



UNICAMP

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



CONCENTRAÇÃO DOS COMPOSTOS BIOATIVOS DA POLPA DE CAJU ATRAVÉS DA TECNOLOGIA DE SEPARAÇÃO POR MEMBRANAS

VITOR CARDOSO ARAGÃO

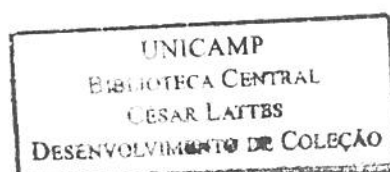
Engenheiro de Alimentos

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

Orientador: Prof. Dr. Luiz Antonio Viotto

Campinas

2010



UNIDADE BC
PROTEGIDA
SINCRONIZADA Ar12c
Nº 87884
P. 16-134-10
Q. X
RUBRICO 1.00
DATA 07/10/10
CÓD. T. 774179

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA FEA – UNICAMP

Ar12c Aragão, Vitor Cardoso
Concentração dos compostos bioativos da polpa de caju através da tecnologia de separação por membranas / Vitor Cardoso Aragão . -- Campinas, SP: [s.n], 2010.

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

1. Filtração por membranas. 2. Caju. 3. Clarificação. 4. Compostos bioativos. 5. Filtração. I. Viotto, Luiz Antonio. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos. III. Título.

cars/bibfea

Título em inglês: Concentration of bioactive compounds from cashew pulp through the Membrane separation technology

Palavras-chave em inglês (Keywords): Membrane filtration, Cashew, Clarification, Bioactive compounds, Filtration

Titulação: Mestre em Engenharia de Alimentos

Banca examinadora: Luiz Antonio Viotto

Celso Costa Lopes

Teresa Massako Kakuta Ravagnani

Programa de Pós Graduação em Engenharia de Alimentos

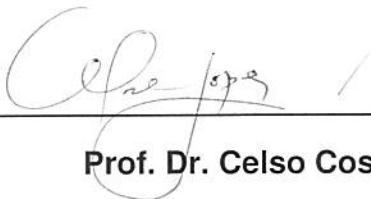
E₁
R-1287

BANCA EXAMINADORA



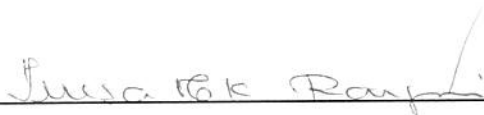
Prof. Dr. Luiz Antonio Viotto

DEA-FEA-UNICAMP (Orientador)



Prof. Dr. Celso Costa Lopes

DEA-FEA-UNICAMP (Membro)



Profª. Drª. Teresa Massako Kakuta Ravagnani

DESQ-FEQ-UNICAMP (Membro)

Profª. Drª. Lucia Helena Innocentini Mei

DTP-FEQ-UNICAMP (Suplente)

Prof. Dr. Eduardo Augusto Caldas Batista

DEA-FEA-UNICAMP (Suplente)

Este exemplar corresponde à redação final da dissertação de mestrado defendida em 25/08 / 2010 por Vitor Cardoso Aragão, aprovado pela comissão julgadora em 25/08 / 2010.

105220708

"O tempo é o melhor autor; sempre encontra um final perfeito"

(Charles Chaplin)

DEDICATÓRIA

*Aos meus pais, Valquí e Teresinha,
por todo apoio, incentivo e amor infinito.*

AGRADECIMENTOS

Ao professor Luiz Antonio Viotto pela orientação, por acreditar em meu potencial, pelo conhecimento passado e pela compreensão demonstrada.

Aos membros da banca pelo aceite em participar da comissão julgadora e pela ajuda no enriquecimento deste trabalho.

À minha mãe Teresinha que sempre acreditou em mim, me escutou e aconselhou nos momentos de fraqueza.

Ao meu pai Valquir que embora com toda a preocupação de ver seu “caçula” longe não mediu esforços para me ver chegar onde cheguei.

Aos meus familiares que mesmo a distancia sempre me apoiaram em cada etapa da minha carreira.

Aos colegas do LAMEFI, em especial Bebel, Carol e Flávio pelas trocas de informações que contribuíram com este trabalho, além é claro da excelente convivência que tivemos enquanto estávamos juntos.

À técnica de laboratório do LAMEFI, Camilla Bucci, pelo ensino, companheirismo e disposição a ajudar sempre que necessário.

À republica dos gaúchos, Vanessa, Vania e Andréia, minha família em Campinas. Obrigado pela convivência, paciência, auxílio, mas principalmente pela amizade de cada uma de vocês.

Aos colegas de pós do DEA que se transformaram em mais do que colegas: em amigos. Em especial a Maria Cristina (Titi), Gláucia (Gau), Flávio, Guilherme, Renata e Dudu Nobre (Daniel).

Ao CNPq por ter me concedido a bolsa de mestrado e a FEA/UNICAMP pelo apoio institucional.

E a todos aqueles que, de maneira direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

SUMÁRIO	vii
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS	xiii
LISTA DE SÍMBOLOS	xvi
RESUMO	xvii
ABSTRACT	xviii
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	4
2.1 Gerais.....	4
2.2 Específicos	4
3 REVISAO DA LITERATURA.....	5
3.1 Caju.....	5
3.2 Compostos bioativos	8
3.2.1 Ácido ascórbico	9
3.2.2 Carotenóides	11
3.2.3 Fenólicos	15
3.3 Processos de Separação por Membranas	17
3.3.1 Tipos de Processos	20
3.3.1.1 Microfiltração	21
3.3.1.2 Ultrafiltração	21
3.3.1.3 Nanofiltração	22
3.3.2 Parâmetros de Processo e Desempenho da Membrana	22
3.3.3 Fluxo de Permeado	24
3.3.4 Modelos Matemáticos.....	24
3.4 Processos de Membranas na Tecnologia de Sucos	25

4	MATERIAL E MÉTODOS.....	31
4.1	Material	31
4.1.1	Matéria-prima.....	31
4.1.2	Enzimas.....	31
4.1.3	Membranas.....	31
4.1.4	Equipamentos.....	32
4.1.4.1	Célula de bancada	32
4.1.4.2	Planta piloto.....	34
4.2	Métodos	36
4.2.1	Tratamento enzimático	36
4.2.2	Avaliação do desempenho das membranas.....	38
4.2.2.1	Preparação das amostras	38
4.2.2.3	Procedimento experimental na célula de bancada.....	38
4.2.2.3	Procedimento experimental na planta piloto.....	40
4.3	Análises físicas e físico-químicas.....	40
4.4	Modelagem Matemática	42
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
5.1	Características físico-químicas da matéria-prima	43
5.2	Efeito do tratamento enzimático na polpa de caju.....	45
5.3	Filtração por Membranas: Micro, Ultra e Nanofiltração	49
5.3.1	Célula de Bancada	49
5.3.1.1	Análise dos produtos obtidos	49
5.3.1.2	Fluxo de permeado	59
5.3.2	Unidade Piloto	63
5.3.2.1	Fluxo de permeado	64
5.4	Modelagem Matemática	65
5.4.1	Aplicação do modelo de renovação da superfície	65

5.4.2	Aplicação do modelo de Breslau & Kilcullen.....	67
6	CONCLUSÕES	70
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72
8	ANEXOS.....	81

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Estrutura do ácido L-ascórbico (Vitamina C).....	9
Figura 3.2: Estrutura química de alguns carotenóides	12
Figura 3.3: Representação esquemática do processo de separação por membranas (Adaptado de Mulder, 1997).....	18
Figura 3.4: Esquema ilustrativo da filtração convencional e filtração tangencial (Fonte: HABERT et al., 2006).....	19
Figura 4.1: Fotografia da célula de bancada.....	33
Figura 4.2: Modelo esquemático da célula de bancada.	34
Figura 4.3: Fotografia da Unidade Piloto.....	35
Figura 4.4: Figura do esquema da unidade piloto.	36
Figura 5.1: Fotografias da alimentação e dos produtos obtidos (retentado e permeado).....	50
Figura 5.2: Fluxo médio de permeado para as corridas com a polpa Comercial com e sem tratamento enzimático utilizando as mesmas condições operacionais (50 °C e 2 bar).....	62
Figura 5.3: Curvas de fluxo de permeado obtidas com a membrana de ultrafiltração (CEL30) para a polpa Comercial sem e com tratamento enzimático.....	63
Figura 5.4: Curvas de fluxo de permeado obtidas com a membrana de ultrafiltração (CEL30) em unidade piloto para a polpa Comercial sem tratamento e <i>in natura</i>	64
Figura 5.5: Dados experimentais e curva do modelo de renovação da superfície ajustado para a membrana CEL30 com polpa comercial tratada enzimaticamente em unidade de bancada.....	66
Figura 5.6: Dados experimentais e curva do modelo de Breslau & Kilcullen ajustado para a membrana CEL30 com polpa Comercial em unidade piloto.....	68

Figura 8.1: Curva de fluxo acumulado e instantâneo de permeado de polpa de caju Comercial sem tratamento enzimático para microfiltração, utilizando a membrana de PVDF de 500kDa.	82
Figura 8.2: Curva de fluxo acumulado e instantâneo de permeado de polpa de caju Comercial com tratamento enzimático para microfiltração, utilizando a membrana de PVDF de 500kDa.	84
Figura 8.3: Curva de fluxo acumulado e instantâneo de permeado de polpa de caju <i>in natura</i> para microfiltração, utilizando a membrana de PVDF de 500kDa.	85
Figura 8.4: Curva de fluxo acumulado e instantâneo de permeado de polpa de caju Comercial sem tratamento enzimático para ultrafiltração, utilizando a membrana de PES de 150kDa.....	86
Figura 8.5: Curva de fluxo acumulado e instantâneo de permeado de polpa de caju Comercial com tratamento enzimático para ultrafiltração, utilizando a membrana de PES de 150kDa.....	88
Figura 8.6: Curva de fluxo acumulado e instantâneo de permeado de polpa de caju <i>in natura</i> para ultrafiltração, utilizando a membrana de PES de 150kDa.	89
Figura 8.7: Curva de fluxo acumulado e instantâneo de permeado de polpa de caju Comercial sem tratamento enzimático para ultrafiltração, utilizando a membrana de PVDF de 150kDa.	90
Figura 8.8: Curva de fluxo acumulado e instantâneo de permeado de polpa de caju Comercial com tratamento enzimático para ultrafiltração, utilizando a membrana de PVDF de 150kDa.	92
Figura 8.9: Curva de fluxo acumulado e instantâneo de permeado de polpa de caju <i>in natura</i> para ultrafiltração, utilizando a membrana de PVDF de 150kDa.....	93
Figura 8.10: Curva de fluxo acumulado e instantâneo de permeado de polpa de caju Comercial sem tratamento enzimático para ultrafiltração, utilizando a membrana de PES de 30kDa.....	95
Figura 8.11: Curva de fluxo acumulado e instantâneo de permeado de polpa de caju Comercial com tratamento enzimático para ultrafiltração, utilizando a membrana de PES de 30kDa.....	96

Figura 8.12: Curva de fluxo acumulado e instantâneo de permeado de polpa de caju <i>in natura</i> para ultrafiltração, utilizando a membrana de PES de 30kDa.....	98
Figura 8.13: Curva de fluxo acumulado e instantâneo de permeado de polpa de caju Comercial sem tratamento enzimático para ultrafiltração, utilizando a membrana de CEL de 30kDa.....	99
Figura 8. 14: Curva de fluxo acumulado e instantâneo de permeado de polpa de caju Comercial com tratamento enzimático para ultrafiltração, utilizando a membrana de CEL de 30kDa.....	101
Figura 8.15: Curva de fluxo acumulado e instantâneo de permeado de polpa de caju <i>in natura</i> para ultrafiltração, utilizando a membrana de CEL de 30kDa.....	102
Figura 8.16: Curva de fluxo acumulado e instantâneo de permeado de polpa de caju Comercial sem tratamento enzimático para nanofiltração, utilizando a membrana de PES de 1kDa.....	105
Figura 8.17: Curva de fluxo acumulado e instantâneo de permeado de polpa de caju <i>in natura</i> para nanofiltração, utilizando a membrana de PES de 1kDa.....	107
Figura 8.18: Curva de fluxo acumulado e instantâneo de permeado de polpa de caju Comercial sem tratamento enzimático em unidade piloto de ultrafiltração, utilizando membrana de CEL de 30kDa.....	109
Figura 8.19: Curva de fluxo acumulado e instantâneo de permeado de polpa de caju <i>in natura</i> em unidade piloto de ultrafiltração, utilizando membrana de CEL de 30kDa.....	110
Figura 8.20: Ajuste dos dados experimentais ao modelo de renovação da superfície.....	111
Figura 8. 21: Ajuste dos dados experimentais ao modelo proposto por Breslau & Kilcullen (1977).....	112

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Porcentagem de suco da parte comestível de alguns frutos tropicais..	6
Tabela 3.2: Valores médios das características químicas e físico-químicas do pedúnculo de caju de diferentes clones de cajueiro anão.....	7
Tabela 3.3: Teores de ácido ascórbico ($\text{mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$) em algumas frutas.....	11
Tabela 3.4: Principais carotenóides presentes nos frutos.....	13
Tabela 3.5: Características mais importantes das membranas.....	20
Tabela 4.1: Características das membranas utilizadas.....	32
Tabela 4.2: Variáveis independentes e níveis de variação do planejamento fatorial completo 2^2	37
Tabela 4.3: Planejamento Experimental 2^2 em níveis codificados (valores reais). 37	
Tabela 4.4: Experimentos realizados na escala de bancada.	39
Tabela 5.1: Características físico-químicas das polpas de caju utilizadas como matéria-prima*	43
Tabela 5.2: Valores das variáveis independentes (reais e codificados – concentração de pectinase e celulase) e dependentes (teor de polpa e viscosidade) utilizadas no planejamento fatorial completo 2^2	45
Tabela 5.3: Coeficientes de regressão para a resposta teor de polpa.	46
Tabela 5.4: Coeficientes de regressão para a resposta viscosidade.	46
Tabela 5.5: Análise de variância para a resposta teor de polpa.....	47
Tabela 5.6: Análise de variância para a resposta viscosidade.....	47
Tabela 5.7: Teor de polpa (%) e viscosidade (cP) da polpa Comercial antes e após a hidrólise enzimática ¹	48
Tabela 5.8: Resultados para análise de cor das alimentações e dos produtos obtidos.....	53
Tabela 5.9: Composição físico-química das alimentações e dos produtos obtidos.	54
Tabela 5.10: Concentração e retenção de taninos e de proteína.....	57
Tabela 5.11: Fluxo de permeado a $\text{FC} = 1,5$	59

Tabela 5.12: Parâmetros obtidos para o modelo de renovação da superfície para os dados experimentais dos experimentos com a membrana CEL30.....	66
Tabela 5.13: Parâmetros obtidos para o modelo de Breslau & Kilcullen para os dados experimentais dos experimentos com a membrana CEL30.	68
Tabela 8.1: Dados experimentais para a microfiltração, utilizando a membrana de PVDF de 500kDa, de polpa de caju Comercial sem tratamento enzimático.....	81
Tabela 8.2: Dados experimentais para a microfiltração, utilizando a membrana de PVDF de 500kDa, de polpa de caju Comercial com tratamento enzimático.	83
Tabela 8.3: Dados experimentais para a microfiltração, utilizando a membrana de PVDF de 500kDa, de polpa de caju <i>in natura</i>	84
Tabela 8.4: Dados experimentais para a ultrafiltração, utilizando a membrana de PES de 150kDa, de polpa de caju Comercial sem tratamento enzimático.....	85
Tabela 8.5: Dados experimentais para a ultrafiltração, utilizando a membrana de PES de 150kDa, de polpa de caju Comercial com tratamento enzimático.....	87
Tabela 8.6: Dados experimentais para a ultrafiltração, utilizando a membrana de PES de 150kDa, de polpa de caju <i>in natura</i>	88
Tabela 8.7: Dados experimentais para a ultrafiltração, utilizando a membrana de PVDF de 150kDa, de polpa de caju Comercial sem tratamento enzimático.	89
Tabela 8.8: Dados experimentais para a ultrafiltração, utilizando a membrana de PVDF de 150kDa, de polpa de caju Comercial com tratamento enzimático.	91
Tabela 8. 9: Dados experimentais para a ultrafiltração, utilizando a membrana de PVDF de 150kDa, de polpa de caju <i>in natura</i>	92
Tabela 8.10: Dados experimentais para a ultrafiltração, utilizando a membrana de PES de 30kDa, de polpa de caju Comercial sem tratamento enzimático.....	93
Tabela 8.11: Dados experimentais para a ultrafiltração, utilizando a membrana de PES de 30kDa, de polpa de caju Comercial com tratamento enzimático.....	95
Tabela 8.12: Dados experimentais para a ultrafiltração, utilizando a membrana de PES de 30kDa, de polpa de caju <i>in natura</i>	97
Tabela 8.13: Dados experimentais para a ultrafiltração, utilizando a membrana de CEL de 30kDa, de polpa de caju Comercial sem tratamento enzimático.....	98

Tabela 8.14: Dados experimentais para a ultrafiltração, utilizando a membrana de CEL de 30kDa, de polpa de caju Comercial com tratamento enzimático.....	100
Tabela 8.15: Dados experimentais para a ultrafiltração, utilizando a membrana de CEL de 30kDa, de polpa de caju <i>in natura</i>	101
Tabela 8.16: Dados experimentais para a nanofiltração, utilizando a membrana de PES de 1kDa, de polpa de caju Comercial sem tratamento enzimático.....	102
Tabela 8.17: Dados experimentais para a nanofiltração, utilizando a membrana de PES de 1kDa, de polpa de caju <i>in natura</i>	105
Tabela 8.18: Dados experimentais para ultrafiltração de polpa de caju Comercial sem tratamento enzimático utilizando membrana de CEL de 30kDa, em unidade piloto.....	108
Tabela 8.19: Dados experimentais para ultrafiltração de polpa de caju <i>in natura</i> utilizando membrana de CEL de 30kDa, em unidade piloto.....	109

LISTA DE SÍMBOLOS

A_P = Área de permeação (m^2)
 C_P = Concentração do soluto no permeado (%)
 C_R = Concentração do soluto no retentado (%)
FC = Fator de concentração
 J = Fluxo de permeado (kg/m^2s , kg/m^2h , L/m^2h , m/s)
 J_0 = Fluxo inicial de permeado (kg/m^2s , kg/m^2h , L/m^2h , m/s)
 J_F = Fluxo final de permeado (kg/m^2s , kg/m^2h , L/m^2h , m/s)
 m_a = Massa inicial de alimentação (g, kg)
 m_P = Massa de permeado (g, kg)
 m_r = Massa de retentado (g, kg)
 P_e = Pressão de entrada (bar)
 P_s = Pressão de saída (bar)
 P_T = Pressão transmembrana (bar)
 R = Coeficiente de retenção (%)
 t = Tempo (s, h)
 v = Velocidade (RPM, cm/s, m/s)
 V = Volume de permeado (m^3)
 λ = Taxa de declínio do fluxo (s^{-1} , h^{-1})
 B = Taxa de declínio do fluxo ($s^{-1} \cdot h^{-1}$)
 μ = Viscosidade (cP, Pa.s)

RESUMO

O pedúnculo do cajueiro é um pseudofruto rico em vitamina C, compostos fenólicos e carotenóides, todos considerados compostos bioativos, que exercem uma alta atividade biológica, e que podem desempenhar diversos papéis em benefício a saúde humana. Dentre os novos processos tecnológicos, a filtração por membranas representam uma alternativa à indústria de sucos de frutas para a obtenção de produtos com elevada qualidade sensorial e nutricional. O objetivo deste trabalho foi a clarificação da polpa de caju utilizando membranas poliméricas de micro, ultra e nanofiltração e também avaliar a influencia do tratamento enzimático sobre o fluxo de permeado e nas características da alimentação, permeado e retentado, visando a concentração dos compostos bioativos. Foram utilizadas, em célula de bancada, membranas de polifluoreto de vinilideno de 500 kDa (PVDF500) e 150 kDa (PVDF150), polietersulfona de 150 kDa (PES150), 30 kDa (PES30) e 1 kDa (PES1) e celulose de 30 kDa (CEL30) a 50°C, 2 bar (micro e ultra) e 10 bar (nano), e 500 RPM até fator de concentração igual a 1,5. Para cada membrana, foram realizados experimentos utilizando duas polpas (comercial e *in natura*), sem e com tratamento enzimático, utilizando um *blend* de celulase e pectinase, pois apresentaram as maiores reduções de viscosidade e teor de polpa. O tratamento enzimático influenciou nos fluxos de todas os ensaios realizados com a polpa comercial, levando a um aumento entre 1 e 95% do fluxo, quando comparado com a polpa sem tratamento. O melhor fluxo ocorreu com a membrana PES30, seguida da PVDF 500, com o aumento de 95 e 83%, respectivamente. Os valores dos fluxos médios dos permeados dos experimentos realizados com a polpa de caju *in natura* foram sempre superiores aos fluxos médios dos permeados dos experimentos com a polpa comercial, independente se a polpa sofreu ou não pré-tratamento enzimático. As corridas de ultrafiltração em planta piloto com a membrana CEL30, utilizando as polpas sem tratamento enzimático, resultaram em um aumento de 300% para a polpa *in natura* e de 1200% para a polpa comercial quando comparados com os fluxos da unidade de bancada. Em todas as membranas estudadas houve retenção de 100% dos carotenóides. A retenção de taninos variou entre 14 e 54%, sendo que as corridas realizadas com a polpa comercial apresentaram a maior retenção. Nos processos de micro e ultrafiltração a retenção de ácido ascórbico foi baixa, principalmente para a polpa *in natura*. Já no processo de nanofiltração se atingiu índices de retenção de 64% para a polpa comercial e 21% para a polpa *in natura*. Houve sempre maior retenção quando se utilizou a polpa comercial do que com a polpa *in natura*. O modelo de renovação da superfície apresentou valores baixos para taxa de declínio de fluxo de permeado, demonstrando que a queda do fluxo ao longo do tempo não foi intensa. Já o modelo de Breslau & Kilcullen não se ajustou aos dados experimentais das corridas.

Palavras-chaves: filtração por membranas, caju, clarificação, compostos bioativos.

