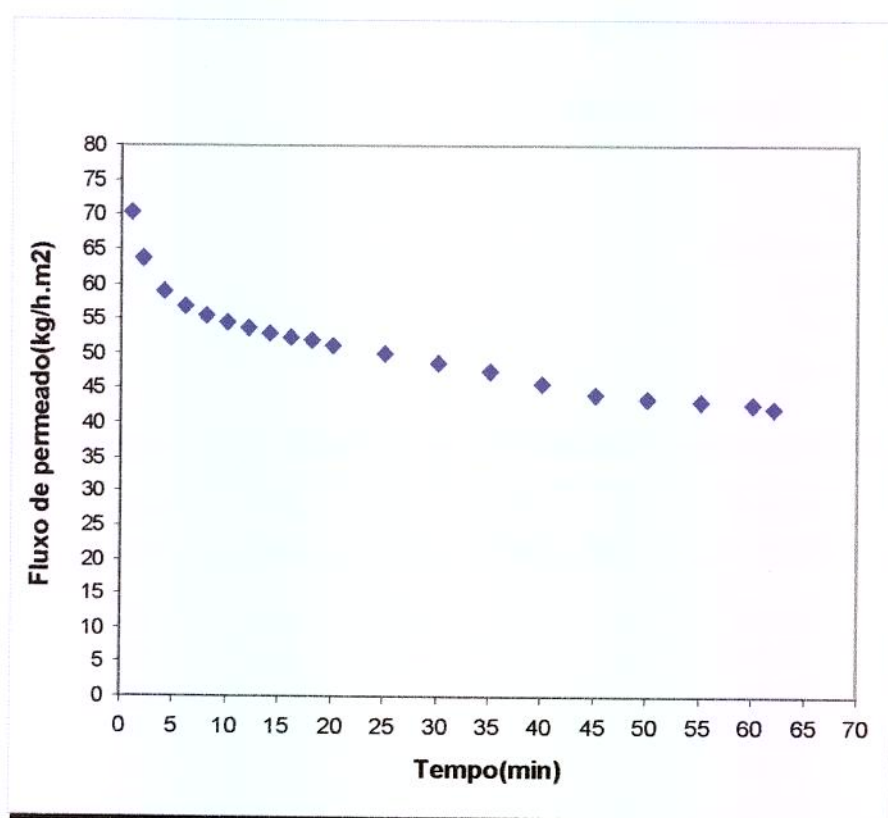


FIGURA A.13. Curva de fluxo de permeado para o leite integral de cabra reconstituído e ultrafiltrado a $4\text{m}^3/\text{h}$, pressão transmembrana de 1,2 bar e temperatura de 50°C

Tabela A.12. Mudança da composição centesimal* do leite de cabra integral reconstituído durante a ultrafiltração a $4\text{m}^3/\text{h}$, pressão transmembrana de 1,2 bar e temperatura de 50°C

Amostra	ST	%Cinzas	Proteína	%Gordura	NNP	Lactose
ALIM	$10,89 \pm 0,02$	$0,69 \pm 0,34$	$3,04 \pm 0,28$	$3,40 \pm 0,07$	$0,19 \pm 0,01$	3,57
C-FC2	$17,25 \pm 0,01$	$0,94 \pm 0,58$	$5,77 \pm 0,12$	$6,78 \pm 0,02$	$0,22 \pm 0,05$	3,54
C-FC4	$32,61 \pm 0,04$	$2,26 \pm 0,33$	$13,06 \pm 0,68$	$13,57 \pm 0,09$	$0,4 \pm 0,01$	3,32
P**	$5,63 \pm 0,02$	$0,45 \pm 0,06$	$0,24 \pm 0,04$	$0,015 \pm 0,03$	$0,28 \pm 0,0$	4,38

*Composição centesimal, onde cada valor é a média de três pontos (média $\pm$ desvio padrão)

**P= composição centesimal média de todo o permeado coletado até FC=4

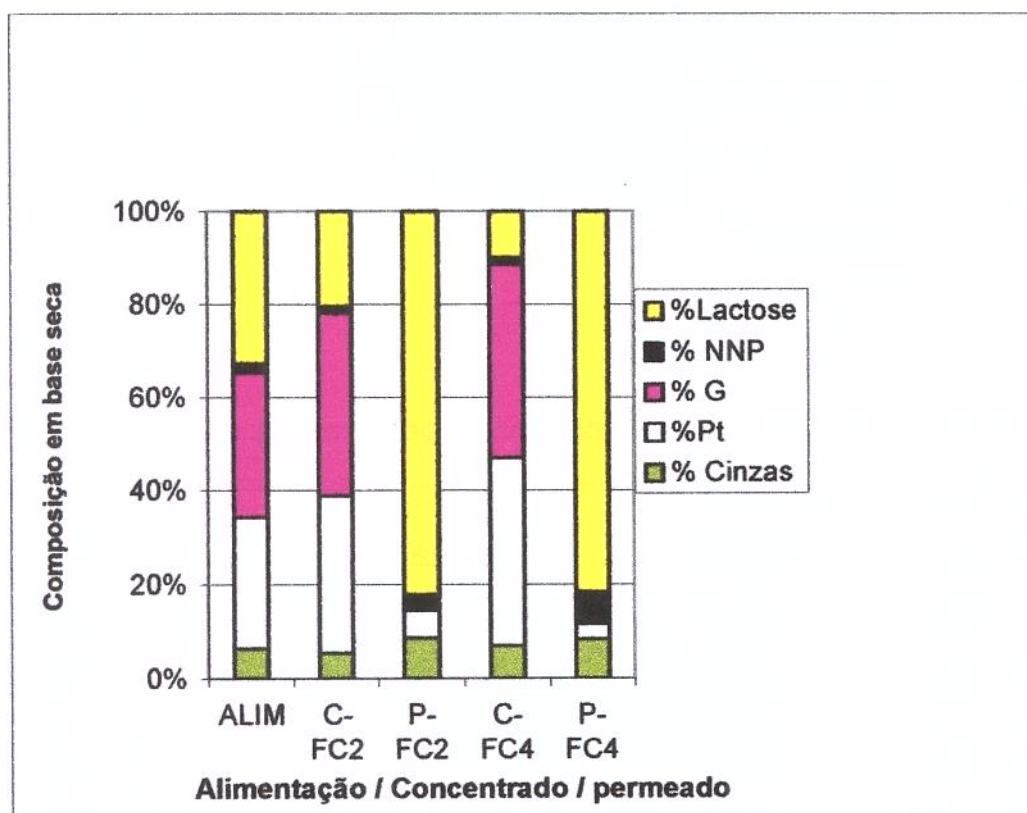


FIGURA A 14. Composição, em base seca, da alimentação dos concentrados e permeados a FC2 e FC4 durante a UF com alimentação de 4m³/h, pressão transmembrana de 1,2 bar e temperatura de 50⁰C (experimento 4)

Tabela A.13. Balanço de massa para o experimento 4*

	ST	Cinzas	Pt	NNP	G	Lactose
Alimentação						
	8232,84	521,64	2298,24	143,64	2570,4	2698,92
FC	Concentração	+ Permeado	Médio:			
2	8414,28	517,85	2294,46	139,86	2566,62	2899,26
4	7227,36	515,97	2502,36	141,75	2568,51	1502,55

*Quantidade, em kg, de cada componente

Experimento N° 5

Matéria Prima: 75,6 Kg de leite de cabra integral
 pH inicial: 6,6
 Temperatura: 50°C
 Membrana: Polissulfona
 Fabricante: KOCH
 Área: 1,3 m²
 ΔP: 0,7 bar