ABSTRACT

The stalk of the cashew is a pseudo rich in vitamin C, compounds phenolics and carotenoids, all considered bioactive compounds, which have a high biological activity, and can play several roles in benefit human health. New technological processes such as filtration membranes are a promising industry of fruit juices for obtaining products with high nutritional and sensory quality. The objective this study was to clarify the cashew pulp using micro, ultra and nanofiltration polymeric membranes as well as evaluating the enzymatic treatment influence in the permeate flux and in characteristic of feed, permeate and retentate, aiming at the concentration of bioactive compounds. Were used in laboratory unit membranes of polyvinylidene of vinylidene 500 kDa (PVDF500) and 150 kDa (PVDF150) of 150 kDa polyethersulfone (PES150), 30 kDa (PES30) and 1 kDa (PES1) pulp and 30 kDa (CEL30) at 50°C, 2 bar (micro and ultra) and 10 bar (nano), and 500 RPM until a concentration factor 1.5. To each membrane, experiments were performed using two pulps (commercial and fresh) with and without enzymatic treatment using a blend of cellulase and pectinase, as had the largest reductions of viscosity and content pulp. The enzyme treatment influenced the flow of all races made with the flesh trade, leading to an increase between 1 and 95% of the flow, compared with the untreated pulp. The best flow occurred with PES30 membrane, followed by PVDF 500, which increased 95 and 83% respectively. The values of mean flows in the permeate of the experiments made with the pulp of raw cashew were always higher flows average of experiments with permeated the flesh trade, regardless of whether the pulp has been or not pre-enzyme treatment. The ultrafiltration pilot plant test with membrane CEL30 using untreated pulps enzymes resulted in an increase of 300% for the pulp in nature and 1200% for the flesh trade flows when compared with the laboratory unit. In all membranes studied were retained 100% of the carotenoids. The retention of tannins ranged between 14 and 54%, and the races held with the flesh trade had the highest retention. In the processes of micro and ultra retention of ascorbic acid was low, particularly for pulp in natura. In the process of nanofiltration is reached retention rates of 64% for commercial pulp and 21% for the pulp in nature. There was always higher retention when using the commercial pulp than with the flesh raw. The model for renewal of the surface showed low values for rate decline of permeate flux, demonstrating that the decrease of the flow along the time was not intense. Already the model of Breslau & Kilcullen did not fit the experimental data of the tests.

Keywords: membrane filtration, cashew, clarification, compounds bioactive.

1 INTRODUÇÃO

Compostos bioativos são compostos químicos presentes, em sua grande maioria, em frutas e hortaliças, que exercem uma alta atividade biológica, e que podem desempenhar diversos papéis em benefício à saúde humana.

O ácido ascórbico, nome trivial da vitamina C, é importante na defesa do organismo contra infecções e fundamental na integridade dos vasos sanguíneos. Além disso, estudos comprovam que o poder antioxidante da vitamina C está associado com a detoxicação de substâncias carcinogênicas.

Os taninos são compostos fenólicos que estão tendo destaque após diversos estudos que demonstram uma relação inversa entre o consumo de alimentos ricos em taninos e o desenvolvimento de várias doenças degenerativas como câncer, esclerose múltipla, arteroesclerose e ao próprio processo de envelhecimento.

O papel nutricional mais importante e conhecido dos carotenóides é a sua atividade como pró-vitamina A, porém atualmente o enfoque também é direcionado para as atividades biológicas que eles podem exercer como os efeitos benéficos contra o câncer, doenças cardíacas e oftalmológicas.

O cajueiro é uma planta originária das regiões Norte e Nordeste brasileiras, sendo de grande importância social e econômica para estas regiões. O pedúnculo do cajueiro é um pseudofruto rico em vitamina C, compostos fenólicos e carotenóides, todos considerados compostos bioativos.

Apesar de toda essa potencialidade, estima-se que, no Brasil, somente 5% do pedúnculo tenha destinação econômica. Algumas das razões apontadas pelos pesquisadores são: i) falta de padronização das qualidades do pseudofruto, tais como cor, acidez e tamanho; ii) predominância do cajueiro silvestre e da colheita semiextrativista; iii) viabilidade econômica dos investimentos industriais, que requer a disposição de equipamentos de refrigeração próximos às plantações, em decorrência da sazonalidade da safra e da pequena vida útil do pedúnculo após a

colheita (aproximadamente 48 horas).

O desenvolvimento do mercado interno e externo bem como a redução do desperdício no campo depende do desenvolvimento de processos tecnológicos que permitam transformar a matéria-prima em produtos de vida útil prolongada, com pouca ou nenhuma adição de conservantes químicos e que apresentem reduzida adstringência.

O suco de caju processado à quente (tradicional), perde grande parte dos seus atributos naturais e exige níveis elevados de conservantes e estabilizantes. Ao contrário, o suco processado à frio, mediante processos modernos que utilizam membranas, podem estabelecer um novo padrão para esse tipo de produto, notadamente no nicho de mercado de sucos prontos para beber, pois esse processos mantém as características sensoriais do produto.

Com isso, não se descarta a possibilidade desse produto vir a fazer parte do mercado internacional de sucos. Nesse caso, ter-se-ia uma elevação da demanda por matéria-prima (pedúnculo), ensejando até o incremento de novos cultivos de materiais com menores índices de taninos (menor que 0,1%), reduzindo assim a adstringência, e com elevados teores de sólidos solúveis.

Nesse contexto, observa-se a necessidade de pesquisas que valorizem o desenvolvimento de novas tecnologias visando o aproveitamento integral do caju e, principalmente, que destaque o aspecto nutricional desta fruta que é tão rica nesse sentido.

Para tanto, o estudo de filtração do suco de caju através da técnica de separação por membranas se torna interessante não só pelo fato de produzir um suco clarificado bem particular desse processo, mas também pela possibilidade de se obter um concentrado altamente nutritivo, com a possibilidade de ser utilizado como insumo em alimentos. Porém, ainda são poucos os estudos avaliando a aplicação dessa técnica na produção de suco de caju.

Assim, o presente trabalho estudou o processo de filtração por membranas

utilizando a polpa de caju, com o intuito de obter um suco clarificado agradável sensorialmente e um concentrado rico em compostos bioativos, contribuindo também para a valorização da cultura do cajueiro no Brasil.

2 OBJETIVOS

2.1 Gerais

Estudar os processos de micro, ultra e nanofiltração da polpa de caju visando a clarificação do suco e a concentração dos compostos bioativos a partir de duas matérias-primas e avaliar a influência do tratamento enzimático.

2.2 Específicos

Estabelecer uma concentração de celulose e pectinase para tratamento enzimático da polpa de caju comercial, visando a redução da viscosidade e do teor de polpa;

Avaliar o fluxo de permeado e a retenção dos compostos bioativos da polpa de caju utilizando o tratamento enzimático com diferentes membranas de micro, ultra e nanofiltração em célula de bancada;

A partir do estudo em célula de bancada aplicar a membrana com o melhor desempenho de fluxo e de retenção em unidade piloto;

Determinar as características físicas (viscosidade, cor e teor de polpa) e físico-química da alimentação, retentado e permeado;

Modelar os dados experimentais de fluxo para as corridas de ultrafiltração a modelos matemáticos semi-empíricos descritos pela literatura.

3 REVISAO DA LITERATURA

3.1 Caju

O cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) é uma planta rústica, originária do Brasil, sendo típica de regiões de clima tropical. A produção do caju no Brasil está concentrada no Nordeste, sendo de grande importância social e econômica. A agroindústria desta fruta, nesta região, produz em torno de 217.000 toneladas de castanha e 2 milhões de toneladas de pseudofruto por ano (LIMA, 2008; SANCHO et al., 2007).

Costuma-se chamar de caju ao pedúnculo (ou pseudofruto), que é o suporte da verdadeira fruta — a castanha. Tanto o pedúnculo quanto a amêndoa da castanha são produtos de alto valor nutritivo, além de apresentarem diversas possibilidades de aproveitamento dos seus derivados. O pedúnculo pode ser consumido *in natura* ou utilizado na produção de doces, geléias, polpas para sucos ou outras bebidas. O principal produto, e o mais consumido no mercado, é a castanha de caju (OLIVEIRA & ROCHA, 2009).

Estima-se que de toda produção brasileira de caju, somente 5% do pedúnculo tenha destinação industrial, apesar disso, o Brasil é pioneiro e líder no aproveitamento de pedúnculo do caju (CASTRO et al., 2007; OLIVEIRA & ROCHA, 2009).

Este baixo aproveitamento do pedúnculo pela indústria se deve principalmente pela sua reduzida estabilidade pós-colheita, agravada pela falta de recursos humanos qualificados, o uso de tecnologias inadequadas do plantio ao armazenamento, o descuido no manuseio dos produtos e um conhecimento limitado para uma colheita correta. Além disso, esse desperdício está associado também a uma pequena capacidade de absorção da indústria (PAIVA et al. 2000; CHITARRA & CHITARRA, 2005).

Segundo Chitarra & Chitarra (2005), as perdas pós-colheita têm importante significado não só do ponto de vista econômico, como também nutricional por se

tratar de um produto muito rico nutritivamente, criando assim um problema de complexidade científica e tecnológica.

O incremento da vida útil do pseudofruto somente se dará mediante o uso de técnicas apropriadas de pós-colheita, com isso amplia-se a conquista de mercados da fruta *in natura* junto a consumidores cada vez mais distantes dos centros de produção (LEITE & PESSOA, 2006).

Considerando a alta perecibilidade do pedúnculo e o curto período de safra, é de grande importância o desenvolvimento de processos que tornem os produtos do pedúnculo de caju disponíveis ao longo de todo ano.

Sob o ponto de vista tecnológico, a proporção da parte comestível do pedúnculo do caju está bem acima daquela de frutos tropicais tradicionalmente cultivados, apresentando 82% enquanto que frutos como o abacate, banana, manga, maracujá e abacaxi apresentam 48, 63, 53, 33 e 59% respectivamente. Outro aspecto vantajoso do pedúnculo do caju é o aproveitamento da polpa na forma de suco segundo apresentado na tabela 3.1 (CZYHRINCIW, 1969).

Tabela 3.1: Porcentagem de suco da parte comestível de alguns frutos tropicais.

Fruto	Porcentagem de Suco
	(%)
Caju	80,1
Abacaxi	71,6
Graviola	55,5
Manga	30,6
Goiaba	28,4

Fonte: Czyhrinciw (1969).

O pedúnculo de caju apresenta uma grande variabilidade com relação às suas características químicas e físico-químicas, tendo como principais fatores que as influenciam: o tipo de solo, o clima, o tipo de cajueiro (nativo ou anão), o estágio de maturação e as condições de plantio (seco ou irrigado) (ABREU, 2007).

A Tabela 3.2 apresenta as características químicas e físico-químicas do pedúnculo de caju de diferentes clones de cajueiro anão, no qual se verifica o alto valor nutricional por seu elevado teor de vitamina C, que pode chegar a cinco vezes maior que o encontrado na laranja, além de carotenóides, antocianinas e compostos fenólicos (ABREU, 2007; LIMA et al., 2007).

Tabela 3.2: Valores médios das características químicas e físico-químicas do pedúnculo de caju de diferentes clones de cajueiro anão.

Determinações	Valores Médios		
	BRS 189	CCP 76	BRS BA 12
pH	4,57	4,57	4,55
Acidez titulável (% de ácido málico)	0,30	0,26	0,32
Sólidos solúveis (°Brix)	12,17	12,02	12,03
Açúcares solúveis totais (%)	8,93	8,65	8,76
Vitamina C (mg/100g)	270,04	234,47	254,34
Carotenóides totais (mg/100g)	0,93	0,41	0,40
Antocianinas totais (mg/100g)	23,42	9,76	14,59
Taninos (%)	0,31	0,27	0,30
Umidade (%)	87,28	85,98	86,26
Proteína (%)	0,64	0,92	0,78

Fonte: SOUZA FILHO (1987); ABREU (2007).

Na composição química do caju podem ser destacados carotenóides, ácido ascórbico e compostos fenólicos. A presença destes compostos em alimentos, como frutas e vegetais, tem sido associada à baixa incidência de doenças degenerativas, como câncer e doenças do coração, e aumento da resistência imunológica (GARDNER et al., 2000; COOPER et al., 2004; CARIS-VEYRAT, 2008).

O estudo realizado por Kubo et al. (1993) mostrou a presença de substâncias anti cancerígenas no suco de caju e sugere que o consumo regular de produtos à base de pseudofruto podem ser vantajosos no controle de tumores.

Por isso o aproveitamento do pedúnculo se torna extremamente interessante, pois constitui uma fonte rica de compostos de alto valor agregado em razão de suas propriedades funcionais em alimentos (BARRETO et al., 2007).

3.2 Compostos bioativos

A dieta habitual fornece, além dos macro e micronutrientes essenciais, alguns compostos químicos presentes, em sua maioria, em frutas e hortaliças, que exercem uma alta atividade biológica, já comprovada por diversos estudos. Esses compostos são chamados de compostos bioativos ou, algumas vezes, de fitoquímicos e podem desempenhar diversos papéis em benefício da saúde humana (CARRATU & SANZINI, 2005).

Estudos epidemiológicos, que abordam principalmente uma dieta rica em alimentos de origem vegetal, apresentam resultados interessantes, sugerindo que esses alimentos são capazes de exercer influência na redução do risco do desenvolvimento de doenças crônicas não transmissíveis, como cardiovasculares, cânceres, distúrbios metabólicos, doenças neurodegenerativas e enfermidades inflamatórias (SHI; MAZZA; MAGUER, 2002).

Esses compostos variam extensamente em estrutura química e, conseqüentemente, na função biológica. Entretanto eles apresentam algumas características em comum: pertencem a alimentos do reino vegetal, são substâncias orgânicas e geralmente de baixa massa molecular, não são indispensáveis nem sintetizados pelo organismo humano e apresentam ação protetora na saúde humana quando presentes na dieta em quantidades significativas (HORST & LAJOLO, 2009).

As substâncias consideradas como bioativas podem ser nutrientes como a vitamina C, vitamina E, β -caroteno, ácido fólico, cálcio e niacina ou não nutrientes, incluindo diferentes tipos de compostos químicos presentes em frutas e hortaliças. Entre as mais pesquisadas, notadamente quanto ao seu efeito preventivo contra o câncer, encontram-se: fibras, compostos fenólicos, terpenóides, carotenóides, minerais como o selênio e o cálcio, isotiocianatos aromáticos, entre outros (CHITARRA & CHITARRA, 2005).

3.2.1 Ácido ascórbico

O ácido ascórbico ($C_6H_8O_6$) é o nome trivial para a vitamina C. A estrutura é apresentada na Figura 3.1. Vitamina C refere-se aos compostos que exibem total ou parcial a atividade biológica do ácido L-ascórbico. Ácido L-ascórbico possui centros quirais nos carbonos 4 e 5, e podem existir em quatro formas de estereoisômeros. Pares de enantiômeros são L- e D-ascórbico e L- e D-ácido araboascórbico. L-ácido ascórbico e ácido D-araboascórbico (mais comumente conhecido como ácido D-isoascórbico) ou ácido eritórbico são epímeros diferindo na orientação do hidrogênio e hidroxila no carbono 5 (EITENMILLER & LANDEN, 1999).

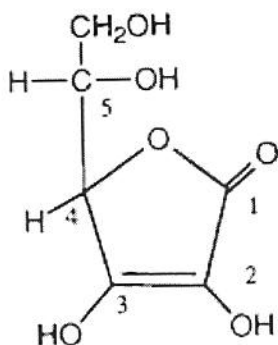


Figura 3.1: Estrutura do ácido L-ascórbico (Vitamina C).

Esse composto participa dos processos celulares de oxirredução, como também é importante na biossíntese das catecolaminas. Previne o escorbuto, é importante na defesa do organismo contra infecções e fundamental na integridade das paredes dos vasos sanguíneos. É essencial para a formação das fibras colágenas existentes em praticamente todos os tecidos do corpo humano (derme, cartilagem e ossos) (MANELA-AZULAY et al., 2003).

Os possíveis efeitos anticarcinogênicos da vitamina C estão relacionados com sua habilidade em eliminar substâncias carcinogênicas e sua atividade antioxidante. Além disso, tem-se constatado que a vitamina C pode inibir a formação de nitrosaminas *in vivo* a partir de nitratos e nitritos usados como

conservantes, sendo portanto adicionada a muitos produtos alimentares industrializados para prevenir a formação desses compostos reconhecidamente carcinogênicos (SILVA & NAVES, 2001).

O ácido ascórbico não é sintetizado pelo organismo humano, o que torna indispensável a sua ingestão na dieta. Estudos indicam que a dose diária recomendada de vitamina C para indivíduos adultos saudáveis é de 80 a 120 mg. Em situações diversas, tais como infecções, gravidez e amamentação, e em tabagistas, doses ainda mais elevadas são necessárias (SILVA & NAVES, 2001; MANELA-AZULAY et al., 2003; CHITARRA & CHITARRA, 2005).

Os alimentos de origem vegetal podem suprir a maior parte das vitaminas necessárias ao organismo, mas a sua importância advém, principalmente, pelo suprimento da vitamina C. Por serem consumidas preferencialmente in natura, as frutas são as melhores fontes que as hortaliças, as quais, em grande parte, são submetidas à cocção. Embora seja considerada como um dos componentes nutricionais mais importantes nas frutas, o seu teor em geral não ultrapassa o valor de 0,3%. No entanto, algumas frutas são fontes excepcionais como a acerola (1,0 a 1,8%), a goiaba e o caju (0,2 a 0,3%) (CHITARRA & CHITARRA, 2003).

As fontes de ácido ascórbico são classificadas em diferentes níveis: fontes elevadas contêm de 100 a 300 mg/100g, como, por exemplo, acerola, caju, camu-camu, morango, goiaba e abacaxi; fontes médias contêm de 50 a 100 mg/100g, como, laranja, limão e papaia, e fontes baixas contêm de 25 a 50 mg/100g, como, lima, pêra e manga (ANDRADE et al. 2002).

Na Tabela 3.3, encontram-se os teores de ácido ascórbico em algumas frutas.

Tabela 3.3: Teores de ácido ascórbico ($\text{mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$) em algumas frutas.

Produto	Ácido Ascórbico ($\text{mg}/100\text{g}$)
Abacaxi	27,2
Banana 'Prata'	17,3
Caju amarelo maduro	219,7
Goiaba vermelha	45,6
Laranja 'pêra'	40,9
Limão	30,2
Morango	72,8
Pitanga	14,0

Fonte: FRANCO (2002).

Segundo Chitarra & Chitarra (2005), as frutas cítricas, embora não contenham teores elevados (entre 0,04 e 0,08%), são consideradas como boas fontes de vitamina C pelo alto consumo diário.

Diversos trabalhos desenvolvidos com o pedúnculo de caju mostram que este é rico em vitamina C, em níveis quase que cinco vezes maiores que na laranja, fruta considerada padrão nessa vitamina (ABREU, 2007; LIMA et al., 2007).

Por outro lado, devido ao seu elevado teor de ácido ascórbico a oxidação deste composto é um dos responsáveis por sua alta perecibilidade, ocorrendo alterações sensoriais e reações de escurecimento, o que exige cuidados especiais durante o processamento e armazenamento (SOUZA FILHO et al., 1999; LIMA et al., 2007).

3.2.2 Carotenóides

Os carotenóides são os mais difundidos e importantes pigmentos naturais que juntamente com a clorofila são encontrados em todos os organismos capazes de realizar fotossíntese. Sua denominação é derivada do seu principal representante, o β -caroteno, o qual foi isolado a partir de cenouras por Wackenroder em 1931 (GROSS, 1987).

Nos alimentos os carotenóides são tetraterpenóides C_{40} formados pela união cauda-cabeça de oito unidades isoprenóides C_5 , exceto na posição central, onde a junção ocorre no sentido cauda-cauda, invertendo assim a ordem e resultando numa molécula simétrica. Os grupos metila centrais estão separados por seis carbonos, ao passo que os demais, por cinco. A característica de maior destaque nestas moléculas é um sistema extenso de duplas ligações conjugadas, responsável por suas propriedades e funções tão especiais. Este sistema é o cromóforo que confere aos carotenóides as suas cores (RODRIGUEZ-AMAYA; KIMURA; AMAYA-FARFAN, 2008).

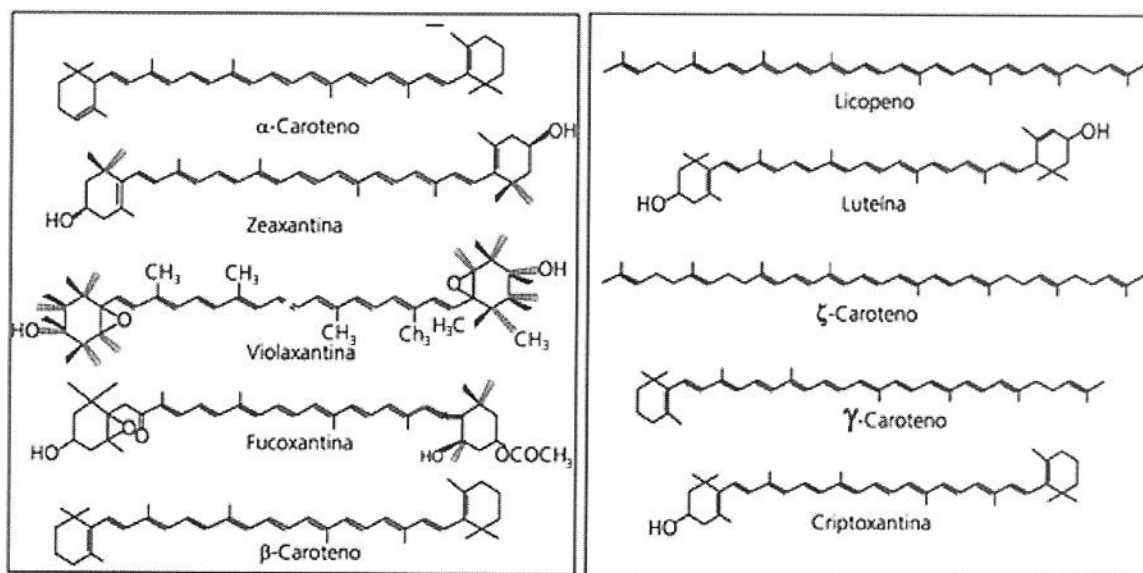


Figura 3.2: Estrutura química de alguns carotenóides.

Segundo Zanatta & Mercadante (2007) dos mais de 600 carotenóides isolados e identificados na natureza, somente cerca de 70 foram listados como presentes em frutas, mas ainda assim a sua composição é considerada complexa, na Figura 3.2 podemos observar a estrutura química de alguns carotenóides. A Tabela 3.4 apresenta a distribuição de carotenóides em alguns frutos.

Tabela 3.4: Principais carotenóides presentes nos frutos.