Tabela A 14. Fluxo de permeado e condições de operação para o experimento 5

t [min]	p.per. [Kg]	FC	Fluxo N [Kg/m ² .h]	Q [m ³ /h]	P1 [bar]	P2 [bar]	ΔP* [bar]	Δperm [Kg]	T [°C]	Δt [min]
0										
1	0,87	1,01	40,15	2,9	1	0,4	0,7	0,87	48	1
2	1,515	1,02	34,96					0,65		1
4	2,8	1,04	32,31	2,9	1	0,4	0,7	1,29	50	2
6	4,045	1,06	31,12					1,25		2
8	5,27	1,07	30,40					1,23		2
10	6,495	1,09	29,98					1,23		2
12	7,72	1,11	29,69					1,23		2
14	8,92	1,13	29,41					1,20		2
16	10,135	1,15	29,24					1,22		2
18	11,34	1,18	29,08	2,9	1	0,4	0,7	1,21	50	2
20	12,62	1,20	29,12					1,28		2
25	15,73	1,26	29,04					3,11		5
30	18,785	1,33	28,90					3,06		5
35	21,81	1,41	28,76					3,03		5
40	24,805	1,49	28,62	2,9	1	0,4	0,7	3,00	50	5
45	27,7	1,58	28,41					2,90		5
50	30,6	1,68	28,25					2,90		5
55	33,49	1,80	28,10					2,89		5
60	36,405	1,93	28,00					2,92		5
67	40,595	2,16	27,96					4,19		7
75	45,165	2,48	27,79	2,9	1	0,4	0,7	4,57		8
80	47,935	2,73	27,65	2,9	1	0,4	0,7	2,77		5
85	50,545	3,02	27,45	2,9	1	0,4	0,7	2,61		5
90	53,235	3,38	27,30	2,9	1,4	0	0,7	2,69		5
95	56,42	3,94	27,41	2,9	1,4	0	0,7	3,19		5

*A ΔP manteve-se constante apesar das mudanças de P1 e P2

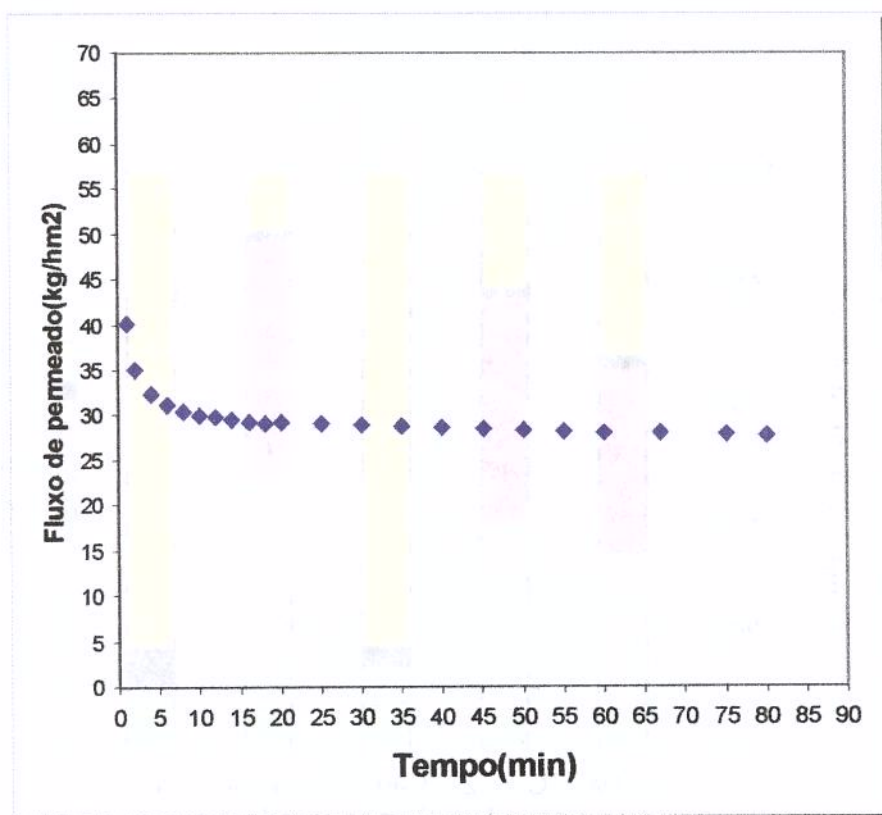


FIGURA A 15. Curva de fluxo de permeado para o leite integral de cabra reconstituído e ultrafiltrado a $2,9\text{m}^3/\text{h}$, pressão transmembrana de 0,7 bar e temperatura de 50°C