Frutos	Principais carotenóides
Acerola	β -caroteno, β -criptoxantina
Goiaba	Licopeno, β -caroteno
Mamão	Licopeno, β -caroteno, β -criptoxantina
Maracujá	β -caroteno, β -criptoxantina
Manga	Violaxantina, β -criptoxantina
Pêssego	β -criptoxantina
Pitanga	Licopeno, luteína, violaxantina, β -criptoxantina
Tomate	Licopeno, β -caroteno

Fonte: RODRIGUEZ-AMAYA; KIMURA; AMAYA-FARFAN (2008).

O papel nutricional mais importante e conhecido dos carotenóides é a sua atividade como pró-vitamina A. Dentre os carotenóides mais encontrados na natureza estão: α -caroteno, γ -caroteno, criptoxantina e β -caroteno, sendo este último e seus isômeros os de maior importância, tendo em vista a sua atividade de vitamina A, em relação aos demais (RODRIGUES-AMAYA, 1989).

No Brasil os produtos de origem animal, que são excelentes fontes de vitamina A pré-formada, não são economicamente acessíveis para toda a população, por isso a vitamina A da dieta do brasileiro é proveniente principalmente das pró-vitaminas A (SIMPSON, 1983). Na ingestão deste composto ocorrerá sua bioconversão pelo organismo quando houver carência, evitando-se assim a hipervitaminose A. Os carotenoides que podem ser convertidos em vitamina A são aqueles que possuem pelo menos um anel β -ionona não substituído, ligado a uma cadeia poliênica conjugada de no mínimo 11 carbonos. Assim, o β -caroteno é o carotenóide que possui maior atividade vitamínica A (100%), seguido de β -criptoxantina (50%), α -caroteno (50-54%) e γ -caroteno (42-50%) (BAUERFEIND, 1972).

Há alguns anos, o interesse em carotenóides era resumido àqueles que possuem atividade pró e pré vitamina A. Atualmente, o enfoque também é direcionado para as atividades biológicas que eles podem exercer, como os efeitos benéficos contra cânceres, doenças cardíacas e degeneração macular. Esses fatos estimularam intensas investigações sobre o papel desses compostos como antioxidantes e como reguladores de resposta do sistema imunológico (DELGADO-VARGAS; JIMÉNEZ; PAREDES-LOPÉS, 2000; HORST & LAJOLO, 2009).

Carotenóides idênticos foram detectados nos tipos amarelos e vermelho e no suco processado de caju. Assim, a diferença na cor não parece ser uma função do tipo de carotenóide presente. Comparando os valores médios de vitamina A dos dois tipos de pedúnculos (0,72 µg/g) com os do suco processado (0,47 µg/g), percebeu-se que a perda de carotenóides no suco processado foi refletida no valor de vitamina A, já que esse pigmento é sensível à luz, calor e oxigênio (CECCHI & RODRIGUEZ-AMAYA, 1981).

Cavalcante et al. (2003) em estudo com sucos de caju e cajuína encontraram teores de carotenóides de 3,2 µg/g e 0,006 µg/g, respectivamente, o que demonstra a expressiva retenção dos carotenóides no processo de clarificação do suco de caju. Por sua vez, Abreu (2007) encontrou teores de carotenóides na faixa de 2,2 a 9,3 µg/g em estudo de pedúnculos de 10 clones comerciais de cajueiro anão precoce.

No entanto, Barreto et al. (2007) encontraram valores bem mais elevados de carotenóides totais, em estudo de bagaço do pedúnculo de caju. Através de processos de maceração, prensagem e filtragem, obtiveram um bagaço final com um teor de carotenóides de 54,9 µg/g, muito maior quando comparado com o caju *in natura* (2,0 µg/g).

3.2.3 Fenólicos

Os compostos fenólicos são definidos quimicamente como substâncias que possuem anel aromático com um ou mais substituintes hidroxílicos, incluindo seus grupos funcionais e geralmente apresentam propriedade antioxidante (MELO & GUERRA, 2002; LEE et al, 2005). Eles são originados do metabolismo secundário das plantas, sendo essenciais para o crescimento e reprodução dos vegetais, além de atuarem como agente de defesa contra microrganismos e insetos, e contribuírem na pigmentação (SHAHIDI & NACZK, 1995; NACZK & SHAHIDI, 2004; HORST & LAJOLO, 2009).

Dentre os compostos fenólicos, destacam-se os ácidos fenólicos (ácido gálico, ácido cafeico, ácido elágico), estilbenos (resveratrol), cumarinas (sabandinol, sabandinona, escopoletina), taninos (galotaninos, elagitaninos) e flavonóides. Estes compostos se dividem em dois grandes grupos: antocianinas e flavonóides não antociânicos (conhecidos também como antoxantinas), que por sua vez estão sub-divididas em cinco grandes subclasses: flavanas (catequinas, epicatequinas e teaflavinas), flavonas (apigenina, luteolina), flavonóis (quercetina, rutina, miricetina e kaempferol), flavanonas (hesperidina, narirutina, naringina e nepohesperidina) e isoflavonas (daidzeína, daidzina, genisteína, genistina, gliciteína, glicitina) (HEIM et al., 2002).

Nos últimos anos, este grupo tem sido motivo de muitos estudos, pois foram identificados como compostos que trazem diversos benefícios à saúde, variando da prevenção da cárie até ao câncer. Muito se tem dito a respeito da funcionalidade dos polifenóis que apresentam características anti carcinogênicas, anti-aterogênicas, antitrombóticas, antimicrobianas, vasodilatadora e analgésica (WOLLGAST & ANKLAN, 2000; CURY, 2008).

Essas propriedades relacionadas à saúde exercidas pelos compostos fenólicos são baseadas principalmente pela sua atividade antioxidante, atuando principalmente como sequestradores de radicais livres (PRIOR & CAO, 2000; RICE EVANS, MILLER, PAGANGA, 1996 e 1997).

Somente informações parciais são disponíveis sobre a quantidade de compostos fenólicos consumidos diariamente no mundo. Estes dados podem ser obtidos por análise de vários polifenóis presentes nos alimentos mais consumidos por humanos. Contudo, pesquisadores sugerem que a ingestão mínima total seja 1g/dia. Os polifenóis mais comuns encontrados na dieta são os flavonoides, que correspondem a aproximadamente 1/3 da ingestão (HORST & LAJOLO, 2009). Arabbi et al. (2004) estimou que a ingestão dietética de flavonoides pela população brasileira é de 60 a 106 mg/dia.

Os polifenóis são descritos como substâncias adstringentes e geralmente tem como principal característica serem propensos a formar complexos com proteínas, polissacarídeos e alcaloides. A presença desses compostos em alimentos e em bebidas (por exemplo: sorgo, frutas, cacau, chá, cerveja, vinho) produz uma sensação de adstringência, que é percebido como uma sensação difusa de secura e aspereza na boca ou língua (BAXTER et al. 1997).

Um dos principais grupos de polifenóis são os taninos, que são definidos como compostos fenólicos solúveis em água com massa molecular compreendida entre 500 e 3000 Dalton, possuindo a habilidade de formar complexos insolúveis em água com proteínas, gelatinas e alcalóides (MONTEIRO et al., 2005). Tais compostos são responsáveis pela adstringência de muitos frutos e produtos vegetais, devido à precipitação de glucoproteínas salivares, o que ocasiona a perda do poder lubrificante produzindo a sensação de secura na mucosa, seguida de contração da membrana (AGOSTINI-COSTA et al., 2000).

Taninos estão presentes em uma variedade de plantas utilizadas na alimentação humana e animal, incluindo alimentos como grãos de sorgo, milho, cevada, feijão, fava de feijões, ervilhas e frutos como maçãs, bananas, amoras, cerejas, caju, uvas, pêssegos, pêras, ameixas, framboesas e morangos (CHUNG et al., 1998).

Os taninos podem ser classificados como hidrolisáveis e não hidrolisáveis. O primeiro grupo, por hidrólise ácida, libera ácidos fenólicos (gálico, caféico,

elágico) e monossacarídeos, principalmente a glucose. O ácido tânico é um típico tanino hidrolisável, o qual é quebrado pela ação de enzimas. Presentes em maior quantidade no reino vegetal, os taninos não hidrolisáveis ou condensados (flavolanos), também chamados de proantocianidinas, são polímeros dos flavonóides, formados predominantemente por unidades de flavan-3-ol (catequina) e flavan 3,4-diol (leucoantocianidina), produtos do metabolismo do fenilpropanol (SILVA & da SILVA, 1999; MONTEIRO et al., 2005).

Chung et al. (1998) concluíram que os taninos parecem ter um efeito duplo, por um lado, beneficiam a saúde devido ao seu efeito preventivo contra carcinogênese ou atividades antimicrobianas, por outro lado, estão envolvidos possivelmente na formação de cânceres, hepatotoxicidade ou efeitos antinutricionais. Por isso não aconselham a ingestão de grandes quantidades destes compostos, no entanto a ingestão de uma quantidade pequena dessa substância pode ser benéfico para a saúde humana.

Abreu (2007) verificou taninos condensados em polpa de caju *in natura* sendo obtidos valores entre 5,67 a 11,23 mg/100g. Agostini-Costa et al. (2003) determinaram no caju, em estudo com sete clones de cajueiro anão precoce, valores variando de 120 a 290 mg/100g.

3.3 Processos de Separação por Membranas

A filtração é definida como a separação de dois ou mais componentes de uma corrente fluida baseada, primeiramente, na diferença de tamanhos. Convencionalmente, a filtração refere-se à separação de partículas sólidas de correntes líquidas ou gasosas. A filtração por membranas estende esta aplicação à separação de solutos dissolvidos em correntes líquidas e a separação de misturas gasosas (MONTGOMERY, 1985).

Uma membrana é uma barreira que separa duas fases e que seletivamente permite a transferência de massa entre essas fases. A membrana permite o transporte de determinados componentes mais eficazmente, retraindo outros que fazem parte da mistura de alimentação. É, portanto, uma barreira permeável e

seletiva ou uma interface entre duas fases. Na Figura 3.3 esta apresentado um esquema da separação por membranas (MULDER, 1997).

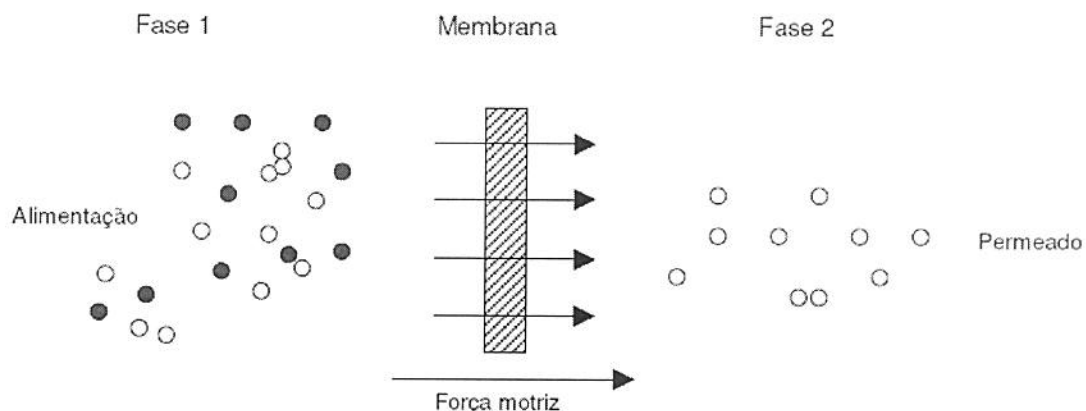


Figura 3.3: Representação esquemática do processo de separação por membranas (Adaptado de Mulder, 1997).

No processo de separação por membranas, os componentes de misturas líquidas ou gasosas, de acordo com suas características moleculares, podem passar seletivamente através da membrana, movidos por uma força motriz que pode existir devido às diferenças de pressão, de concentração, de potencial elétrico ou de temperatura, variando segundo os diferentes processos (SCOTT & HUGHES, 1996; CHERYAN, 1998).

A separação com membranas, que utiliza como força motriz as diferenças de pressão, se caracteriza pelo bombeamento da solução de alimentação sob pressão através da superfície da membrana, podendo ser realizada em duas configurações: o método estático ou *dead-end* (convencional) e a filtração tangencial (Figura 3.4) (CHERYAN, 1998).

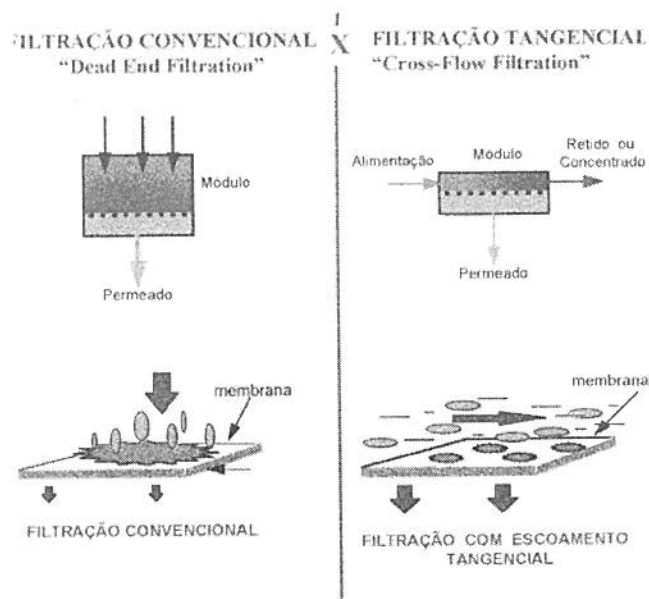


Figura 3.4: Esquema ilustrativo da filtração convencional e filtração tangencial (Fonte: HABERT et al., 2006).

Segundo Cheryan (1998), as membranas se caracterizam de acordo com a sua estrutura morfológica (simétricas ou assimétricas), o material (polimérico ou não polimérico) e configuração modular (tubular, quadros e placas, espiral e fibra oca ou capilar).

A efetividade das membranas num dado processo de separação, depende de alta permeabilidade e seletividade, estabilidade mecânica e térmica e resistência química (RAUTENBACH & ALBRECHT, 1989).

O uso desta tecnologia para separar, clarificar, purificar e concentrar representa uma das ferramentas mais poderosas da agroindústria da atualidade, e vem sendo muito estudada com o objetivo principal de reduzir os custos de produção (TASSELLI et al., 2007).

A indústria de alimentos representa cerca de 20 a 30% do total do mercado de membranas em todo o mundo, que tem um crescimento de cerca de 7,5% por ano. As principais aplicações estão na indústria de laticínios, seguido por bebidas (vinho, cerveja, sucos de frutas, etc) e produtos de ovos. Outras aplicações estão em desenvolvimento como sumos de vegetais concentrados, tratamento de

resíduos, co-produtos, etc (DAUFIN et al., 2001).

3.3.1 Tipos de Processos

Os processos com membranas são hoje amplamente aplicados em vários sistemas do setor produtivo. Estes processos podem operar à temperatura ambiente e com um baixo consumo de energia. As diferenças entre estes processos são a força motriz necessária para que ocorra a separação, as características e as propriedades da membrana e suas aplicações (Tabela 3.5). Microfiltração (MF) e ultrafiltração (UF) são adequados para a clarificação de sucos de frutas. Osmose reversa (OR), destilação por membranas (DM) e destilação osmótica (DO) são utilizados para as técnicas de concentração (SCOTT & HUGHES, 1996; KOZÁK et al., 2008).

Tabela 3.5: Características mais importantes das membranas.

Processo de separação	Tipo de membrana	Força Motriz	Mecanismo de ação	Aplicações
Microfiltração (MF)	Microporosa	Gradiente de pressão 0,1- 2bar	Exclusão	Clarificação, filtração estéril
Ultrafiltração (UF)	Assimétrica	Gradiente de pressão 0,5 – 5bar	Exclusão	Separação de soluções/macromoléculas
Nanofiltração (NF)	Assimétrica	Gradiente de pressão 1,5 – 40bar	Exclusão/ Difusão	Separação de compostos orgânicos pequenos e sais divalentes
Osmose Inversa (OI)	Assimétrica Filme denso	Gradiente de pressão 20 – 100bar	Difusão	Separação de micro solutos e sais monovalentes

Diálise (D)	Microporosa	Gradiente de concentração	Difusão	Separação de micro solutos e sais de soluções macromoleculares
Permeação gasosa (PG)	Homogênea	Gradiente de pressão e concentração	Solubilidade / Difusão	Separação de misturas de gases
Pervaporação (PV)	Simétricas e assimétrica	Gradiente de concentração	Solubilidade / difusão	Separação de misturas de líquidos voláteis
Eletrodiálise (ED)	Homogênea ou polímero microporoso	Gradiente de potencial elétrico	Migração num campo elétrico	Separação de íons da água e solutos não iônicos

Fonte: SCOTT, 1995; TEIXEIRA, 2001.

3.3.1.1 Microfiltração

A microfiltração (MF) é o processo de separação que utiliza membranas porosas, com poros na faixa entre 0,1 e 10 μm ; sendo, portanto, indicada para a retenção de materiais em suspensão e emulsões. Como as membranas de microfiltração são relativamente abertas, as pressões empregadas como força motriz para o transporte são pequenas, dificilmente ultrapassando 2 bar (CHERYAN, 1998; MULDER, 1997; HABERT et al., 2006).

Na indústria de alimentos a microfiltração é muito utilizada na clarificação de bebidas e na filtração esterilizante de soluções sensíveis ao calor, devido a sua excelente retenção de microrganismos (PORTER, 1990).

3.3.1.2 Ultrafiltração

As membranas de ultrafiltração (UF) apresentam poros na faixa entre 1 e 100 μm , portanto mais fechadas que do que as membranas de MF, por isso utiliza-

se uma força motriz maior, o suficiente para que o processo possa ser aplicado industrialmente (2 a 10 bar).

Neste processo, as membranas são capazes de efetuar separações para moléculas na faixa de 500 a 300.000 Dalton (CHERYAN, 1998).

A ultrafiltração é aplicada na fabricação de queijos e recuperação de proteínas do soro em indústria de laticínios, na indústria de bebidas (clarificação de sucos de fruta, vinho e cerveja) e na tecnologia de lipídios (recuperação de solvente da miscela, degomagem, branqueamento e neutralização, hidrólise de óleos e gorduras, separação de ácidos graxos livres) (PORTER, 1990)

3.3.1.3 Nanofiltração

A nanofiltração (NF) define um processo com membranas capaz de efetuar separações de moléculas de massa molar média (entre 500 a 2.000 Dalton), situando-se entre o limite superior da ultrafiltração e o limite inferior da osmose inversa. Trata-se, portanto, de um processo que utiliza uma membrana “fechada” de ultrafiltração ou uma membrana “aberta” de osmose inversa (HABERT et al., 2006).

3.3.2 Parâmetros de Processo e Desempenho da Membrana

Para o controle e melhor desempenho do processo de separação por membranas, os seguintes parâmetros são fundamentais (RENNER, SALAM, 1991):

- Fluxo de permeado (J): é a quantidade de permeado (em massa ou volume), obtida por área de membrana e por tempo, sendo expressa pela Equação 3.1.

$$J = \frac{m_p}{t.A_p} \quad (3.1)$$

onde, m_p é a massa de permeado obtida no tempo t , e A_p é a área de permeação.

- Coeficiente de retenção (R): fornece uma medida quantitativa da capacidade da membrana em reter um determinado componente, sendo expressa pela Equação 3.2.

$$\%R = \left(1 - \frac{C_p}{C_r}\right) \times 100 \quad (3.2)$$

onde, C_p é a concentração de soluto no permeado e C_r é a concentração no retentado.

- Fator de concentração (FC): quantifica a redução de massa atingida no processo, sendo calculada pela razão entre a massa inicial da alimentação e a massa final do retido (Equação 3.3).

$$FC = \frac{m_a}{m_r} \quad (3.3)$$

onde, m_a é a massa inicial da alimentação e m_r é a massa final obtida no retido. A massa do retido é igual a massa da alimentação subtraída da massa do permeado (m_p).

- Pressão transmembrana: é definida como sendo o gradiente entre a pressão do lado do retido e do permeado. Porém, geralmente, o gradiente de pressão entre a corrente de retentado e de permeado varia ao longo do comprimento da membrana, assim, o valor da pressão transmembrana é calculado pela média dos gradientes de pressão na entrada e na saída da membrana, conforme expresso na Equação 3.4.

$$P_T = \frac{P_e + P_s}{2} \quad (3.4)$$

onde, P_e e P_s são, respectivamente, as pressões diferenciais de entrada e de saída da membrana, no lado do retido.

3.3.3 Fluxo de Permeado

Nos processos de separação por membranas, ocorre uma redução do fluxo de permeado em função do tempo. Isto se deve aos fenômenos comuns nesses processos como: a polarização da concentração, a formação da camada de gel polarizada e *fouling*. A polarização da concentração é caracterizada por um perfil de concentração dos solutos que se forma sobre a superfície da membrana, enquanto que a camada polarizada ocorre quando a concentração de solutos na interface aumenta a ponto de depositar uma camada na superfície da membrana (CHERYAN, 1998). A incrustação, por sua vez, é decorrente da adsorção das moléculas de soluto na superfície da membrana e entupimento de poros por moléculas ou partículas em suspensão (HABERT et al, 2006).

Todos esses fenômenos devem ser controlados através do ajuste dos parâmetros operacionais do sistema, visando a viabilidade econômica do processo. Os principais parâmetros que afetam o fluxo de permeado são: pressão transmembrana, temperatura, concentração da alimentação e velocidade tangencial (CHERYAN, 1998).

3.3.4 Modelos Matemáticos

Para a descrição matemática da curva do fluxo de permeado, diversos modelos matemáticos têm sido propostos, sendo a maior parte deles semi-empíricos. Modelos exponenciais freqüentemente se ajustam bem aos resultados experimentais (GIRARD & FUKUMOTO, 2000).

Um dos modelos que tem apresentado um bom ajuste aos dados experimentais de fluxo, segundo trabalhos realizados com suco de maçã (CONSTENLA & LOSANO, 1997), abacaxi (BARROS et al., 2004), tamarindo (WATANABE; USHIKUBO; VIOTTO, 2006) e caju (BARATO, 2008), é o modelo da teoria da renovação de superfície. Nesse modelo, o comportamento do fluxo de permeado é dado em função do tempo, sendo expresso pela Equação 3.5.

$$J = J_F + (J_0 - J_F) \exp(-\lambda t) \quad (3.5)$$

onde, J_0 e J_F são, respectivamente, os fluxos inicial e final, λ é a taxa de declínio do fluxo (min^{-1}) e t é o tempo (min).