Tabela A 15. Mudança da composição centesimal* do leite integral de cabra reconstituído durante a ultrafiltração a $2,9\text{m}^3$, pressão transmembrana de 0,7 bar e temperatura de 50°C

Amostra	ST	%Cinzas	Proteína	%Gordura	NNP	Lactose
ALIM	$10,76 \pm 0,04$	$0,68 \pm 0,02$	$2,99 \pm 0,11$	$3,44 \pm 0,01$	$0,19 \pm 0,0$	3,45
C-FC2	$17,10 \pm 0,03$	$0,95 \pm 0,05$	$5,67 \pm 0,09$	$6,82 \pm 0,05$	$0,22 \pm 0,01$	3,45
C-FC4	$32,65 \pm 0,02$	$2,20 \pm 0,03$	$12,90 \pm 0,26$	$13,71 \pm 0,09$	$0,4 \pm 0,0$	3,44

*Composição centesimal, onde cada valor é a média de três pontos (média $\pm$ desvio padrão)

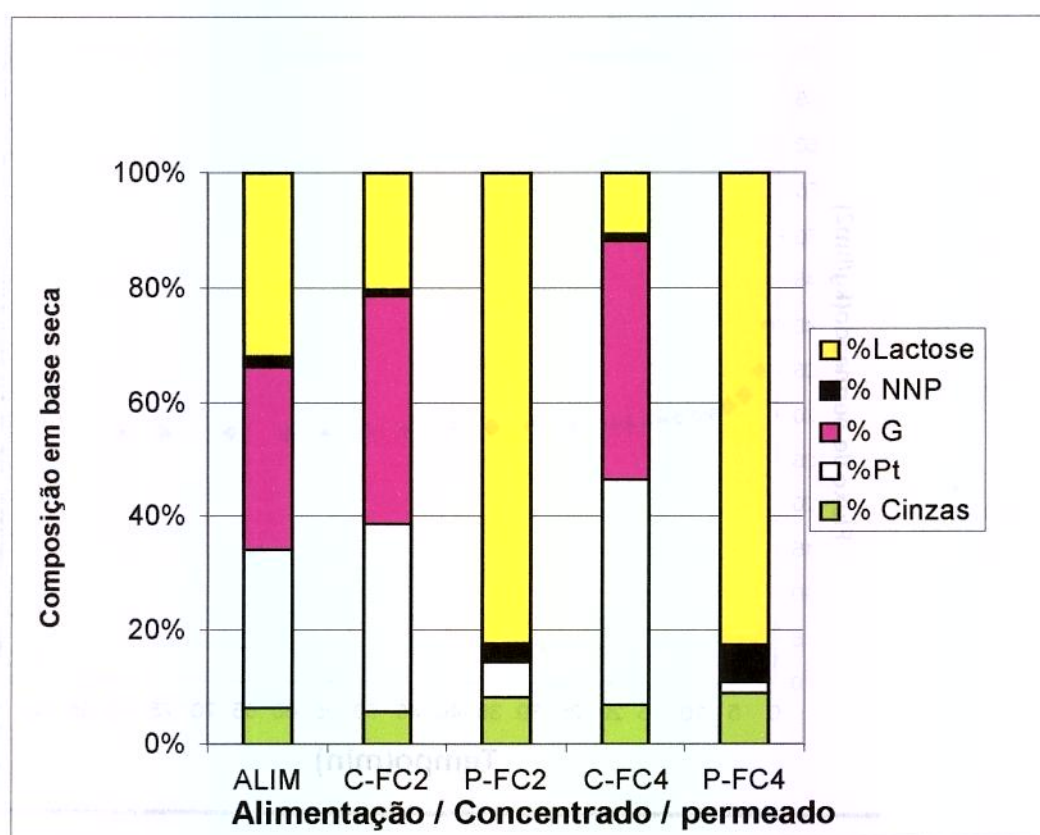


FIGURA A 16. Composição, em base seca, da alimentação dos concentrados e permeados a FC2 e FC4 durante a UF com alimentação de $2,9\text{m}^3/\text{h}$, pressão transmembrana de 0,7 bar e temperatura de 50°C (experimento 5)

Experimento N° 6

Matéria Prima	75,6 Kg de leite de cabra integral
pH inicial:	6,69
Temperatura:	50 ⁰ C
Membrana:	Polissulfona
Fabricante:	KOCH
Área	1,3 m ²
ΔP	0,7 bar

Tabela A 16. Fluxo de permeado e condições de operação para o experimento 6

t	p. per.	FC	Fluxo N	Q	P1	P2	ΔP*	Δperm	T	Δt
[min]	[Kg]		[Kg/m ² .h]	[m ³ /h]	[bar]	[bar]	[bar]	[Kg]	[⁰ C]	[min]
0										
1	0,81	1,01	37,38	2,9	1	0,4	0,7	0,81	50	1
2	1,575	1,02	36,35					0,77		1
4	3,115	1,04	35,94					1,54		2
6	4,605	1,06	35,42					1,49		2
8	6,065	1,09	34,99	2,9	1	0,4	0,7	1,46	50	2
10	7,545	1,11	34,82					1,48		2
12	8,905	1,13	34,25					1,36		2
14	10,425	1,16	34,37					1,52		2
16	11,87	1,19	34,24					1,45		2
18	13,28	1,21	34,05	2,9	1	0,4	0,7	1,41	50	2
20	14,83	1,24	34,22					1,55		2
25	18,38	1,32	33,93					3,55		5
30	21,88	1,41	33,66					3,50		5
35	25,32	1,50	33,39					3,44		5
40	28,725	1,61	33,14	2,9	1	0,4	0,7	3,41	50	5
45	31,045	1,70	31,84					2,32		5
50	35,335	1,88	32,62					4,29		5
55	38,33	2,03	32,17					3,00		5
62	42,53	2,29	31,66					4,20		7
65	44,41	2,42	31,53					1,88		3
70	47,39	2,68	31,25	2,9	1,2	0,2	0,7	2,98	50	5
76	50,815	3,05	30,86	2,9	1,2	0,2	0,7	3,43	50	6
80	52,88	3,33	30,51	2,9	1,4	0	0,7	2,07	50	4
85	55,185	3,70	29,96	2,9	1,4	0	0,7	2,31	50	5
89	56,95	4,05	29,53	2,9	1,4	0	0,7	1,77	50	4