É importante citar que no trabalho de Constenla & Lozano (1997), foi utilizado este modelo, onde o suco de maçã foi submetido a pré-tratamento enzimático com enzimas pectinolíticas e os experimentos foram realizados com recirculação do permeado e retentado ao tanque de alimentação. Dessa forma, o fator de concentração foi mantido constante ao longo do processo ($FC=1$). Os autores observaram que, a uma pressão transmembrana constante (73,5 kPa), o aumento da velocidade tangencial de duas vezes, melhorou o fluxo de permeado, que passou de 20,33 para 55,11 kg/h.m^2 . Este comportamento foi refletido no parâmetro λ , que aumentou de 0,014 para 0,069 min^{-1} .

Um outro modelo exponencial, que tem sido utilizado por alguns autores (YU & CHIANG, 1986; ALVAREZ et al., 1996; CONSTENLA & LOZANO, 1997), relaciona o fluxo de permeado com o FC, e esta representado pela Equação 3.6.

$$J = J_0 - B \ln(FC) \quad (3.6)$$

onde, J_0 é o fluxo inicial de permeado e B é a constante que depende do sistema, das condições operacionais e das propriedades do suco. Neste modelo, formulado por Breslau e Kilcullen (1977) citado por Girard & Fukumoto (2000), o permeado foi coletado e não retornou ao sistema, fazendo com que o FC variasse com o tempo.

3.4 Processos de Membranas na Tecnologia de Sucos

Os consumidores de alimentos industrializados têm se preocupado cada vez mais com a qualidade nutricional e sensorial dos mesmos, demandando produtos nutritivos, saborosos e que não contenham conservantes químicos. Os sucos de frutas tropicais atendem a estes requisitos por serem ricos em vitaminas, sais minerais, açúcares e substâncias antioxidantes, além de proporcionarem sabor e aroma agradáveis. Assim, é necessário que as técnicas de

processamento e conservação de sucos sejam eficazes em manter, nos produtos processados, as características originais das frutas (CIANCI et al., 2005).

Afim de garantir a estabilidade microbiológica, os sucos de fruta são pasteurizados industrialmente a temperaturas em torno de 90 °C. Este processo aumenta a vida útil dos produtos e garante a segurança alimentar, porém afeta as características sensoriais dos sucos, que dependem principalmente de substâncias voláteis sensíveis ao calor. Além disso a maioria das vitaminas também são sensíveis ao calor, perdendo ou reduzindo a sua atividade, quando submetidos a processos térmicos (CASSANO; DONATO; DRIOLI, 2007).

Comparado com o método tradicional de processamento de sucos, o processo com membrana apresenta um baixo custo e técnicas de separação brandas que não envolvem mudança de fase ou a adição de agentes químicos. Esses recursos estão se tornando cada vez mais importantes para o desenvolvimento de novos sucos de frutas frescos e naturais sem a adição de aditivos (CASSANO; MARCHIO; DRIOLI, 2007).

O suco de caju processado à quente (tradicional), perde grande parte dos seus atributos naturais e exige níveis elevados de conservantes e estabilizantes. Ao contrário, o suco processado à frio, mediante processos modernos como microfiltração e ultrafiltração (mantendo as características naturais do produto) pode estabelecer um novo padrão para esse tipo de produto, notadamente no nicho de mercado pronto para beber. Não se descarta a possibilidade desse produto vir a fazer parte da matriz internacional de *blends* de sucos. Nesse caso, ter-se-ia uma elevação brutal da demanda por matéria-prima (pedúnculo), ensejando até o incremento de novos cultivos de materiais com menores índices de presença de taninos e com elevados teores de sólidos solúveis (LEITE & PESSOA, 2006).

Membranas de ultrafiltração apresentam um grande potencial para o processo de clarificação de sucos e estão se tornando um sucesso comercial. Elas são capazes de reter grandes espécies, tais como microorganismos,

proteínas e lipídios. As vantagens da UF frente a filtração convencional em relação ao processamento dos sucos de frutas são: aumento da produtividade; possibilidade de funcionamento em uma única etapa, reduzindo assim o tempo de trabalho; possibilidade de evitar o uso de gelatinas, adsorventes e outros auxiliares de filtração; redução da utilização de enzimas; fácil limpeza e manutenção dos equipamentos; redução da produção de resíduos de produtos e eliminação da necessidade de pasteurização (CASSANO; MARCHIO; DRIOLI, 2007).

Recentemente, uma ampla variedade de novos produtos, baseados em sucos clarificados, tem surgido no mercado. Para estes produtos, transparência e homogeneidade são características essenciais, e somente com a remoção completa dos sólidos em suspensão é que elas podem ser alcançadas. Alguns destes produtos são bebidas clarificadas carbonatadas (refrigerantes, águas minerais aromatizadas, bebidas alcoólicas, chás gelados com sucos clarificados), doces, insumos para a fabricação de alimentos como sorvetes, bolos e cremes, geléias clarificadas (gelatinas, geléias, molhos) e até mesmo produtos cosméticos (VAILLANT et al., 2001).

Em geral, o rendimento da clarificação do suco é controlado pelo fator de concentração (FC) que pode ser alcançado no processo e pelas características do suco da fruta. Para um *scale-up*, visando um processo em escala industrial, poderá ocorrer uma mudança significativa no desempenho da membrana e a presença de pectinas no suco irá reduzir significativamente o fluxo e o rendimento do processo. Por isso, sucos com elevadas concentrações de pectinas são despectinizados através de um pré-tratamento com as enzimas pectinases e amilases, antes da clarificação com o intuito de ajudar a reduzir a viscosidade e o *fouling*, resultando assim em um alto fluxo e um baixo consumo de energia (HE; JI; LI, 2007).

Alguns trabalhos recentemente publicados incluem a aplicação da tecnologia de membranas em sucos de groselha (KOZÁK et al, 2008), abacaxi

(CARVALHO; CASTRO; SILVA, 2008), laranja (CASSANO; MARCHIO; DRIOLI, 2007), umbu (USHIKUBO; WATANABE; VIOTTO, 2006), melão (VAILLANT et al., 2005), kiwi (CASSANO; JIAO; DRIOLI, 2004), acerola (MATTA; MORETTI; CABRAL, 2004) e maçã (VLADISAVLJEVIC; VUKOSAVLJEVIC; BUKVIC., 2003).

Campos et al. (2002) estudaram a clarificação do suco de caju através de MF em módulo tubular com membranas de polietersulfona, com poros de 0,3 μm de diâmetro e 0,05m² de área de permeação. Os autores utilizaram polpa comercial como matéria-prima e a submeteram a pré-tratamento enzimático com 0,1% da enzima tanase por 1 hora, a 30°C. O processo foi conduzido de duas formas distintas: com a corrente de alimentação constituída pela polpa original e pela polpa hidrolisada. As condições de operação foram: pressão transmembrana de 2 bar e temperatura de 30°C. Após a estabilização do processo, que durou cerca de 20 minutos, o fluxo médio de permeado obtido foi de 70 L/hm². O pré-tratamento enzimático, nas condições estudadas, não afetou o fluxo de permeado.

Cianci et al. (2005) avaliaram a utilização da microfiltração e da osmose inversa para a obtenção do suco de caju clarificado e concentrado. O processamento consistiu de 3 etapas principais: 1) o tratamento enzimático do suco integral utilizando a enzima com atividade pectinolítica Clarex (0,025%, 1h a 30°C), 2) a MF para a obtenção do suco clarificado e 3) a concentração deste por OI. A MF foi conduzida em uma unidade tubular de polietersulfona, com tamanho de poro de 0,3 μm e área de permeação de 0,05m², a temperatura de 30°C e pressão de 2,2 bar. O suco clarificado, oriundo da MF, foi concentrado em uma unidade de OI com configuração de quadros e placas, utilizando membranas planas de filme composto, com área de filtração de 0,72m² e 95% de rejeição a NaCl, à pressão de 60 bar e temperatura de 35°C. O fluxo médio obtido na MF foi de 184L/hm² e 11,3L/hm² para a OI. Com isso se reteve 100% dos taninos no processo de MF, um aumento de 2,4 vezes na concentração de sólidos solúveis e 2,3 vezes no teor de vitamina C após a concentração pela OI. Os autores, ainda, compararam o processo que utiliza a enzima com um trabalho anterior (MATTA et al., 2003), obtido nas mesmas condições operacionais, sem contudo, a realização

do tratamento enzimático e concluíram que a enzima proporcionou um aumento do fluxo de permeado em aproximadamente 40%.

Castro, Abreu e Carioca (2007) estudaram o efeito da clarificação da polpa de caju *in natura* e da polpa hidrolisada utilizando os processos de MF e de UF. A hidrólise foi realizada adicionando o preparado enzimático Pectinex Ultra SP-L à polpa, por uma hora. A membrana de MF utilizada foi do tipo cerâmica (óxido de alumínio) com tamanho de poro 0,1 μ m com 0,005m² de área de permeação, e a outra de UF era de PVDF com retenção de partículas entre 30-80 kDa de massa molecular de corte e área de permeação de 0,05m². As condições operacionais foram 30°C de temperatura e 2 bar de pressão transmembrana. Os fluxos de permeado foram maiores para a MF, apresentando uma média de 300 L/hm². No suco clarificado os taninos condensados apresentaram uma redução de 96% e a turbidez de 99% quando comparados com os valores da polpa *in natura* (alimentação) tanto para a UF como para a MF. Os autores atestaram que o uso da enzima no processo de UF não causou um aumento no fluxo de permeado, já na MF o fluxo do clarificado hidrolisado foi menor que o fluxo de permeado *in natura*.

Barato (2008) estudou a clarificação da polpa de caju diluída, através de uma unidade laboratorial de MF, UF e NF, todas poliméricas de diferentes materiais e massas moleculares de corte variando entre 0,5 a 200 kDa sob as condições de 25°C de temperatura e pressão variando de acordo com o tipo de processo. A membrana de NF apresentou os maiores coeficientes de retenção para os taninos (97%). Os fluxos de permeado em média variaram entre 12,8 e 25,6kg/hm², sendo a UF (celulose e massa molecular de corte de 30 kDa) a que apresentou o maior fluxo a FC=2. Foi realizado um planejamento fatorial completo, utilizando a membrana de UF, com o objetivo de avaliar a influência da temperatura, da hidrólise do suco (utilizando uma celulase) e da pressão transmembrana sobre o fluxo de permeado. A autora verificou que maiores temperaturas resultaram em maiores fluxos, a hidrólise apresentou um efeito negativo, porém pouco expressivo e a pressão não teve um efeito significativo

sobre os valores de fluxo obtidos em qualquer processo estudado. Ainda, a análise de microscopia ótica, revelou que a celulose aparece envolta por uma camada de pectina, a qual confere proteção física às fibras, o que levou a conclusão que provavelmente por isto, a hidrólise apresentou efeito negativo sobre o fluxo.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Material

4.1.1 Matéria-prima

Este trabalho foi desenvolvido com duas polpas de caju. Uma delas foi a polpa processada pela empresa De Marchi, que foi recebida já congelada em embalagens plásticas de 1 kg, todas pertencentes ao mesmo lote. De acordo com a empresa, a polpa é natural, não pasteurizada e sem a adição de conservantes e outros aditivos. A outra polpa foi processada no laboratório utilizando uma centrífuga do tipo “Juicer” e após uniformizada em uma peneira com malha de 1,0 mm, foi congelada e utilizada conforme o andamento dos experimentos. Os cajus utilizados foram adquiridos no CEASA (Central de Abastecimento S/A) da cidade de Campinas-SP e são provenientes da cidade de Petrolina-PE. Eles foram selecionados de acordo com a cor da casca do pedúnculo, segundo classificação adotada por Figueiredo et al. (2001), e então processados. Foram utilizados os pedúnculos de classificação entre 5 (laranja claro) e 7 (laranja escuro).

4.1.2 Enzimas

O processo de hidrólise enzimática foi realizado utilizando duas enzimas: pectinase (Pectinex Ultra SP-L) e celulase (Cellubrix-L), fornecidas pela empresa Novozymes (Bagsvaerd, Dinamarca). A Pectinex Ultra SP-L e a Cellubrix-L são produzidas a partir dos microrganismos *Aspergillus aculeatus* e *Trichoderma reesei*, respectivamente.

4.1.3 Membranas

Foram utilizadas seis membranas planas poliméricas da marca Microdyn-Nadir (Wiesbaden, Alemanha) de diferentes materiais e massas moleculares de corte (MWCO). A Tabela 4.1 apresenta as características e a faixa operacional das membranas utilizadas.

Tabela 4.1: Características das membranas utilizadas.

Material	Massa Molecular de Corte/ Diâmetro de poro	pH	Temperatura
PVDF	500kDa/0,2µm	2 a 11	Até 95 °C
PVDF	150kDa	2 a 11	Até 95 °C
PES	150kDa	0 a 14	Até 95 °C
PES	30kDa	0 a 14	Até 95 °C
CEL	30kDa	1 a 11	5 a 55 °C
PES	1kDa	0 a 14	Até 95 °C

PVDF = polifluoreto de vinilideno, PES = polietersulfona e CEL = celulose

Na Tabela 4.1 observa-se que as membranas são constituídas de polímeros sintéticos (PVDF, PES e CEL). A utilização desses polímeros já está estabelecida em processos industriais de separação por membranas (ULBRICHT, 2006). As principais diferenças apresentadas por estes materiais estão relacionadas aos valores limites de pH e temperaturas de processo. Todas as membranas suportam variação alta de pH, especialmente as de PES, que suportam valores de pH de 0 a 14.

4.1.4 Equipamentos

Os equipamentos utilizados foram uma célula de bancada e uma unidade piloto.

4.1.4.1 Célula de bancada

A célula de bancada é construída em formato cilíndrico de aço inox AISI 304 e é encamisado possuindo 270 mm de altura, 128 mm de diâmetro externo e 110 mm de diâmetro interno com capacidade de até 800 mL de produto e suportando até 40 bar (Figura 4.1).



Figura 4.1: Fotografia da célula de bancada.

Localizado na parte inferior deste cilindro está uma base e uma válvula para a saída de permeado. Sobre a base é colocado um suporte para o disco de membrana, que apresenta uma área de permeação de 50 cm^2 , e sobre o qual existe outro suporte de apoio ao agitador magnético. A função do agitador magnético é além de agitar a alimentação, promover o arraste das partículas que formam a camada polarizada que se forma sobre a membrana aumentando assim o fluxo de permeado pela redução do efeito da resistência, ou seja ele simula um efeito tangencial. Anéis de vedação impedem o vazamento entre as partes. Na tampa superior do cilindro encontra-se uma entrada de gás nitrogênio que é utilizado para prover a pressão no interior da célula, gerando assim a força motriz do processo (Figura 4.2). A temperatura que foi fixada em 50°C , com o intuito de reduzir a viscosidade e a carga microbiana, foi controlada por meio da circulação de água dentro da camisa da célula, através de um banho termostático .

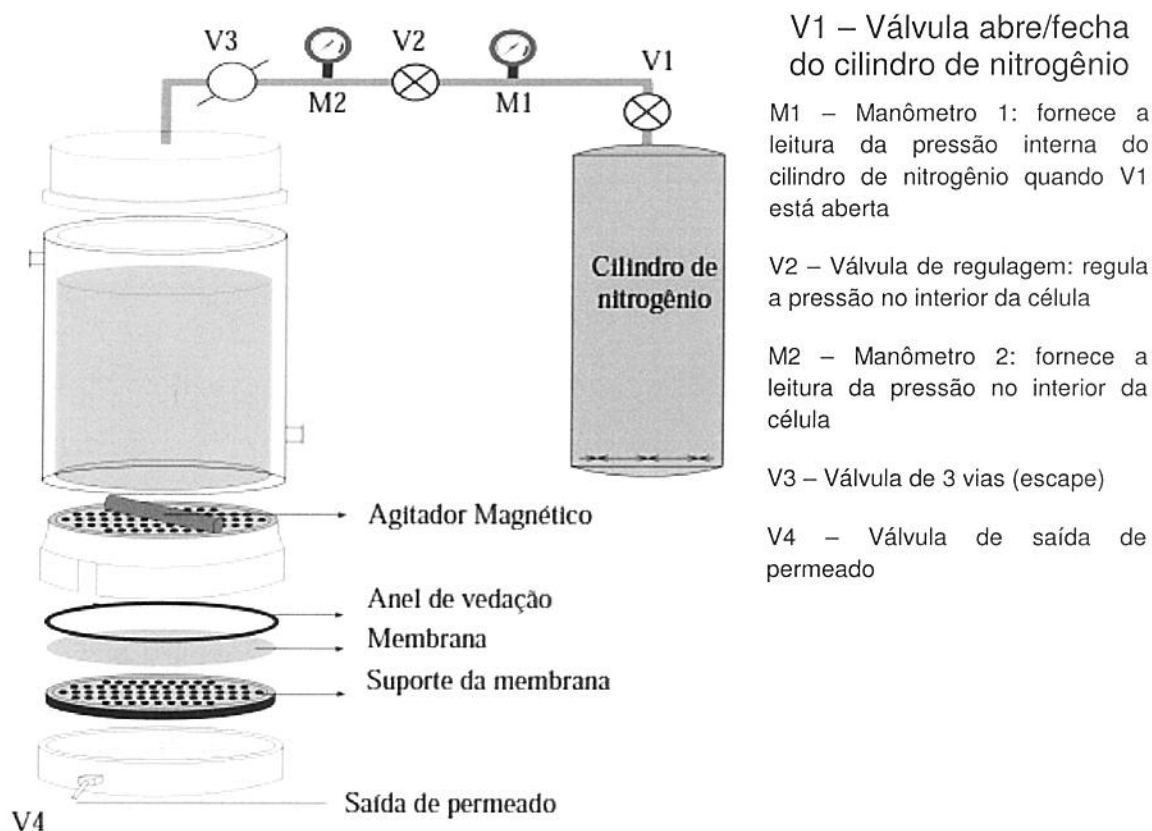


Figura 4.2: Modelo esquemático da célula de bancada.

4.1.4.2 Planta piloto

A planta piloto (Figura 4.3) é composta por um tanque de aço inoxidável encamisado e isolado (parede tripla) com capacidade para 30 L, uma bomba centrífuga, um medidor magnético de vazão (0 – 6 m³/h) (Conaut, São Paulo, SP), dois manômetros (0 – 9,8 bar) (Zurich, São Paulo, SP), sendo um posicionado na entrada e outro na saída da membrana, uma válvula borboleta na saída do tanque e uma válvula agulha na saída da membrana.



Figura 4.3: Fotografia da Unidade Piloto.

Nesse equipamento (Figura 4.4), o ajuste das condições operacionais (pressão e vazão) é feito pelo controle simultâneo da rotação da bomba por meio de um inversor de frequência e da válvula agulha, enquanto que a temperatura é controlada por meio da circulação de água na temperatura adequada ao processo na camisa do tanque. O módulo onde é fixada a membrana, apresenta uma área de permeação de 170 cm^2 ($3,5 \times 49,6 \text{ cm}$).

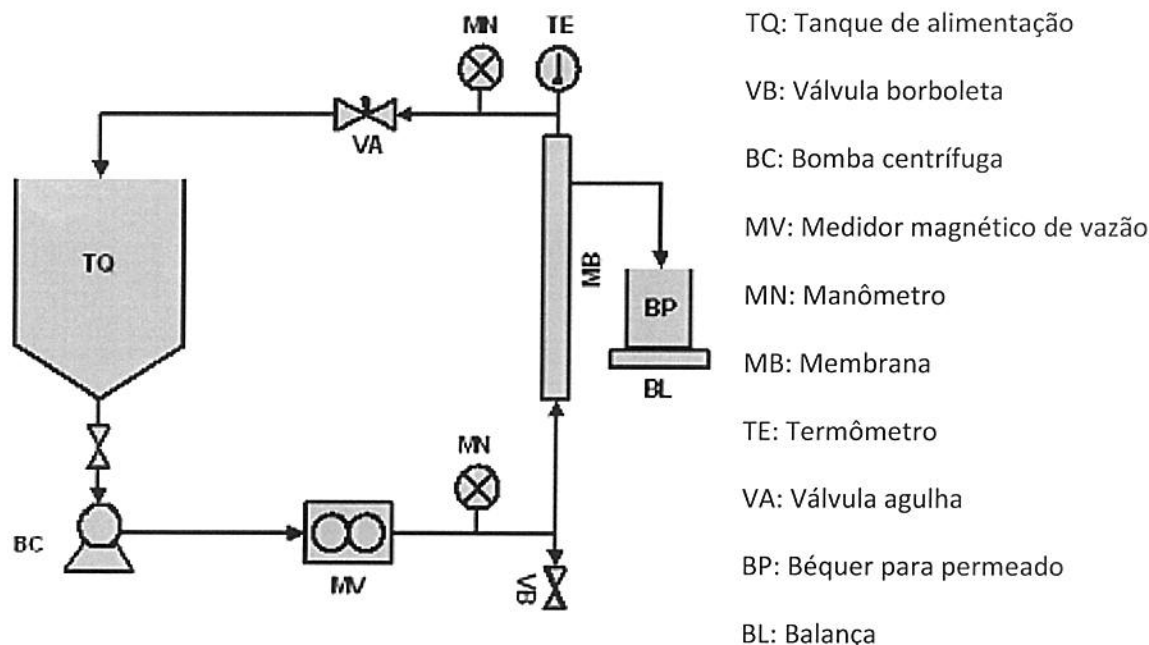


Figura 4.4: Figura do esquema da unidade piloto.

4.2 Métodos

4.2.1 Tratamento enzimático

O tratamento enzimático da polpa de caju foi realizado por ter sido relatado na literatura o efeito positivo com o uso deste tratamento sob o fluxo de permeado nos processos de filtração por membranas, pois ocorre a quebra de pectinas, materiais celulósicos e amiláceos, de acordo com Watanabe et al. (2006), Abdullah et al. (2007), Barato (2008) e Ongaratto (2009), que trabalharam com sucos de tamarindo, carambola, caju e pitanga, respectivamente. A degradação destes materiais causa em muitos casos uma redução da viscosidade e do teor de polpa.

A utilização de um *blend* enzimático, composto por enzimas pécnicas e celulósicas, foi proposto em razão de um estudo realizado por Barato (2008) que detectou através da microscopia ótica, que a polpa de caju é formada por aglomerados pécnicos que envolvem as fibras celulósicas, fato este que dificulta a

ação enzimática de hidrólise em partículas de celulose, ou seja, os aglomerados de pectina promovem um efeito protetor a estas fibras.

O tratamento enzimático foi realizado segundo um planejamento experimental fatorial completo 2^2 , composto por quatro pontos centrais e quatro axiais, totalizando 12 ensaios, que estudou a redução do teor de polpa e da viscosidade na polpa de caju comercial.