A ΔP manteve-se constante apesar das mudanças de P1 e P2

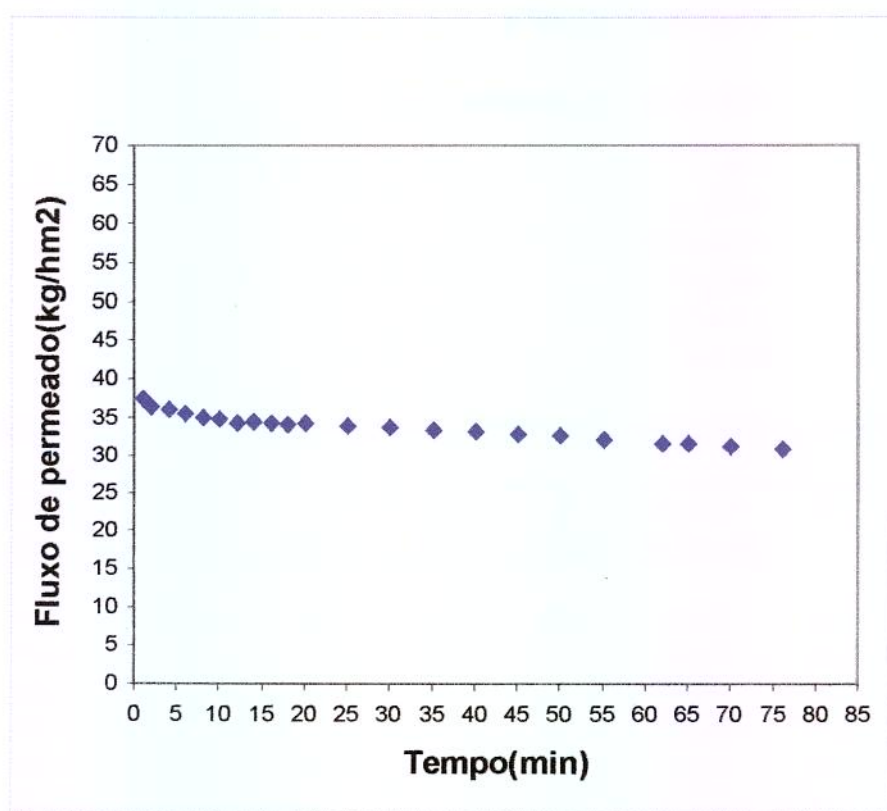


FIGURA A.17. Curva de fluxo de permeado para o leite integral de cabra reconstituído e ultrafiltrado a $2,9\text{m}^3/\text{h}$, pressão transmembrana de 0,7 bar e temperatura de 50°C

Tabela A.17. Mudança da composição centesimal* de leite integral de cabra reconstituído durante a ultrafiltração a $2,9\text{m}^3$, pressão transmembrana de 0,7 bar e temperatura de 50°C

Amostra	ST	%Cinzas	Proteína	%Gordura	NNP	Lactose
ALIM	$10,89 \pm 0,01$	$0,72 \pm 0,07$	$3,06 \pm 0,35$	$3,44 \pm 0,06$	$0,2 \pm 0,0$	3,48
C-FC2	$17,33 \pm 0,05$	$0,96 \pm 0,02$	$5,82 \pm 0,06$	$6,85 \pm 0,04$	$0,240 \pm 0,02$	4,46
C-FC4	$33,11 \pm 0,04$	$0,48 \pm 0,06$	$13,16 \pm 0,14$	$13,73 \pm 0,16$	$0,4 \pm 0,01$	3,45
**P	$5,18 \pm 0,04$	$2,37 \pm 0,02$	$0,2 \pm 0,06$	$0,02 \pm 0,05$	$0,25 \pm 0,02$	4,24

*Composição centesimal, onde cada valor é a média de três pontos (média $\pm$ desvio padrão)

**P= composição centesimal média de todo o permeado coletado até FC=4

Experimento N^o 7

Matéria Prima	75,6 Kg de leite de cabra integral
pH inicial:	6,54
Temperatura:	50 ^o C
Membrana:	Polissulfona
Fabricante:	KOCH
Área	1,3 m ²
ΔP	0,7 bar

Tabela A 19. Fluxo de permeado e condições de operação para o experimento 7

t [min]	p. per. [Kg]	FC	Fluxo N [Kg/m ² .h]	Q [m ³ /h]	P1 [bar]	p2 [bar]	ΔP* [bar]	Δperm [Kg]	T [^o C]	Δt [min]
0										
1	0,840	1,0	38,77	2,9	1,0	0,4	0,7	0,84	50	1
2	1,535	1,0	35,42					0,70		1
4	3,045	1,0	35,13					1,51		2
6	4,490	1,1	34,54					1,45		2
8	5,905	1,1	34,07	2,9	1,0	0,4	0,7	1,42	50	2
10	7,300	1,1	33,69					1,40		2
12	8,685	1,1	33,40					1,39		2
14	10,055	1,2	33,15					1,37		2
17	12,070	1,2	32,77					2,02		3
18	12,730	1,2	32,64	2,9	1,0	0,4	0,7	0,66	50	1
20	14,070	1,2	32,47					1,34		2
25	17,355	1,3	32,04					3,29		5
30	20,610	1,4	31,71					3,26		5
35	23,795	1,5	31,38					3,19		5
42	28,210	1,6	31,00	2,9	1,1	0,3	0,7	4,42	50	7
45	30,095	1,7	30,87					1,89		3
50	33,175	1,8	30,62					3,08		5
56	36,940	2,0	30,45					3,77		6
60	39,460	2,1	30,35					2,52		4
65	42,498	2,3	30,18					3,04		5
71	46,271	2,6	30,08	2,9	1,2	0,2	0,7	3,77	50	6
76	49,211	2,9	29,88					2,94		5
80	50,381	3,0	29,07					1,17		4
88	53,160	3,4	27,88					2,78		8
90	56,560	4,0	29,01	2,9	1,4	0	0,7	3,40	50	2

A ΔP manteve-se constante apesar das mudanças de P1 e P2

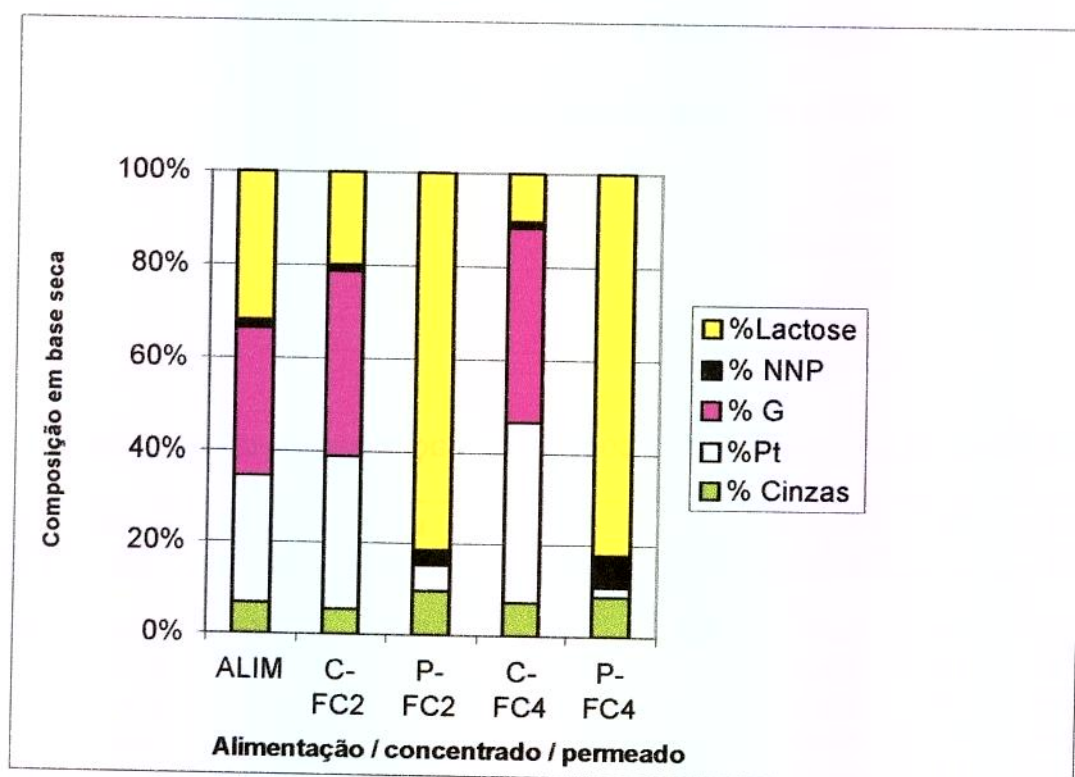
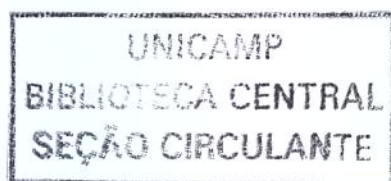


FIGURA A.18. Composição, em base seca, da alimentação dos concentrados e permeados a FC2 e FC4 durante a UF com alimentação de 2,9m³/h, pressão transmembrana de 0,7 bar e temperatura de 50^oC (experimento 6).

Tabela A.18. Balanço de massa para o experimento 6*

	ST	Cinzas	Pt	NNP	G	Lactose
FC	Alimentação					
	8232,84	544,32	2313,36	151,2	2600,64	2630,88
	Concentração + Permeado		Médio:			
	2 8414,28	540,54	2309,58	143,64	2596,86	2823,66
4	7255,71	538,65	2508,03	145,53	2598,75	1494,99

*Quantidade, em kg, de cada componente



ERRATA:

Página 39. 1º paragrafo; onde se ler:

$$\% \text{ Lact} = \% \text{ST} - (\% \text{C} + \% \text{Pt} + \% \text{NNP} + \% \text{G})$$

Onde LACT = Lactose; C = Cinzas; G = Gordura

Deve-se ler:

$$\% \text{ Lact} = 100 - (\% \text{C} + \% \text{Pt} + \% \text{NNP} + \% \text{G})$$