A Tabela 4.2 apresenta as variáveis e os respectivos níveis que foram estudados e a Tabela 4.3 apresenta a matriz do planejamento experimental.

Tabela 4.2: Variáveis independentes e níveis de variação do planejamento fatorial completo 2^2 .

Variável	Nível				
	-1,41	-1	0	1	1,41
Concentração de pectinase (mg/100g)	0	14,54	50	85,46	100
Concentração de celulase (mg/100g)	0	14,54	50	85,46	100

Tabela 4.3: Planejamento Experimental 2^2 em níveis codificados (valores reais).

Ensaio	Pectinase (mg/100g)	Celulase (mg/100g)
1	-1 (14,54)	-1 (14,54)
2	1 (85,46)	-1 (14,54)
3	-1 (14,54)	1 (85,46)
4	1 (85,46)	1 (85,46)
5	-1,41 (0)	0 (50)
6	1,41 (100)	0 (50)
7	0 (50)	-1,41 (0)
8	0 (50)	1,41 (100)
9	0 (50)	0 (50)
10	0 (50)	0 (50)
11	0 (50)	0 (50)
12	0 (50)	0 (50)

Primeiramente a polpa foi descongelada em banho termostático modelo NT281 (Nova Técnica, Piracicaba, SP) com temperatura e tempo controlados (35°C, 1h). O processo de hidrólise enzimática foi realizado em erlenmeyers de 250 mL, contendo 100g de polpa. A enzima foi adicionada conforme o planejamento proposto, e os erlenmeyers foram colocados em um agitador rotatório modelo TE-421 (Tecnal, Piracicaba, SP) sob temperatura e agitação controladas (30°C/150 RPM), durante 60 min. Ao final de cada ensaio foram realizadas as análises de teor de polpa e viscosidade.

Como a ação do tratamento enzimático foi realizada apenas nas pectinas e em materiais celulósicos e amiláceos presentes na polpa, os parâmetros físico-químicos não sofrem alterações significativas em seus valores com uso deste tratamento, conforme é constatado em estudos de Castro (2005), Clareto (2007) e Ongaratto (2009), por este motivo não foram realizadas análises físico-químicas na polpa hidrolizada.

4.2.2 Avaliação do desempenho das membranas

4.2.2.1 Preparação das amostras

Todos os procedimentos para descongelamento e tratamento da polpa foram de acordo com o descrito no item 4.2.1, com diferenças na quantidade de material utilizado (500g de polpa). Ao final do tratamento, a polpa foi aquecida em banho-maria até as condições da corrida (50°C) e então estava pronta a ser utilizada para a avaliação da membrana.

4.2.2.3 Procedimento experimental na célula de bancada

Para o estudo do desempenho da filtração foram avaliadas 6 membranas de diferentes materiais e massa molecular de corte, 2 tipos de polpas e um tratamento enzimático assim como a polpa sem esse tratamento, totalizando 17 experimentos, conforme Tabela 4.4.

Tabela 4.4: Experimentos realizados na escala de bancada.

Material da Membrana	Massa Molecular de Corte (kDa)	Polpa	Tratamento Enzimático
Polifluoreto de vinilideno (PVDF)	500	Comercial Comercial <i>In natura</i>	Não Celulase + Pectinase Não
Polietersulfona (PES)	150	Comercial Comercial <i>In natura</i>	Não Celulase + Pectinase Não
Polifluoreto de vinilideno (PVDF)	150	Comercial Comercial <i>In natura</i>	Não Celulase + Pectinase Não
Polietersulfona (PES)	30	Comercial Comercial <i>In natura</i>	Não Celulase + Pectinase Não
Celulose (CEL)	30	Comercial Comercial <i>In natura</i>	Não Celulase + Pectinase Não
Polietersulfona (PES)	1	Comercial <i>In natura</i>	Não Não

Após o preparo da polpa, pesou-se a quantidade de massa inicial de alimentação que foi de 400g, e então logo após a temperatura deste alcançar 50°C, que foi a temperatura do processo, a polpa foi adicionada dentro da célula encamisada, sendo que a temperatura do banho foi ajustada a 50°C. Logo após a rotação do agitador foi ajustada para 500 rpm e então realizado o ajuste da pressão a 2 bar (micro e ultra) e 10 bar (nanofiltração). Ao cair a primeira gota de permeado era então acionado o cronômetro, e a cada intervalo de tempo foi registrada a massa de permeado, coletada em béquer previamente tarado em balança semi-analítica. O fator de concentração mássico utilizado (definido pela Equação 3.3) foi igual a 1,5. O fluxo foi calculado de acordo com a Equação 3.1, obtendo-se para cada experimento os dados de fluxo de permeado *versus* tempo.

Todas as corridas foram realizadas em duplicata ou triplicata a fim de verificar a reprodutibilidade do processo.

Análises de cinzas, proteínas, açúcares totais, sólidos totais, sólidos solúveis pH, acidez titulável, taninos, ácido ascórbico, carotenóides e cor foram realizadas para as amostras da alimentação, permeado e retentado conforme descrito no item 4.3, sendo que a retenção foi calculada a partir da Equação 3.2. Os resultados obtidos foram tratados estatisticamente para verificar se houve diferença significativa utilizando o teste de Tukey com nível de confiança de 95%, com o auxílio do software Statistica, versão 7.0.

4.2.2.3 Procedimento experimental na planta piloto

A planta piloto foi utilizada em razão de apresentar as condições mais próximas aquelas que acontecem em uma operação em escala industrial.

Foi utilizada apenas a membrana de ultrafiltração de celulose de 30kDa, devido aos resultados observados após o estudo da unidade de bancada (item 4.2.2.2). Com essa membrana foram realizados dois experimentos: um utilizando a polpa comercial e outro com a polpa *in natura*. O preparo das amostras ocorreu de forma semelhante à utilizada para as corridas na célula de bancada. A polpa foi adicionada ao tanque de alimentação (10 kg), e logo após a polpa atingir a temperatura de processo (50°C), ligou-se a bomba e simultaneamente se ajustou os parâmetros de processo (pressão transmembrana e vazão). Ao cair a primeira gota de permeado acionou-se o cronômetro e a cada intervalo de tempo foi registrado a massa de permeado coletada em béquer previamente tarado até um fator de concentração igual a 1,5.

4.3 Análises físicas e físico-químicas

Foram realizadas análises físicas e físico-químicas de amostras da alimentação, retentado e permeado de experimentos com membranas de diferentes materiais e diâmetros de poros. Abaixo são apresentadas as análises realizadas e as metodologias utilizadas.

- Cor: Sistema Hunter, com leitura em colorímetro ColorQuest II, utilizando os parâmetros L* (luminosidade), que varia de 0 (escuro) a 100 (claro), a* , que varia de -80 (cor verde) a +100 (cor vermelha) e b* que varia de -100 (cor azul) a +70 (cor amarela);
- Cinzas: segundo método gravimétrico nº 940.26 da AOAC (1997);
- Proteína: segundo método Kjeldahl nº 920.152 da AOAC (1997);
- Açúcares redutores e totais: segundo métodos nº 952.35 e 952.36 da AOAC (1997);
- Sólidos totais: secagem em estufa segundo o método nº 920.151 da AOAC (1997);
- Sólidos solúveis: leitura direta em refratômetro segundo o método nº932.12 da AOAC (1997);
- Acidez titulável: titulação com NaOH segundo o método nº 942.15 da AOAC (1997) sendo expresso em ácido málico;
- pH: medida direta em potenciômetro, segundo o método nº 981.12 da AOAC (1997);
- Taninos: segundo o método utilizando Folin Denis, nº 952.03 da AOAC (1997);
- Ácido ascórbico: titulação com a solução 2,6-diclorofenolindofenol, segundo o método nº 43.065 da AOAC (1997);
- Carotenóides totais ($\mu\text{g/g}$ expressos em β -caroteno): quantificação por espectrofotometria de absorção no ultravioleta visível, utilizando espectrofotômetro Beckman DU-70 (Beckman, Loveland, USA), segundo método descrito por Rodriguez-Amaya (1999);

- Teor de polpa: centrifugação da polpa por 20 min a 2000 rpm, segundo metodologia descrita por Reed et al. (1986);
- Viscosidade: medida do sobrenadante centrifugado após a análise do teor de polpa. Foi utilizado um reômetro Brookfield com geometria de cilindros coaxiais modelo RV-LVIII, acoplado a um banho Brookfield, modelo TC500. Nos ensaios, realizados em triplicata, usou-se o spindle SC4-18 e câmara 13RP. A viscosidade foi medida a 20°C com taxa de deformação de 80s⁻¹.

Os resultados obtidos foram tratados estatisticamente para verificar se houve diferença significativa entre as amostras, utilizando o teste de Tukey com nível de confiança de 95%.

4.4 Modelagem Matemática

Os dados experimentais de fluxo de permeado das corridas realizadas com a membrana de celulose de 30 KDa, utilizando a polpa *in natura* e a Comercial, com e sem tratamento enzimático em unidade de bancada e piloto, foram ajustados aos modelos matemáticos de Breslau & Kilcullen (1977) e de renovação da superfície, conforme descrito no item 3.3.4.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Características físico-químicas da matéria-prima

As características físico-químicas das polpas de caju utilizadas neste trabalho estão apresentadas na Tabela 5.1. Uma delas foi extraída a partir do pedúnculo no laboratório, a qual será denominada de “Polpa *in natura*”. A outra polpa utilizada foi a polpa congelada comercial da marca DeMarchi, será denominada de “Polpa Comercial”.

Tabela 5.1: Características físico-químicas das polpas de caju utilizadas como matéria-prima*.

Determinações	Polpa <i>in natura</i> ¹	Polpa Comercial ²
Taninos (mg/100g)	513,02 ± 0,01	389,04 ± 0,00
Ácido ascórbico (mg/100g)	162,83 ± 0,37	164,27 ± 1,07
pH	4,34 ± 0,02	4,16 ± 0,02
Carotenóides totais ³ (µg/g)	3,46 ± 0,07	5,37 ± 0,25
Sólidos totais (%)	11,90 ± 0,01	13,70 ± 0,07
Sólidos solúveis (°Brix)	11,40 ± 0,10	12,20 ± 0,10
Viscosidade ⁴ (mPa.s)	n.d	1,87 ± 0,03
Teor de polpa (%)	24,5 ± 0,03	20,69 ± 0,04
L*	60,49 ± 0,06	59,24 ± 0,02
a*	-2,64 ± 0,04	0,07 ± 0,01
b*	16,27 ± 0,06	27,15 ± 0,07
Acidez total ⁵ (%)	0,29 ± 0,00	0,43 ± 0,01
Proteína (%)	0,57 ± 0,02	0,36 ± 0,01
Açúcares totais (%)	9,42 ± 0,12	10,71 ± 0,29
Açúcares redutores (%)	n.d.	10,30 ± 1,18
Cinzas (%)	0,28 ± 0,05	0,40 ± 0,11

* média em triplicata ± desvio padrão

¹ Polpa processada no juicer

² Polpa congelada processada pela empresa Comercial

³ µg/g expressos em β-caroteno

⁴ medida do sobrenadante da análise do teor de polpa

⁵ g/100g expressa em ácido málico

L*, a*, b*: parâmetros de cor

n.d.: não determinado

Através da análise dos resultados das determinações realizadas para as polpas, percebe-se que, apesar de algumas diferenças, elas apresentaram características semelhantes às relatadas pela literatura. Isso pode ser devido às diversas variedades do fruto, a condição climática, o estágio de maturação, os procedimentos de cultivo e de colheita (AWAD, 1993; CHITARRA & CHITARRA, 2005).

Os valores encontrados para taninos para a polpa *in natura* e para a polpa Comercial foram, respectivamente, 513,02 e 389,04 mg/100g. Estes valores foram superiores aos encontrados por Agostini-Costa et al. (2002), que, no seu estudo, encontraram 372 mg/100g. Já estes valores estão dentro da faixa mostrada por Menezes & Alves (1995), que varia de 210 até 880 mg/100g. Conclui-se então, que o teor de fenólicos é função da região de cultivo, do estágio de maturação e da variedade.

Para a polpa *in natura* e a polpa Comercial, o pH foi 4,34 e 4,16 e a acidez total 0,29 e 0,43%, respectivamente, sendo expressa em ácido málico em função deste ser o mais comumente encontrado no caju. Estes valores estão dentro do encontrado por Oliveira et al. (1999), que determinou um pH de 4,11 e acidez total de 0,39% para uma polpa congelada comercial e Castro et al. (2007), que relatou uma acidez total de 0,23%, assim como Souza Filho et al. (1999) que determinou um pH de 4,32, ambos para a polpa *in natura*.

O teor de ácido ascórbico foi de 162,83 mg/100g para a polpa *in natura* e de 164,27 mg/100g para a polpa Comercial. Valores estes inferiores aos encontrados por Ciani et al. (2005) para a polpa congelada (189 mg/100g), mas dentro da faixa (112 a 170 mg/100g) e superiores (127 mg/100g) aos encontrados por Lima et al. (2007) e Souza Filho et al. (1999) respectivamente, para a polpa *in natura*.

O teor de polpa encontrado para a polpa *in natura* foi maior que a polpa Comercial, mostrando assim o aspecto mais turvo e uma maior tendência a sedimentação da polpa *in natura*.

Abreu (2007), analisando pedúnculos de clone de cajueiro anão precoce encontrou valores médios de carotenóides totais variando entre 2,2 a 9,3 $\mu\text{g/g}$, sendo portanto valores dentro da faixa encontrada neste estudo.

5.2 Efeito do tratamento enzimático na polpa de caju

O tratamento enzimático da polpa de caju foi realizado tendo por base vários trabalhos da literatura (WATANABE et al., 2006; ABDULLAH et al., 2007; BARATO, 2008; ONGARATTO, 2009).

A Tabela 5.2 mostra os valores reais e codificados das variáveis independentes (concentração de pectinase e de celulase) e os valores obtidos das respostas teor de polpa e viscosidade.

Tabela 5.2: Valores das variáveis independentes (reais e codificados – concentração de pectinase e celulase) e dependentes (teor de polpa e viscosidade) utilizadas no planejamento fatorial completo 2^2 .

Ensaio	Pectinase (mg/100g)	Celulase (mg/100g)	Teor de Polpa (%)	Viscosidade (Cp)
1	-1 (14,54)	-1 (14,54)	20,34 $\pm$ 0,5	1,91 $\pm$ 0,01
2	1 (85,46)	-1 (14,54)	19,01 $\pm$ 0,34	1,77 $\pm$ 0,01
3	-1 (14,54)	1 (85,46)	20,98 $\pm$ 0,69	1,78 $\pm$ 0,01
4	1 (85,46)	1 (85,46)	20,05 $\pm$ 0,27	1,86 $\pm$ 0,03
5	-1,41 (0)	0 (50)	23,13 $\pm$ 0,63	1,95 $\pm$ 0,01
6	1,41 (100)	0 (50)	18,67 $\pm$ 0,13	1,82 $\pm$ 0,0
7	0 (50)	-1,41 (0)	19,22 $\pm$ 0,23	1,87 $\pm$ 0,02
8	0 (50)	1,41 (100)	20,03 $\pm$ 0,15	1,82 $\pm$ 0,04
9	0 (50)	0 (50)	19,81 $\pm$ 0,15	1,78 $\pm$ 0,02
10	0 (50)	0 (50)	20,42 $\pm$ 0,13	1,81 $\pm$ 0,03
11	0 (50)	0 (50)	20,16 $\pm$ 0,11	1,88 $\pm$ 0,02
12	0 (50)	0 (50)	19,81 $\pm$ 0,06	1,86 $\pm$ 0,03

A Tabela 5.3 apresenta os coeficientes de regressão obtidos para o modelo codificado para a resposta teor de polpa (%) e a Tabela 5.4 para a resposta viscosidade. Os parâmetros estatisticamente significativos a 95% de confiança estão apresentados em negrito.

Tabela 5.3: Coeficientes de regressão para a resposta teor de polpa.

Efeitos	Coef. de regressão (%)	Erro padrão (%)	t (6)	P
Média	20,05	0,32	63,16	0,00
Pectinase (L)	-1,07	0,22	-4,77	0,00
Pectinase (Q)	0,38	0,25	1,52	0,18
Celulase (L)	0,35	0,22	1,57	0,16
Celulase (Q)	-0,25	0,25	-1,01	0,34
Pectinase (L) x Celulase (L)	0,09	0,31	0,31	0,76
R ² =0,68				

Tabela 5.4: Coeficientes de regressão para a resposta viscosidade.

Efeitos	Coef. de regressão (%)	Erro padrão (%)	t (6)	P
Média	1,83	0,02	79,77	0,00
Pectinase (L)	-0,02	0,01	-1,83	0,16
Pectinase (Q)	0,01	0,01	0,87	0,44
Celulase (L)	-0,01	0,01	-0,81	0,47
Celulase (Q)	-0,00	0,01	-0,08	0,93
Pectinase (L) x Celulase (L)	0,05	0,02	2,44	0,09
R ² =0,44				

A partir dos parâmetros estatisticamente significativos, observados nas Tabelas 5.3 e 5.4, foram construídas as Equações 5.1 e 5.2 que representam o modelo estatístico.

$$\text{Teor de Polpa (\%)} = 20,05 - 1,07P \quad (5.1)$$

$$\text{Viscosidade (cP)} = 1,83 \quad (5.2)$$

Onde P corresponde ao valor codificado da concentração de pectinase.

Para validação dos modelos apresentados pelas Equações 5.1 e 5.2, é necessário realizar a análise de variância (ANOVA) do processo, mostrada nas Tabelas 5.5 e 5.6.

Tabela 5.5: Análise de variância para a resposta teor de polpa.

Fontes de Variação	SQ	GL	QM	Fcalc	Ftabelado	p-valor
Regressão Linear	11,91	5	2,38	5,95	4,39	0,002
Resíduos	2,41	6	0,40			
Falta de Ajuste	2,15	3	0,71			
Erro Puro	0,26	3	0,09			
Total	14,32	11				

Tabela 5.6: Análise de variância para a resposta viscosidade.

Fontes de Variação	SQ	GL	QM	Fcalc	Ftabelado	p-valor
Regressão Linear	0,024	5	0,0048	3	4,39	0,163
Resíduos	0,01	6	0,0016			
Falta de Ajuste	0,004	3	0,0013			
Erro Puro	0,006	3	0,002			
Total	0,034	11				

Para que um modelo estatística tenha validade ele deve possuir um coeficiente de correlação elevado e um quociente entre o F calculado e o F tabelado superior a 3 vezes (RODRIGUES & IEMMA, 2005). A partir da análise da Tabela 5.5 esta mostra que o quociente entre os valores de F foi de apenas 1,3 vezes invalidando assim o modelo. Ainda a Tabela 5.6 mostra que o F calculado foi inferior ao tabelado, também invalidando o modelo. Além disso os coeficientes de correlação foram baixos: 0,68 e 0,44.

O efeito da hidrólise, entretanto, foi avaliado pela redução do teor de polpa e da viscosidade. Na maioria dos ensaios realizados, houve uma redução no teor de polpa e na viscosidade, decorrente da quebra de macromoléculas como pectina e celulose (Tabela 5.7).

Tabela 5.7: Teor de polpa (%) e viscosidade (cP) da polpa Comercial antes e após a hidrólise enzimática¹.

Ensaio [pectinase] / [celulase] (mg/100g)	Teor de Polpa (%)	Viscosidade (cP)
Polpa	20,69^a ± 0,04	1,87^a ± 0,03
14,54/14,54	20,34 ^a ± 0,5	1,91 ^a ± 0,01
85,46/14,54	19,01 ^b ± 0,34	1,77 ^b ± 0,01
14,54/85,46	20,98 ^a ± 0,69	1,78 ^b ± 0,01
85,46/85,46	20,05 ^a ± 0,27	1,86 ^a ± 0,03
0/50	23,13 ^b ± 0,63	1,95 ^b ± 0,01
100/50	18,67 ^b ± 0,13	1,82 ^a ± 0,0
50/0	19,22 ^b ± 0,23	1,87 ^a ± 0,02
50/100	20,03 ^a ± 0,15	1,82 ^a ± 0,04
50/50	19,81 ^a ± 0,15	1,78 ^b ± 0,02
50/50	20,42 ^a ± 0,13	1,81 ^a ± 0,03
50/50	20,16 ^a ± 0,11	1,88 ^a ± 0,02
50/50	19,81 ^a ± 0,06	1,86 ^a ± 0,03

¹. Média de 3 repetições ± desvio padrão / médias com expoentes diferentes em cada ensaio em relação à polpa indicam diferença significativa (p≤0,05).

A eficiência do tratamento enzimático sobre o teor de polpa e viscosidade da polpa de caju pode ser verificado ao se comparar os valores obtidos em cada ensaio com os valores iniciais do teor de polpa e viscosidade. Castro (2005) relatou uma redução de 20% no teor de polpa de caju e de 78% na viscosidade, quando utilizou 1000 ppm da enzima Pectinex Ultra SP-L a 30 °C por 60 min. Em outro estudo com polpa de caju, Cianci et al. (2005) observaram uma redução não significativa tanto no teor de polpa quanto na viscosidade da polpa, tratada com 0,025% (v/v) de Clarex a 30 °C por 60 minutos.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 5.7, observa-se que alguns ensaios apresentaram diferença significativa ($p \leq 0,05$) tanto no teor de polpa, quanto na viscosidade quando comparados aos valores iniciais. Levando em consideração que o objetivo do tratamento enzimático da polpa de caju foi reduzir o teor de polpa e a viscosidade, visando a sua utilização no processo de filtração por membranas, optou-se pelo ensaio em que apresentou diferença significativa e redução, com relação ao valor inicial, para os dois parâmetros estudados. Este ensaio, que deu continuidade ao estudo, continha 85,46 mg/100g de concentração de pectinase e 14,54 mg/100g de celulase.

5.3 Filtração por Membranas: Micro, Ultra e Nanofiltração

5.3.1 Célula de Bancada

5.3.1.1 Análise dos produtos obtidos

A polpa de caju comercial usada como alimentação no processo de filtração por membranas e os produtos obtidos (retentado e permeado) ao atingir o fator de concentração igual a 1,5 são mostrados na Figura 5.1. O retentado apresentou-se opaco e de cor amarela mais escuro que a alimentação. O permeado límpido possui cor amarela clara.



Figura 5.1: Fotografias da alimentação e dos produtos obtidos (retentado e permeado).

Nas Tabelas 5.8, 5.9 e 5.10 estão apresentados os resultados das análises físico-químicas das amostras de alimentação, retentado e permeado obtidas para os experimentos realizados com todas as membranas de polifluoreto de vinilideno de 500kDa (PVDF500) e de 150kDa (PVDF150), de polietersulfona de 150kDa (PES150) e de 30kDa (PES30) e de celulose de 30kDa (CEL30) para polpa sem tratamento enzimático. Ainda, na Tabela 5.9 E 5.10 está presente a concentração de ácido ascórbico, de taninos e proteínas obtidos nos produtos da corrida de nanofiltração utilizando a membrana de polietersulfona de 1kDa (PES1).

Os parâmetros de cor (a^* , b^* e L^*) que são apresentados na Tabela 5.8, apresentaram cor semelhante para todas as membranas quando se comparam os resultados para alimentação, retentado e permeado.

O retentado apresentou luminosidade (parâmetro L^*) de cerca de 62, em uma escala de 0 a +100, ou seja, do claro ao escuro. Houve um ligeiro aumento do retido em relação à alimentação. O parâmetro a^* , que varia de -80 a +100, onde os valores negativos referem-se à intensidade da cor verde e os valores positivos referem-se a intensidade da cor vermelha, foi cerca de +2, para a Comercial, e cerca de -0,2 para a polpa *in natura*, sendo, em todas as corridas, superior ao valor da alimentação. Barato (2008) estudando a clarificação do suco de caju a partir de polpa comercial através de ultrafiltração, utilizando um fator de

concentração igual a 2, observou valores semelhantes aos encontrados neste trabalho. O parâmetro b^* , que varia de -100 a +70, onde para valores positivos, representa a cor amarela e para valores negativos a cor azul, foi levemente maior no retido do que na alimentação (com exceção do ensaio com polpa Comercial PES 30), mostrando a cor amarelada mais escura predominante no retido.

O permeado possui uma luminosidade intensa, com L^* em torno de 97, bem próximo ao limite superior de 100, e cor amarela segundo os valores positivos do parâmetro b^* (polpa Comercial), porém ao compararmos com os valores obtidos para a alimentação e retentado, verificamos que a redução da intensidade da cor amarela foi em torno de 95%. Altos valores de luminosidade também foram observados por Ongaratto (2009) e Campos et al. (2002), que estudaram a ultra e microfiltração do suco de pitanga e caju, respectivamente. O parâmetro a^* , apresentou valores negativos, indicando uma leve intensidade da cor verde.

A perda de coloração no permeado indica que houve uma retenção dos compostos responsáveis pela cor, como os carotenóides e compostos fenólicos (BARATO, 2008).

Em nenhum experimento houve permeação de carotenóides pela membrana, ou seja, ocorreu 100% de retenção. Isso demonstra a importância de se estudar possíveis aplicações do retentado obtido, devido ao seu elevado valor funcional.

Silva et al. (2005) também obtiveram 100% de retenção de carotenóides na clarificação de suco de maracujá utilizando membranas tubulares de PES, com tamanho médio de poro igual a $0,3\ \mu\text{m}$ e área filtrante de $0,05\text{m}^2$. Comportamento semelhante foi observado por Seck (2003) e Ongaratto (2009) durante micro e ultrafiltração do suco de laranja e pitanga, respectivamente.

A Tabela 5.9 mostra os resultados das análises de cinzas, açúcares totais, sólidos totais, sólidos solúveis, pH, acidez titulável e ácido ascórbico da

alimentação e das frações retentado e permeado de todos os experimentos realizados sem tratamento enzimático na polpa.

Analisando as frações obtidas nota-se que praticamente não há diferença significativa, a 5% de significância e as diferenças encontradas, em algumas amostras, podem ser atribuídas a pequenas variações de composição da matéria-prima.

O teor de cinzas representa os minerais presentes no caju como cálcio, ferro e fósforo. Não houve retenção de cinzas por nenhuma das membranas de micro e ultrafiltração estudadas. Barato (2008) reteve 82% de cinzas utilizando membrana de nanofiltração, já com membranas de micro e ultra não houve retenção.

Com relação à concentração de açúcares totais também, assim como as cinzas, não houve retenção por nenhuma das membranas estudadas. Isso é bem interessante quando o objetivo é clarificar o suco de caju, pois, em termos sensoriais, o permeado se apresenta com uma leve doçura, uma característica desejável do ponto de vista do consumidor. Barato (2008) ao clarificar o suco de caju obteve um permeado com aroma e sabor característico do caju, doce e de baixa adstringência.

As proteínas foram retidas por todas as membranas (Tabela 5.10), para a ultrafiltração o maior destaque foi a membrana CEL30 com a polpa Comercial (72%) e a PVDF150 com a polpa *in natura* (62%). Para a nanofiltração houve retenção de 78,8% com a polpa Comercial e de 64% para a polpa *in natura*. Houve sempre maior retenção quando se utilizou a polpa Comercial do que com a polpa *in natura*.

Tabela 5.8: Resultados para análise de cor das alimentações e dos produtos obtidos.

	Parâmetro L*			Parâmetro a*			Parâmetro b*		
	A	R	P	A	R	P	A	R	P
COMERCIAL	PVDF 500	61,97 ± 0,03 ^a	97,94 ± 0,03 ^a		0,44 ± 0,03 ^a	-0,12 ± 0,02 ^a		28,42 ± 0,05 ^a	0,66 ± 0,01 ^a
	PVDF 150	61,70 ± 0,05 ^a	98,55 ± 0,03 ^b		1,94 ± 0,02 ^b	-0,03 ± 0,01 ^b		33,31 ± 0,02 ^b	0,65 ± 0,02 ^a
	PES 150	59,24 ± 0,02 ^a	61,13 ± 0,02 ^b	0,07 ± 0,01 ^a	1,96 ± 0,02 ^b	-0,17 ± 0,03 ^c	27,15 ± 0,07 ^a	33,18 ± 0,01 ^b	0,37 ± 0,01 ^b
	CEL 30	61,96 ± 0,02 ^a	98,55 ± 0,03 ^b		2,14 ± 0,01 ^c	0,05 ± 0,01 ^d		33,54 ± 0,20 ^c	0,65 ± 0,02 ^a
	PES 30	55,91 ± 0,01 ^c	98,46 ± 0,02 ^b		0,43 ± 0,02 ^a	-0,26 ± 0,03 ^e		24,94 ± 0,03 ^d	0,64 ± 0,02 ^a
IN NATURA	PVDF 500	64,56 ± 0,21 ^d	98,04 ± 0,03 ^{ad}		-1,66 ± 0,01 ^d	-0,14 ± 0,02 ^{ac}		19,96 ± 0,02 ^e	-0,08 ± 0,00 ^c
	PVDF 150	62,92 ± 0,05 ^e	97,73 ± 0,01 ^e		-1,66 ± 0,01 ^d	-0,12 ± 0,01 ^a		19,84 ± 0,06 ^e	-0,35 ± 0,02 ^d
	PES 150	60,49 ± 0,06 ^b	62,90 ± 0,09 ^e	-2,64 ± 0,04 ^b	-1,73 ± 0,03 ^e	-0,02 ± 0,00 ^b	16,27 ± 0,06 ^b	19,81 ± 0,06 ^e	0,16 ± 0,03 ^e
	CEL 30	64,53 ± 0,03 ^d	94,23 ± 0,15 ^f		-1,64 ± 0,01 ^d	-0,25 ± 0,01 ^e		20,38 ± 0,06 ^f	-1,05 ± 0,03 ^f
	PES 30	64,73 ± 0,25 ^d	96,80 ± 0,06 ^c		-1,56 ± 0,03 ^f	-0,22 ± 0,02 ^e		20,49 ± 0,06 ^f	-0,14 ± 0,02 ^g

Letras diferentes (na mesma coluna) significam diferença estatística, com 95% de confiabilidade.

A = Alimentação, R = Retentado, P = Permeado

Tabela 5.9: Composição físico-química das alimentações e dos produtos obtidos.

	Cinzas (%)			Açúcares Totais (%)		
	A	R	P	A	R	P
COMERCIAL	PVDF 500	0,30 ± 0,02 ^{ab}	0,28 ± 0,34 ^a		10,17 ± 0,06 ^a	11,37 ± 0,07 ^a
	PVDF 150	0,22 ± 0,05 ^a	0,26 ± 0,11 ^a		7,28 ± 3,76 ^a	10,49 ± 0,30 ^a
	PES 150	0,40 ± 0,11 ^a	0,24 ± 0,02 ^a	10,46 ± 1,29 ^a	9,64 ± 1,11 ^a	11,25 ± 0,40 ^a
	CEL 30	0,40 ± 0,01 ^b	0,44 ± 0,07 ^a		9,79 ± 1,68 ^a	10,81 ± 0,08 ^a
	PES 30	0,31 ± 0,05 ^{ab}	0,48 ± 0,03 ^a		10,50 ± 0,62 ^a	10,79 ± 0,08 ^a
IN NATURA	PVDF 500	0,26 ± 0,00 ^{ab}	0,27 ± 0,04 ^a		9,33 ± 0,39 ^a	9,28 ± 0,61 ^a
	PVDF 150	0,30 ± 0,07 ^{ab}	0,52 ± 0,29 ^a		10,10 ± 0,07 ^a	10,29 ± 0,16 ^a
	PES 150	0,28 ± 0,05 ^b	0,29 ± 0,05 ^{ab}	9,42 ± 0,12 ^a	10,13 ± 0,33 ^a	10,26 ± 0,36 ^a
	CEL 30	0,24 ± 0,08 ^a	0,30 ± 0,78 ^a		10,89 ± 1,03 ^a	10,69 ± 0,34 ^a
	PES 30	0,13 ± 0,00 ^a	0,24 ± 0,02 ^a		9,42 ± 0,22 ^a	9,95 ± 0,40 ^a

Letras diferentes (na mesma coluna) significam diferença estatística, com 95% de confiabilidade.

A = Alimentação, R = Retentado, P = Permeado

Continuação

Tabela 5.9

	Sólidos Totais (%)				Sólidos Solúveis (°Brix)		
	A	R	P	Retenção (%)	A	R	P
COMERCIAL	PVDF 500	14,05 ± 0,03 ^{ab}	11,37 ± 0,05 ^{ac}	19,07		11,86 ± 0,03 ^{ac}	11,06 ± 0,02 ^a
	PVDF 150	14,80 ± 0,09 ^a	11,84 ± 0,16 ^{ab}	19,99		11,94 ± 0,05 ^a	11,42 ± 0,02 ^a
	PES 150	13,70 ± 0,07 ^a	14,91 ± 0,10 ^a	18,26	12,20 ± 0,05 ^a	12,24 ± 0,05 ^a	11,95 ± 0,06 ^b
	CEL 30		14,39 ± 0,67 ^{ab}	19,63		12,8 ± 0,05 ^b	11,8 ± 0,09 ^{ab}
	PES 30		13,78 ± 0,07 ^b	17,78		12,07 ± 0,04 ^a	11,27 ± 0,04 ^a
IN NATURA	PVDF 500	11,94 ± 0,64 ^c	10,28 ± 0,10 ^d	13,91		11,40 ± 0,08 ^{cd}	10,75 ± 0,14 ^{ac}
	PVDF 150	12,68 ± 0,02 ^c	10,45 ± 0,13 ^{cd}	17,62		11,00 ± 0,13 ^d	10,60 ± 0,05 ^c
	PES 150	11,87 ± 0,01 ^b	12,53 ± 0,06 ^c	17,08	11,40 ± 0,10 ^b	11,00 ± 0,40 ^d	10,00 ± 0,50 ^c
	CEL 30		12,68 ± 0,11 ^c	15,69		12,00 ± 0,03 ^a	10,25 ± 0,09 ^c
	PES 30		12,42 ± 0,01 ^c	15,15		11,00 ± 0,04 ^d	10,50 ± 0,10 ^c

Letras diferentes (na mesma coluna) significam diferença estatística, com 95% de confiabilidade.

A = Alimentação, R = Retentado, P = Permeado

Continuação

Tabela 5.9

	Acidez total (%) ¹			pH			Ácido ascórbico (mg/100g)			Retenção (%)
	A	R	P	A	R	P	A	R	P	
COMERCIAL	PVDF 500	0,45 ± 0,00 ^a	0,35 ± 0,01 ^a		4,07 ± 0,01 ^a	4,12 ± 0,01 ^a		162,40 ± 0,29 ^{ac}	165,88 ± 1,16 ^a	0,00
	PVDF 150	0,43 ± 0,01 ^b	0,37 ± 0,00 ^b		4,05 ± 0,01 ^a	4,10 ± 0,02 ^a		158,96 ± 0,82 ^{ab}	150,11 ± 0,97 ^b	5,57
	PES 150	0,43 ± 0,01 ^a	0,40 ± 0,00 ^c	4,16 ± 0,01 ^a	4,08 ± 0,01 ^a	4,04 ± 0,01 ^a		156,70 ± 1,03 ^b	158,34 ± 0,70 ^c	0,00
	CEL 30	0,46 ± 0,01 ^c	0,39 ± 0,00 ^c		4,21 ± 0,01 ^b	4,19 ± 0,05 ^{ac}	164,27 ± 1,07 ^a	164,59 ± 0,21 ^c	160,34 ± 0,19 ^{ac}	2,58
	PES 30	0,40 ± 0,01 ^d	0,34 ± 0,00 ^d		4,03 ± 0,01 ^a	4,02 ± 0,03 ^a		164,18 ± 1,78 ^c	159,75 ± 0,25 ^{ac}	2,70
	PES1							194,86 ± 3,30 ^d	69,57 ± 0,88 ^d	64,30
IN NATURA	PVDF 500	0,29 ± 0,00 ^e	0,24 ± 0,01 ^e		4,41 ± 0,02 ^c	4,35 ± 0,02 ^b		163,33 ± 1,91 ^c	159,12 ± 7,05 ^c	2,58
	PVDF 150	0,31 ± 0,00 ^f	0,26 ± 0,00 ^f		4,30 ± 0,05 ^b	4,30 ± 0,17 ^b		163,63 ± 0,54 ^c	159,48 ± 1,06 ^c	2,53
	PES 150	0,29 ± 0,00 ^b	0,25 ± 0,00 ^e	4,34 ± 0,01 ^b	4,35 ± 0,02 ^d	4,33 ± 0,01 ^c		166,04 ± 0,20 ^c	160,92 ± 0,78 ^{ac}	3,08
	CEL 30	0,29 ± 0,00 ^{ef}	0,25 ± 0,00 ^e		4,33 ± 0,02 ^d	4,33 ± 0,02 ^c	162,83 ± 0,37 ^a	166,89 ± 0,39 ^c	165,08 ± 0,62 ^{ac}	1,08
	PES 30	0,29 ± 0,00 ^{ef}	0,25 ± 0,00 ^{ef}		4,39 ± 0,01 ^{cd}	4,41 ± 0,02 ^{bc}		163,36 ± 2,25 ^c	173,70 ± 0,67 ^e	0,00
	PES1							183,56 ± 0,78 ^e	144,82 ± 0,38 ^b	21,10

Letras diferentes (na mesma coluna) significam diferença estatística, com 95% de confiabilidade.

A = Alimentação, R = Retentado, P = Permeado

¹ g/100g expressa em ácido málico

Tabela 5.10: Concentração e retenção de taninos e de proteína.

	A	Taninos (mg/100g)		Retenção (%)	A	Proteína (%)		Retenção (%)
		R	P			R	P	
COMERCIAL	PVDF 500	385,35 ± 0,00 ^a	330,92 ± 0,00 ^a	14,12		0,52 ± 0,20 ^a	0,18 ± 0,01 ^a	65,38
	PVDF 150	408,02 ± 0,00 ^{ab}	276,29 ± 0,00 ^b	32,29		0,48 ± 0,06 ^a	0,17 ± 0,01 ^a	64,58
	PES 150	427,07 ± 0,00 ^b	285,62 ± 1,06 ^b	33,12	0,36 ± 0,01 ^a	0,52 ± 0,03 ^a	0,20 ± 0,08 ^a	61,53
	CEL 30	389,04 ± 0,00 ^a	486,75 ± 0,00 ^{cd}	40,44		0,50 ± 0,01 ^a	0,14 ± 0,01 ^a	72,00
	PES 30	491,12 ± 0,00 ^c	330,93 ± 0,00 ^a	32,62		0,42 ± 0,16 ^a	0,21 ± 0,01 ^a	50,00
	PES 1	423,87 ± 0,01 ^b	191,78 ± 0,02 ^c	54,75		0,52 ± 0,01 ^a	0,11 ± 0,01 ^a	78,84
IN NATURA	PVDF 500	522,33 ± 0,02 ^e	347,40 ± 0,48 ^a	29,44		0,60 ± 0,12 ^a	0,24 ± 0,02 ^a	60,41
	PVDF 150	508,15 ± 0,04 ^{ce}	375,60 ± 0,01 ^d	26,09		0,66 ± 0,05 ^a	0,25 ± 0,05 ^a	62,12
	PES 150	458,59 ± 0,02 ^{df}	388,73 ± 0,02 ^d	15,23		0,52 ± 0,01 ^a	0,21 ± 0,01 ^a	59,61
	CEL 30	513,02 ± 0,01 ^b	527,46 ± 0,02 ^e	25,41	0,57 ± 0,02 ^b	0,56 ± 0,01 ^a	0,24 ± 0,01 ^a	57,14
	PES 30	466,83 ± 0,00 ^{cf}	350,54 ± 0,01 ^a	24,91		0,51 ± 0,04 ^a	0,24 ± 0,01 ^a	52,94
	PES 1	526,92 ± 0,02 ^e	335,59 ± 0,01 ^a	36,31		0,53 ± 0,04 ^a	0,19 ± 0,01 ^a	64,15

Letras diferentes (na mesma coluna) significam diferença estatística, com 95% de confiabilidade.

A = Alimentação, R = Retentado, P = Permeado

Todas as membranas apresentaram uma retenção média de sólidos totais em torno de 17%. O retentado se apresentou de forma mais viscosa que a alimentação, com características de um gel, provavelmente porque os principais sólidos retidos são polissacarídeos (celulose e pectina).

A medida do teor de sólidos solúveis é de grande importância para a indústria de suco de frutas, visto que é este teor que determina a quantidade a ser adicionada de açúcares ao suco. Todas as membranas apresentaram baixa retenção de sólidos solúveis, cuja medida está relacionada com a quantidade de açúcares.

Comparando os resultados de acidez total e pH das amostras de retentado e permeado, percebe-se que no processo de micro e ultrafiltração das duas polpas de caju, ocorreu uma pequena concentração de ácidos não-dissociados. Porém isso não alterou a concentração de íons hidrogênio, visto que o retentado apresentou a maior concentração de ácidos quando comparado com o permeado, enquanto o pH foi praticamente o mesmo em ambas frações. Este mesmo comportamento foi verificado com suco de pêssego (SANTIN, 2004), tamarindo (WATANABE, 2006) e pitanga (ONGARATTO, 2009).

A Tabela 5.9 também apresenta a concentração de ácido ascórbico (vitamina C) encontrada em cada uma das frações e a respectiva retenção obtida em cada corrida. Nota-se que no processo de micro e ultrafiltração o índice de retenção é muito baixo, principalmente quando se utilizou a polpa *in natura*. Já no processo de nanofiltração se atingiu índices de 64% utilizando a polpa Comercial e de 21% utilizando a polpa *in natura*. A dificuldade em se conseguir reter a vitamina C está no fato que ela é hidrossolúvel, passando facilmente pelos poros da membrana.

Ongaratto (2009) também obteve baixos índices de retenção de vitamina C ao estudar a clarificação do suco de pitanga, utilizando membranas poliméricas de massa molecular de corte entre 30 e 500 kDa. Cassano et al. (2006) também

obtiveram baixos índices de retenção na ultrafiltração de suco de kiwi com uma membrana de PVDF de 15 kDa.

De acordo com a Tabela 5.10, a retenção de taninos variou entre 14 a 54%, sendo que as corridas realizadas com a polpa Comercial apresentaram a maior retenção.

Os taninos são polifenóis de elevada massa molecular (0,5 a 3 kDa). Em baixas concentrações protéicas os polifenóis se ligam a superfície das moléculas de proteínas formando uma camada hidrofóbica, gerando uma estrutura de maior massa molecular (GAONKAR & McPHERSON, 2006). Por este motivo, a retenção de taninos esta relacionada com a retenção de proteínas.

5.3.1.2 Fluxo de permeado

Micro, Ultra e Nanofiltração da polpa Comercial e da polpa in natura

A Tabela 5.11 mostra os resultados dos fluxos de permeado quando o fator de concentração foi igual a 1,5 para os processos de micro, ultra e nanofiltração da polpa Comercial e da polpa *in natura*.

Tabela 5.11: Fluxo de permeado a FC = 1,5.

Fluxo de Permeado (kg/hm ²)	POLPA COMERCIAL	POLPA IN NATURA
PVDF500	11,99	163,58
PVDF150	15,54	120,27
PES150	12,42	94,39
CEL30	15,56	119,97
PES30	10,5	148,6
PES1	1,56	5,57

O maior fluxo de permeado da polpa *in natura* quando comparado com o permeado da polpa Comercial pode ser explicado por características bem

particulares de cada polpa. O teor de material em suspensão na polpa Comercial é inferior ao da polpa *in natura* e o tamanho das partículas da polpa *in natura* são maiores que as da polpa Comercial quando analisados visualmente. O que a princípio poderia causar um problema se tornou benéfico ao fluxo. Como a velocidade de escoamento é tangencial, este material em suspensão e de maior tamanho acaba arrastando as partículas menores e mais propensas em obstruir os poros da membrana.

O mesmo não ocorre com a polpa Comercial, pois além de possuir um baixo teor de sólidos em suspensão (teor de polpa), as partículas insolúveis presentes são bem menores que as da polpa *in natura*. Isto favorece o entupimento dos poros da membrana e a formação de uma camada gel em um curto espaço de tempo.

Comportamento semelhante foi observado por Castro (2005) que ao estudar a micro e ultrafiltração do suco e da polpa de caju, observou que os fluxos médios da polpa integral sempre foram superiores aos do suco ao utilizar membranas cerâmicas e de PVDF com diâmetros de poro de 0,1 μm e 30-80 kDa, respectivamente.

Os baixos fluxos observados para as corridas de nanofiltração podem ser explicados pela baixa massa molecular de corte da membrana (1 kDa) e portanto, maior resistência ao fluxo. Barato (2008) ao estudar a clarificação do suco de caju utilizando membrana de nanofiltração de 0,5 kDa de PES obteve fluxos médios na ordem de 3,3 kg/hm².

Nos experimentos que utilizaram a membrana de PES (150, 30 e 1 kDa) para a polpa Comercial observa-se que quanto menor o diâmetro de poro mais baixo o fluxo. Comportamento este que não é seguido pela polpa *in natura*, com a qual verificou-se que diferentes formas de processamento da polpa (despolpadeira e juicer) podem gerar comportamentos distintos de fluxo. Isso é explicado pelas diferenças de composição da camada gel polarizada, pois umas podem ser menos densas do que outras facilitando assim o fluxo. Assim, o tamanho das partículas

da alimentação se torna um fator muito importante para a avaliação do fluxo de permeado. Segundo Cheryan (1998), se as partículas da alimentação tem tamanho semelhante aos dos poros da membrana, a possibilidade de entupimento dos poros é maior, ou seja, escolher uma membrana com poros maiores não significa obter melhores fluxos.

Membranas de PVDF apresentaram fluxos de permeado superiores quando comparadas com membranas de PES com o mesmo diâmetro de poro (150 kDa), apesar da membrana de PVDF apresentar caráter mais hidrofóbico que as membrana de PES, fato este comprovado por Riedl et al. (1998) que encontraram fluxos de água maiores para membranas de PES. Os mesmos autores ao clarificar suco de maçã, encontraram fluxos maiores para a membrana de PVDF que para a de PES. Isto pode ocorrer devido às interações das partículas coloidais do suco com o material da membrana, o que não ocorre quando se filtra somente água.

Os experimentos de ultrafiltração (PES30 e CEL30) para a polpa Comercial apresentaram maiores fluxos com a membrana de celulose, enquanto que para a polpa *in natura* foram com a membrana de PES. Devido à estrutura linear da cadeia de celulose o polímero se apresenta muito hidrofílico mas apesar disso não é solúvel em água (MULDER, 1997). Essa característica do material pode explicar os maiores fluxos obtidos pela membrana de celulose, quando comparado com a de PES, visto que a polpa em questão é uma solução aquosa.

Micro e Ultrafiltração da polpa Comercial tratada com o "blend" Pectinase e Celulase

O tratamento enzimático influenciou positivamente nos fluxos de todas as corridas realizadas com a polpa Comercial, ocasionando um aumento entre 1 e 95% do fluxo de permeado, quando comparado com a polpa sem tratamento, conforme pode ser verificado pela Figura 5.2. O maior aumento ocorreu com a membrana PES30, seguida da PVDF 500, com as quais o fluxo aumentou 95 e 83%, respectivamente.

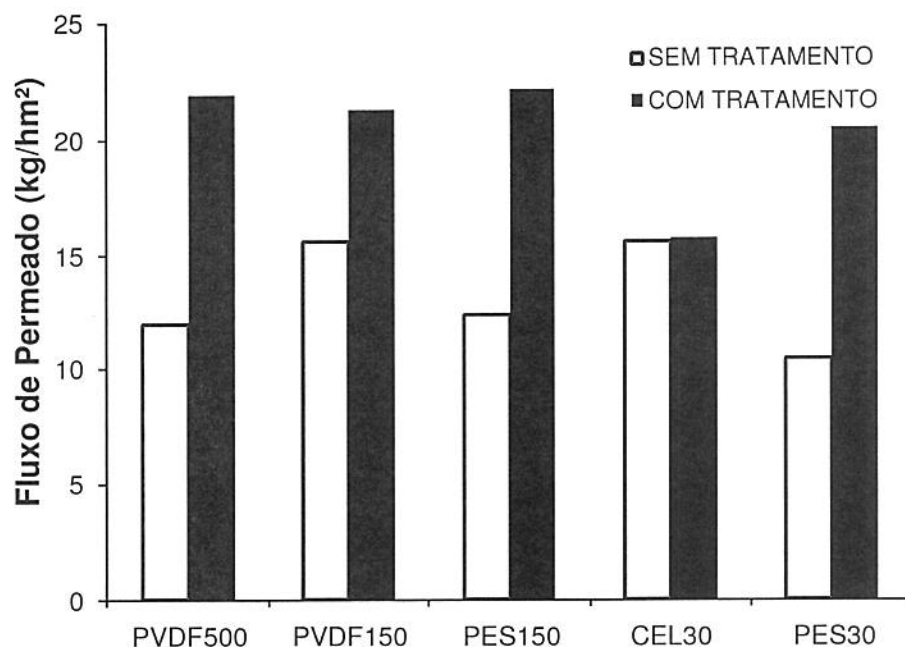


Figura 5.2: Fluxo médio de permeado para as corridas com a polpa Comercial com e sem tratamento enzimático utilizando as mesmas condições operacionais (50 °C e 2 bar).

A membrana CEL30 não apresentou grande diferença entre as polpas, com e sem tratamento, com relação ao fluxo médio de permeado; porém, foi a que apresentou o maior fluxo inicial (34,23 kg/hm²) (Figura 5.3). Membranas de celulose, em geral, apresentam maior adsorção superficial de proteínas quando comparadas com as membranas de PVDF e PES (CHERYAN, 1998).

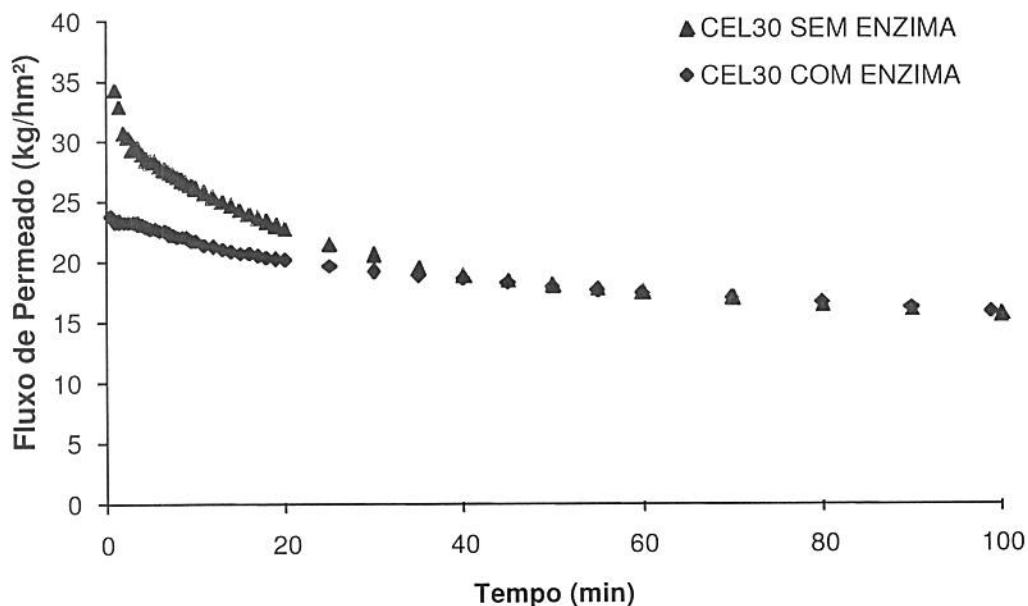


Figura 5.3: Curvas de fluxo de permeado obtidas com a membrana de ultrafiltração (CEL30) para a polpa Comercial sem e com tratamento enzimático.

Ongaratto (2009) avaliou o processo de ultrafiltração do suco de pitanga tratado com um *blend* enzimático composto por pectinase e celulase e obteve aumentos entre 275 e 393% do fluxo de permeado quando comparado com o suco sem tratamento.

Já Castro (2005) ao avaliar a micro e ultrafiltração do suco de caju tratado com uma alta concentração de pectinase (1000 ppm) obteve menores fluxos quando comparados com o suco sem tratamento.

Em concentrações elevadas a hidrólise do material se dá em maior intensidade e com isso se obtém maior quantidade de material com tamanho de partícula suficiente para obstruir os poros da membrana.

5.3.2 Unidade Piloto

As corridas de ultrafiltração em unidade Piloto foram realizadas utilizando a membrana de celulose de 30 kDa com a polpa Comercial e com a polpa *in natura*,

ambas sem tratamento enzimático. Corridas em planta piloto apresentam as condições mais próximas aquelas que acontecem em uma operação em escala industrial, principalmente em relação ao valor e efeito da velocidade tangencial.

5.3.2.1 Fluxo de permeado

Devido ao efetivo arraste dos sólidos na filtração tangencial, são esperados maiores fluxos para as corridas na unidade piloto, pois na unidade de bancada o agitador magnético somente simula uma filtração tangencial.

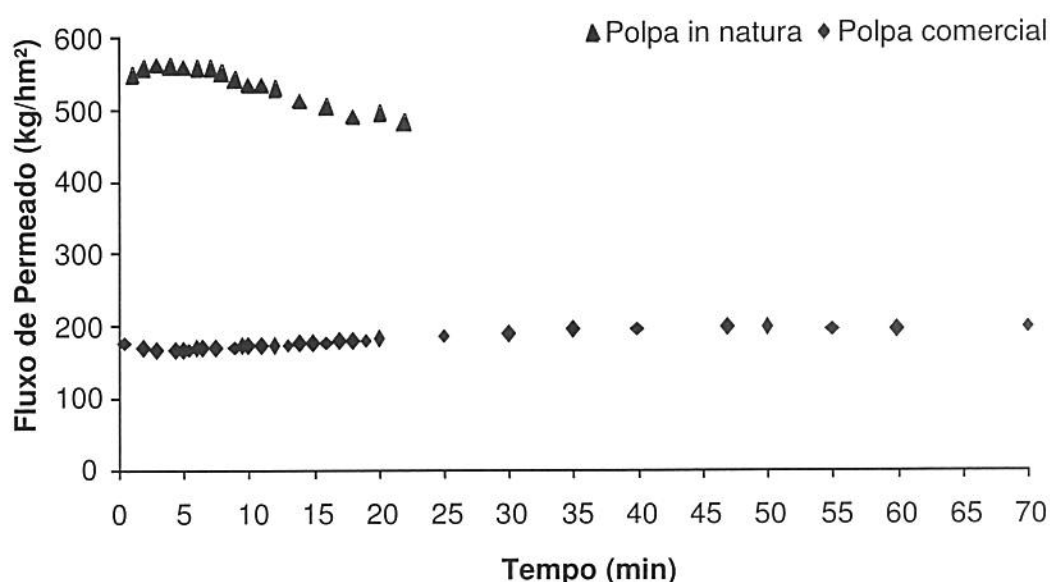


Figura 5.4: Curvas de fluxo de permeado obtidas com a membrana de ultrafiltração (CEL30) em unidade piloto para a polpa Comercial sem tratamento e *in natura*.

Conforme observado pela Figura 5.4 o fluxo para a corrida com a polpa *in natura* foi superior que da polpa Comercial. Quando comparados com a unidade de bancada se observa um aumento de fluxo de 300% para a polpa *in natura* e de quase 1200% para a polpa Comercial.

O comportamento do fluxo para a membrana CEL30 com a polpa Comercial se apresentou de forma atípica, ocorrendo um ligeiro aumento do fluxo inicial com o tempo. Este fenômeno, não muito comum nos processos de filtração por

membranas, em um primeiro momento causa uma queda no fluxo de permeado pois ocorre o entupimento dos poros pelas partículas menores presentes na alimentação, porém ao longo da corrida essas pequenas partículas acabam passando pela membrana enquanto que a camada polarizada que esta sendo formada é composta por partículas maiores que acabam impedindo um novo entupimento, ocasionando assim, um aumento no fluxo de permeado.

Cassano et al. (2007) ao ultrafiltrar suco de laranja em unidade piloto, utilizando membrana de PVDF de 15 kDa, conseguiram um fluxo médio de 15 kg/m².h com uma velocidade de 1 m/s. Já Vaillant et al. (2005) ao microfiltrar suco de melão com uma membrana cerâmica de 0,2 µm, conseguiram fluxo médio de 75 kg/hm² com uma velocidade de 7 m/s.

De acordo com os estudos mencionados, conclui-se que a clarificação da polpa de caju pode ser economicamente atrativa, visto que com uma velocidade de 5 m/s se atingiu fluxos relativamente altos (> 190 kg/hm²).

5.4 Modelagem Matemática

Os dados experimentais das curvas de fluxo de permeado *versus* tempo, das corridas em escala de bancada e piloto realizadas com a membrana CEL30, foram ajustadas aos modelos matemáticos de Renovação da Superfície e de Breslau & Kilcullen, utilizados respectivamente para explicar o comportamento do fluxo de permeado durante micro e ultrafiltração de suco de maçã e de soro de queijo.

Foram calculados os valores dos parâmetros e os respectivos coeficientes de regressão de cada modelo com o auxílio do *software* Statistica 7.0.

5.4.1 Aplicação do modelo de renovação da superfície

As curvas de fluxo de permeado dos experimentos realizados utilizando a membrana CEL30, em unidade de bancada e piloto, foram ajustadas conforme o modelo matemático que se baseia na teoria da renovação da superfície (Equação 3.6). Os valores de fluxo utilizados para o ajuste estão apresentados na Tabela 5.12, bem como os parâmetros do modelo (taxa de declínio de fluxo – λ e

coeficiente de regressão – R^2). Os gráficos com os pontos experimentais e o modelo ajustado estão apresentados no Apêndice 8.3.

Tabela 5.12: Parâmetros obtidos para o modelo de renovação da superfície para os dados experimentais dos experimentos com a membrana CEL30.

Polpa	Tratamento Enzimático	Unidade	$J_0(\text{kg/m}^2.\text{h})$	$J_i(\text{kg/m}^2.\text{h})$	$\lambda (\text{h}^{-1})$	R^2
Comercial	Com	Bancada	23,75	15,73	1,7553	0,9939
	Sem	Bancada	34,23	15,56	3,2655	0,9543
		Piloto	164,71	198,15	1,9806	0,8782
In natura	Sem	Bancada	325,56	119,97	19,149	0,9789
		Piloto	564,71	480,48	3,2809	0,7292

Conforme se pode verificar pela Tabela 5.12, este modelo foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais obtidos na unidade de bancada, nos quais se obteve valores de R^2 superiores a 0,95 (Figura 5.5), e na planta piloto os valores foram superiores a 0,72.

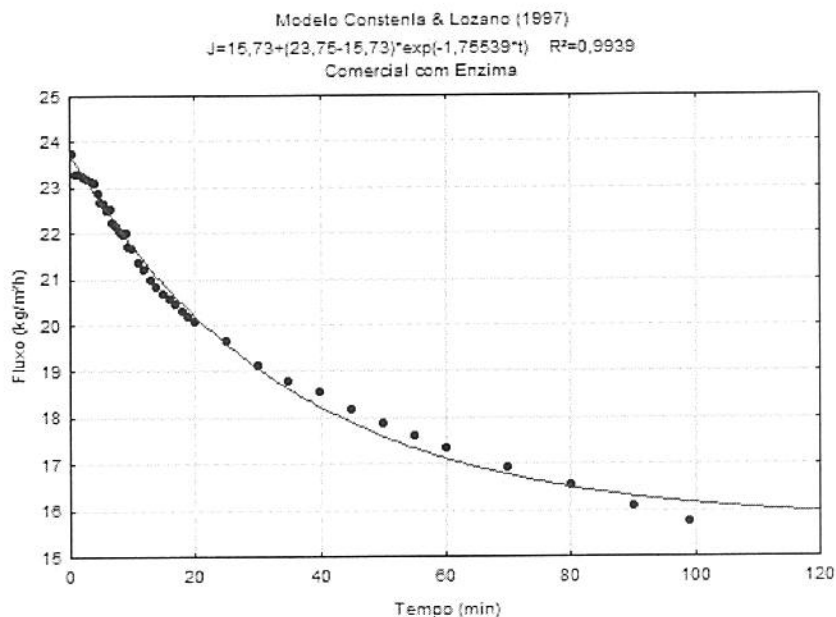


Figura 5.5: Dados experimentais e curva do modelo de renovação da superfície ajustado para a membrana CEL30 com polpa comercial tratada enzimaticamente em unidade de bancada.

O valor de λ representa a taxa de declínio de fluxo, então se espera que quanto maior for a queda de fluxo, nos primeiros minutos da corrida, maiores os valores de λ . Verifica-se que a maioria das corridas apresentaram uma baixa taxa de declínio de fluxo, demonstrando que a queda do fluxo de permeado ao longo do tempo não foi tão intensa, com exceção da corrida *in natura* em escala de bancada, que por ser muito rápida apresentou um alto valor de λ . Apesar deste modelo ter sido proposto para experimentos com um fator de concentração fixo, ele se ajustou bem aos dados experimentais deste trabalho, no qual o fator de concentração variou com o tempo.

Ushikubo et al. (2006) encontraram valores de λ entre 0,96 e 3,42 h⁻¹ e R² entre 0,91 e 0,98 quando estudaram a microfiltração do suco de umbu, mostrando que este modelo também se adequou a seu estudo.

5.4.2 Aplicação do modelo de Breslau & Kilcullen

A avaliação do modelo de Breslau & Kilcullen foi realizada utilizando as corridas com a membrana CEL30. Foram calculados os valores dos parâmetros e os respectivos coeficientes de regressão de cada modelo.

O parâmetro B depende das condições de operação (temperatura, pressão, velocidade) e das propriedades do suco, e representa o declínio do fluxo com relação ao fator de concentração. Através da análise da Tabela 5.8 se verifica valores bem distintos entre as corridas, com destaque para a que usou a polpa Comercial sem tratamento enzimático em escala Piloto, que apresenta um valor negativo para B, o que faz sentido, pois esta corrida foi atípica, apresentando um aumento ao em vez de um declínio do fluxo de permeado (Figura 5.6). Já a corrida com a polpa *in natura* em escala de bancada foi a que apresentou o declínio mais acentuado, com valor do parâmetro B maior que 400 h⁻¹.

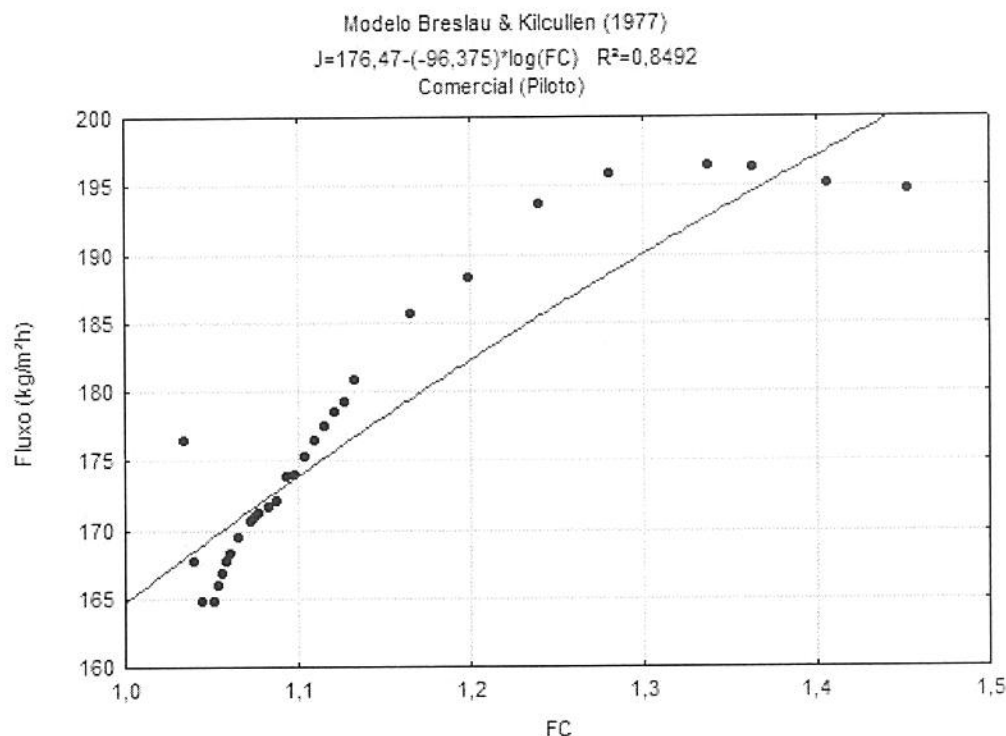


Figura 5.6: Dados experimentais e curva do modelo de Breslau & Kilcullen ajustado para a membrana CEL30 com polpa Comercial em unidade piloto.

Tabela 5.13: Parâmetros obtidos para o modelo de Breslau & Kilcullen para os dados experimentais dos experimentos com a membrana CEL30.

Polpa	Tratamento Enzimático	Unidade	$J_0(\text{kg/m}^2.\text{h})$	B	R^2
Comercial	Com	Bancada	23,75	25,3243	0,8163
	Sem	Bancada	30,56	51,2061	0,7970
		Piloto	164,71	-96,375	0,8492
<i>In natura</i>	Sem	Bancada	272,57	461,983	0,8039
		Piloto	564,71	164,186	0,8026

Conforme podemos observar pelos valores do coeficiente de correlação mostrados na Tabela 5.13, este modelo não se ajustaram aos dados experimentais das corridas realizadas.

Mondor et al. (2000) avaliaram o fluxo de permeado da filtração de suco de maçã utilizando membranas cerâmicas e ao aplicarem este modelo encontraram

taxas de declínio variando entre 12 e 53 h⁻¹ e coeficientes de regressão maiores que 0,90.

6 CONCLUSÕES

Os modelos obtidos a partir da metodologia de Superfície de Resposta não foram validados estatisticamente para os parâmetros teor de polpa e viscosidade em estudo com a polpa comercial, entretanto, o efeito do tratamento enzimático foi avaliado pela redução desses parâmetros quando comparados com os valores iniciais.

O ensaio que apresentou diferença significativa e redução, com relação ao valor inicial, para os dois parâmetros estudados, teor de polpa e viscosidade, continha uma concentração de pectinase de 85,46 mg/100g e de celulose de 14,54 mg/100g. A redução foi de 5% para ambos os parâmetros estudados.

Em todas as membranas estudadas houve retenção de 100% dos carotenóides. A retenção de taninos variou entre 14 e 54%, sendo que as corridas realizadas com a polpa comercial apresentaram a maior retenção. Nos processos de micro e ultra a retenção de ácido ascórbico foi a mais baixa (em média 3%), principalmente para a polpa *in natura*. Já no processo de nanofiltração se atingiu índices de retenção de 64% para a polpa comercial e 21% para a polpa *in natura*.

Houve sempre maior retenção de proteína, taninos, vitamina C e sólidos totais quando se utilizou a polpa comercial do que com a polpa *in natura*. Açúcares totais e cinzas, praticamente não há diferença significativa entre as frações obtidas.

Os valores dos fluxos médios dos permeados dos experimentos realizados com a polpa de caju *in natura* foram sempre superiores aos fluxos médios dos permeados dos experimentos com a polpa comercial, independente se a polpa sofreu ou não pré-tratamento enzimático.

O tratamento enzimático influenciou nos fluxos de todas as corridas realizadas com a polpa comercial, levando a um aumento entre 1 e 95% do fluxo, quando comparado com a polpa sem tratamento. O melhor fluxo ocorreu com a membrana

PES30, seguida da PVDF 500, nas quais o fluxo aumentou 95 e 83%, respectivamente.

As corridas de ultrafiltração em planta piloto com a membrana CEL30, utilizando as polpas sem tratamento enzimático, resultaram em um aumento do fluxo de permeado 300% para a polpa *in natura* e de 1200% para a polpa comercial quando comparados com os fluxos da unidade de bancada.

O modelo de renovação da superfície apresentou valores baixos para taxa de declínio de fluxo de permeado, demonstrando que a queda do fluxo ao longo do tempo não foi intensa. Já o modelo de Breslau & Kilcullen não se ajustou aos dados experimentais das corridas realizadas.

Na ultrafiltração em planta piloto com a membrana de celulose de 30 kDa se obteve fluxos de 198,15 kg/m²h para a polpa comercial e de 480,48 kg/m²h para a polpa *in natura*, com uma velocidade de 5 m/s.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDULLAH, A.G. et al. Response surface optimization of conditions for clarification of carambola fruit juice using a commercial enzyme. **Journal of Food Engineering**, v.81, p. 65-71, 2007.

ABREU, C.R.A. **Qualidade e atividade antioxidante total de pedúnculos de clones comerciais de cajueiro anão precoce**. 104p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

AGOSTINI-COSTA, T da S. et al. Tanino em pedúnculos de caju: efeito de algumas variações genéticas e climáticas. **Boletim CEPPA**, v.20, nº 2, p. 267-278, 2002.

AGOSTINI-COSTA, T. da S. et al. Caracterização, por cromatografia em camada delgada, dos compostos fenólicos presentes em pedúnculos de caju (*Anacardium occidentale* L.). **Boletim CEPPA**, v.18, n.1, p.129-137, 2000.

AGOSTINI-COSTA, T. da S.; LIMA, A.; LIMA M.V. Determinação de tanino em pedúnculo de caju: método da vanilina *versus* método do butanol ácido. **Química Nova**, v.26, n.5, p.763-765, 2003.

ALVAREZ, V. et al. Microfiltration of apple juice using inorganic membranes: process optimization and juice stability. **The Canadian Journal of Chemical Engineering**, vol. 74, p. 74-78, 1996.

ANDRADE, R.S.G. et al. Determinação e distribuição de ácido ascórbico em três frutos tropicais. **Eclética Química**, v.27, p. 393-401, 2002.

AOAC. **Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists** (AOAC), 16th. ed., 3. rev., Gaithersburg, 1997.

ARABBI, P.R. et al. Flavonoids in vegetable foods commonly consumed in Brazil and estimated ingestion by the Brazilian population. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v. 52, n.5, p.1124-1131, 2004.

ASSUNÇÃO, R.B.; MERCADANTE, A.Z. Carotenoids and ascorbic acid composition from commercial products of cachew apple (*Anacardium occidentale* L.) **Journal of Food Composition and Analysis**, v.16, p.647-657, 2003.

AWAD, M. **Fisiologia pós-colheita de frutos**. São Paulo: Nobel, 114p.,1993.

BARATO, N.C. **Clarificação de suco de caju através da separação por membranas**. 134p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) –

Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

BARRETO, G.P.M. et al. Compostos bioativos em sub-produtos da castanha de caju. **Alimentos e Nutrição**, v.18, n.2, p.207-213, 2007.

BARROS, S.T.D; MENDES, E.S; PERES, L. Influência da despectinização sobre aultrafiltração dos sucos de acerola e abacaxi. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 24, n.2, p.194 – 201, 2004.

BAUERFEIND, J.C. Carotenoid vitamin A precursors and analogs in foods and feeds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.20(3), p. 456-473, 1972.

CAMPOS, D.C.P. et al. Cashew apple juice stabilization by microfiltration. **Desalination**, v.148, p.61-65, 2002.

BRESLAU, B.R. & KILCULLEN, B.M. Hollow fiber ultrafiltration of cottage cheese whey: performance study. **Journal of Dairy Science**, v.60, p.1379-1386, 1977.

CARIS-VEYRAT, C. Antioxidant and prooxidant actions and stabilities of carotenoids in vitro and in vivo and carotenoid oxidation products. In: Socaciu C., **Food Colorants: Chemical and Functional Properties**. Boca Raton: CRC Press, p. 177-192, 2008.

CARRATU, B.; SANZINI, E. Sostanze biologicamente attive presenti negli alimenti di origine vegetale. **Annali dell'Istituto Superiore di Sanita**. v.41, n.1, p. 7-16, 2005.

CARVALHO, L.M.J.; CASTRO, I.M.; SILVA, C.A.B. A study of retention of sugars in the process of clarification of pineapple juice (*Ananas comosus*, L. Merrill) by micro- and ultra- filtration. **Journal of Food engineering**, v.87, p.447-454, 2008.

CASSANO, A.; DONATO, L.; DRIOLI, E. Ultrafiltration of kiwifruit juice: Operating parameters, juice quality and membrane fouling. **Journal of Food Engineering**, v.79,p.613-621, 2007.

CASSANO, A.; JIAO, B.; DRIOLI, E. Production of concentrated kiwifruit juice by integrated membrane process. **Food Research International**. v.37, p. 134-148, 2004.

CASSANO, A.; MARCHIO, M.; DRIOLI, E. Clarification of blood orange juice by ultrafiltration: analyses of operating parameters, membrane fouling and juice quality. **Desalination**, v.212, p.15-27, 2007.

CASTRO, T.R. **Estudo do processo de clarificação de suco de caju (*Anacardium occidentale* L.) utilizando membranas.** 100p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2005.

CASTRO, T.R.; ABREU, F.A.P.; CARIOCA, J.O.B. Obtenção de suco clarificado de caju (*Anacardium occidentale* L.) utilizando processos de separação por membranas. **Revista Ciências Agrônômicas**, v.38, n.2, p.164-168, 2007.

CAVALCANTE, A.A.M. et al. Mutagenicity, antioxidant potential and antimutagenic activity against hydrogen peroxide of cashew (*Anacardium occidentale*) Apple juice and cajuína. **Environmental and Molecular Mutagenesis**, v.41, p. 360-369, 2003.

CECHI, H.M.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. D. Carotenoid composition and vitamin A value of fresh and pasteurized cashew apple (*Anacardium occidentale* L.) juice. **Journal of Food Science**, v. 46, p.147-149, 1981.

CHERYAN, M. **Ultrafiltration and microfiltration handbook.** Lancaster: Technomic, 527p., 1998.

CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio.** 2ª. ed. rev. e ampl. 786p. Lavras: UFLA, 2005.

CHUNG, K.T.; WEI, C.; JOHNSONX, M.G. Are tannins a double-edged sword in biology and health? **Trends in Food Science & Technology**, v.9, p.168-175, 1998.

CIANCI, F.C. et al. Clarificação e concentração de suco de caju por processos com membranas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.25, n.3, p.579-583, 2005.

CLARETO, S.S. **Estudo da concentração de licopeno da polpa de goiaba utilizando o processo de microfiltração.** 149f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

CONSTENLA, D. T; LOZANO, J. E. Hollow fibre ultrafiltration of apple juice: macroscopic approach. **Lebensmittel wissenschaft und technologie**, v. 30, p. 373-378,1997.

COOPER, D. A. et al. Carotenoids in health and disease: Recent scientific evaluations, research recommendations and the consumer. **Journal of Nutrition**, v.134, p. 221-224, 2004.

CURY, R.D.B. **Compostos bioativos presentes em produtos infantis e sua ação anti radical livre**. 99p. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

CZYHRINCIW, N. Tropical fruit technology. **Advances in Food Research**, v.17, p.152-207, 1969.

DAUFIN, G. et al. Recent and emerging applications of membrane processes in the food and dairy industry. **Trans IChemE**, v.79, part C, p.89-102, 2001.

DELGADO-VARGAS, F.; JIMÉNEZ, A.R.; PAREDES-LOPÉS, O. Natural Pigments: Carotenoids, Anthocyanins and Betalains – Characteristics, Biosynthesis, Processing and Stability. **Critical Reviews in Food Science Nutrition**, v.40, p.173-289, 2000.

EITENMILLER, R.R.; LANDEN, W.O. **Vitamin analysis for the health and food sciences**. CRC Press LCC, cap. 6, 1999.

FIGUEIREDO, R.W. et al. Alterações de firmeza, pectinas e enzimas pectinolíticas durante o desenvolvimento e maturação de pedúnculos de cajueiro anão precoce (*Anacardium occidentale* L. var. *nanum*) CCP-76. **Proceedings of the interamerican society for tropical horticulture**, v.43, p.82-86, 2001.

FRANCO, G. **Tabela de composição química dos alimentos**. 9ª Ed., 307p., Ed. Atheneu, 2002.

GAONKAR, A.G.; McPHERSON, A. **Ingredient interactions: Effects on Food Quality**, 2ª Ed., 357p., 2006.

GARDNER, P.T. et al. The relative contributions of vitamin C, carotenoids and phenolics to the antioxidant potential of fruit juices. **Food Chemistry**, v.68. p.471-474, 2000.

GIRARD, B; FUKUMOTO, L. R. Membrane processing of fruit juices and beverages: a review. **Food science and nutrition**, v. 40, n. 2, p. 91-157, 2000.

GROSS, J. **Pigments in Fruits**. Food Science and Technology, A series of Monographs, 1987.

HABERT, A.C.; BORGER, C.P.; NOBREGA, R. **Processos de separação por membranas**. E-paper, Rio de Janeiro, 180p., 2006.

HE, Y.; JI, Z.; LI, S. Effective clarification of apple juice using membrane filtration without enzyme and pasteurization pretreatment. **Separation and Purification Technology**, v.57, p.366-373, 2007.

HEIM, K. E.; TAGLIAFERRO, A. R.; BOBILYA, D.J. Flavonoid antioxidants: chemistry, metabolism and structure-activity relationships. **Journal of Nutritional Biochemistry**, v.13, p. 572-584, 2002.

HORST, M.A.; LAJOLO, F.M. Biodisponibilidade de compostos bioativos em alimentos. In: Silvia Maria Franciscato Cozzolino. (Org.). **Biodisponibilidade de nutrientes**. 3ª Ed., v.1, p.772-807, São Paulo: Ed. Manole, 2009.

KOZÁK, A. et al. Comparison of integrated large scale and laboratory scale membrane processes for the production of black currant juice concentrate. **Chemical Engineering and Processing**, v.47, p.1171-1177, 2008.

KUBO, I. et al. Antitumor agents from the cashew apple juice (*Anacardium occidentale*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.41, p.1012-1015, 1993.

LEE, Y.T. et al. Effects of phenolic acid esters and amides on stimulus-induced reactive oxygen species production in human neutrophils. **Clinica Chimica Acta**, v.352, p.135-141, 2005.

LEITE, L.A.S.; PESSOA, P.F.A.P. Cultivo do cajueiro no nordeste brasileiro: o agronegócio caju. **Boletim CNPAT-EMBRAPA**, nº 583, 2006.

LIMA, E.S. et al. Redução de vitamina C em suco de caju (*Anacardium occidentale* L.) industrializado e cajuína. **Química Nova**, v. 30, n.5, p.1143-1146, 2007.

LIMA, J.R. Caracterização físico-química e sensorial de hambúrguer vegetal elaborado à base de caju. **Ciências Agrotécnicas**, v.32, n.1, p.191-195, 2008.

MANELA-AZULAY, M. et al. Vitamina C. **Anais brasileiros de dermatologia**. v.78, p.265-274, 2003.

MATTA, V. M.; MORETTI, R. H.; CABRAL, L. M. C. Microfiltration and reverse osmosis for clarification and concentration of acerola juice. **Journal of Food Engineering**, v. 61, p. 477-482, 2004.

MATTA, V.M. et al. Microfiltração de suco de caju em membranas cerâmicas e poliméricas. In: CIBIA, 4, 2003, Valparaíso. **Anais Valparaíso**. UTFSM, 2003.

MELO, E.A.; GUERRA, N.B.; Ação antioxidante de compostos fenólicos naturalmente presentes em alimentos. **Boletim SBCTA**, v.36, n.1, p.1-11, 2002.

MENEZES, J.B.; ALVES, R.E. Fisiologia e Tecnologia pós-colheita do pedúnculo do caju. **Boletim EMBRAPA-CNPAT**, 20p. 1995.

MONDOR, M.; GIRARD, B.; MORESOLI, C. Modeling flux behavior for membrane filtration of apple juice. **Food Research International**, Barking, v.33, p.539-548, 2000.

MONTEIRO, J.M.; de ALBUQUERQUE, U.P.; ARAÚJO, E. de L. Taninos: uma abordagem da química à ecologia. **Química Nova**, v.28, n.5, p.892-896, 2005.

MONTGOMERY, J.M. **Water treatment principles and design**. John Wiley & Sons, 1985.

MULDER, M. **Basic Principles of Membrane Technology**. 2nded. 564p. Kluwer Academic Publishers, 1997.

NACZK, M.; SHAHIDI, F. Extraction and Analysis of Phenolics in Food (Review). **Journal of Chromatography A**, n. 1054, p.95-111, 2004. In: berry extracts: an evaluation by the ORAC-pyrogallol red methodology. **Food Chemistry**, v.113, p.331-335, 2004.

OLIVEIRA, M.E.B. et al. Physico chemical parameters evaluation of acerola, yellow mombin and cashew apple frozen pulps. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.19, n.3, p.326-332, 1999.

OLIVEIRA, S.C.D.; ROCHA, A.G.P. Diagnóstico da cadeia produtiva do caju na Bahia – Potencial do território de identidade semiárido nordeste II. **Revista Desenharia**, Nº 10, p. 97-122, 2009.

ONGARATTO, R.S. **Micro e ultrafiltração de suco de pitanga: estudo dos parâmetros de operação e do mecanismo de incrustação**. 184f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

PAIVA, F.F.A.; GARRUTI, D.S.; SILVA NETO, R.M. Aproveitamento Industrial do Caju. **Documentos EMBRAPA Agroindústria Tropical**. 38, p.37-39, 2000.

PORTER, M.C. **Handbook of industrial membrane technology**. New Jersey: Noyes, 604p., 1990.

PRIOR, R. L.; CAO, G. Antioxidant phytochemicals in fruits and vegetables. Diet and health implication. **Horticulture Science**, v.35, p.588-592, 2000.

RAUTENBACH, R.; ALBRECHT, R. **Membrane processes**. Chichester: John Wiley & Sons, 359p., 1989.

REED, B.J.; HENDRIX JUNIOR, C.M.; HENDRIX, D.L. **Quality control for citrus processing plants**. Florida: Intercit, v.1, 1986.

RENNER, E.; SALAM, M.H.A. Basic principles. In: RENNER, E.; SALAM, M.H.A. **Application of ultrafiltration in the industry**. London: Elsevier Science, cap. 2, p.7-29, 1991.

RICE-EVANS, C.; MILLER, N.J.; PAGANGA, G. Antioxidant properties of phenolic compounds. **Trends in Plant Science Reviews**, v.2, p.152-159, 1997.

RICE-EVANS, C.A.; MILLER, N.J.; PAGANGA, G. Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. **Free Radical Biology and Medicine**, v.20, p. 933-956, 1996.

RIEDL, K.; GIRARD, B.; LENCKI, R.W. Influence of membrane structure on fouling layer morphology during apple juice clarification. **Journal of Membrane Science**, v. 139, nº2, p. 155-166, 1998.

RODRIGUES, M.I.; IEMMA, A.F. **Planejamento de Experimentos e Otimização de Processos**. Ed. Casa do Pão, 345p, Campinas, 2005.

RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. Critical review of provitamin A determination in plant foods. **Journal of Micronutrient Analysis**, v.5, p.191-225, 1989.

RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. **A guide to carotenoid analysis in foods**. Washington: Opportunities for Micronutrient Intervention (OMNI), 1999.

RODRIGUEZ-AMAYA, D.B.; KIMURA, M.; AMAYA-FARFAN, J. **Fontes Brasileiras de Carotenóides: Tabela Brasileira de composição de carotenóides em alimentos**. Brasília, 2008.

SANCHEZ-MORENO, C. et al. Vitamin C, provitamin A carotenoids and other carotenoids in highpressurized Orange juice during refrigerated storage. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.51, p.647-653, 2003.

SANCHO, S. de O. et al. Alterações químicas e físico-químicas no processamento de suco de caju (*Anacardium occidentale* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.27, n.4, p.878-882, 2007.

SANTIN, M.M. **Aplicação de tratamento enzimático combinado a microfiltração na clarificação do suco de pêssego**. 89p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI, Erechim, 2004.

SCOTT, K. **Introduction to membranes separations – Handbook of Industrial Membranes**. Elsevier, cap.1, p.3-175, 1995.

- SCOTT, K.; HUGHES, R. **Industrial membrane separation technology**. 2.ed., Blackie Academic & Professional, 305p., 1996.
- SECK, F. **Étude de la stabilisation de jus d'orange par microfiltration tangentielle couplée à un traitement enzymatique**. Dissertação de Mestrado – École Nationale Supérieure des Industries Agricoles et Alimentaires, Département Industries Agroalimentaires Régions Chaudes, Montpellier, 2003.
- SHAHIDI, F.; NACZK, M. **Food phenolics: sources, chemistry, effects and applications**. Lancaster: Technomic, 1995.
- SHI, J.; MAZZA, G.; LE MAGUER, M. **Functional foods: Biochemical and processing aspects**, Boca Raton: CRC Press, 2002.
- SILVA, C.R.M.; NAVES, M.M.V. Suplementação de vitaminas na prevenção de câncer. **Revista de Nutrição**. v.14, n.2, p.135-143, 2001.
- SILVA, M.R.; da SILVA, M.A.A.P. Aspectos nutricionais de fitatos e taninos. **Revista Nutrição**, v.12, n.1, p.5-19, 1999.
- SILVA, T.T. et al. Suco de maracujá orgânico processado por microfiltração. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.4, p.419-422, 2005
- SIMPSON, K.L. Relative values of carotenoids of precursors of vitamin A. **Proceedings of the Nutrition Society**, v.42, p.7-17, 1983.
- SOUZA FILHO, M.S.M. **Aspectos da avaliação física, química, físico-química e aproveitamento industrial de diferentes clones de caju (*Anacardium occidentale*, L)**. 196p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1987.
- SOUZA FILHO, M.S.M. et al. Efeito do branqueamento, processo osmótico, tratamento térmico e armazenamento na estabilidade da vitamina C de pedúnculos de caju processados por métodos combinados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v.19, n.2, p.211-213, 1999.
- TASSELLI, F.; CASSANO, A.; DRIOLI, E. Ultrafiltration of kiwifruit juice using modified poly(ether ether ketone) hollow fibre membranes. **Separation and purification technology**, v.57, p.94-102, 2007.
- TEIXEIRA, M.M. da C.G.R. **Ultrafiltração no tratamento de água para consumo humano**. 117p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) – Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2001.
- ULBRICHT, M. Advanced functional polymer membranes. **Polymer**, London, v.47, p.2217-2262, 2006.

USHIKUBO, F.Y.; WATANABE, A.P.; VIOTTO, L.A. Microfiltration of umbu (*Spondias tuberosa* Arr. Cam.) juice using polypropylene membrane. **Desalination**, v.200, p.549-551, 2006.

VAILLANT, F. et al. Clarification and concentration of melon juice using membrane processes. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v.6, p.213-220, 2005.

VAILLANT, F. et al. Strategy for economical optimization of the clarification of pulpy fruit juices using crossflow microfiltration. **Journal of Food Engineering**, v.48, p.83-90, 2001.

VLADISAVLJEVIC, G.T.; VUKOSAVLJEVIC, P.; BUKVIC, B. Permeate flux and fouling resistance in ultrafiltration of depectinized apple juice using ceramic membranes. **Journal of Food Engineering**, v.60, p.241-247, 2003.

WATANABE, A.P.; USHIKUBO, F.Y.; VIOTTO, L.A. Evaluation of permeate flux in microfiltration of tamarind (*Tamarindus indica* L.) juice using polypropylene membrane. **Desalination**, Amsterdam, v.200, p.337-338, 2006.

WOLLGAST, J.; ANKLAN, E. Polyphenols in chocolate: is there a contribution to human health? **Food Research International**, v.33, p.449-459, 2000.

YU, Z.R.; CHIANG, B.H. Passionfruit juice concentration by ultrafiltration and evaporation. **Journal of Food Science**, v. 51, p. 1501-1505, 1986.

ZANATTA, C.F.; MERCADANTE, A.Z. Carotenoid composition from the Brazilian tropical fruit camu-camu (*Myrciaria dubia*). **Food Chemistry**, v.101, p.1526-1532, 2007.

8 ANEXOS

8.1 Curvas de Fluxo de Permeado (Unidade de Laboratório)

Os resultados dos experimentos apresentados a seguir foram realizados sob as mesmas condições de pressão, temperatura e área de permeação: 2 bar, 50 °C e 0,00515 m², respectivamente, com exceção da corrida de nanofiltração em que a pressão foi de 10 bar. A massa inicial de alimentação foi de 400g e todas as corridas foram realizadas até fator de concentração igual a 1,5. Nas tabelas abaixo estão apresentados os dados obtidos para o fluxo de permeado para cada experimento.

Tabela 8.1: Dados experimentais para a microfiltração, utilizando a membrana de PVDF de 500kDa, de polpa de caju Comercial sem tratamento enzimático.

t (min)	Massa (perm.) (kg)	Fluxo ac. (kg/m ² h)	Massa inst. (kg)	Fluxo inst. (kg/m ² h)	FC
0,5	0,0011	26,31	0,0011	26,31	1,00
1	0,0022	25,85	0,0011	25,38	1,01
1,5	0,0032	25,00	0,0010	23,29	1,01
2	0,0043	24,98	0,0011	24,92	1,01
2,5	0,0053	24,59	0,0010	23,05	1,01
3	0,0063	24,30	0,0010	22,82	1,02
3,5	0,0072	23,82	0,0009	20,96	1,02
4	0,0080	23,40	0,0009	20,49	1,02
4,5	0,0089	23,11	0,0009	20,73	1,02
5	0,0098	22,87	0,0009	20,73	1,03
5,5	0,0107	22,67	0,0009	20,73	1,03
6	0,0115	22,32	0,0008	18,40	1,03
6,5	0,0123	22,02	0,0008	18,40	1,03
7	0,0131	21,77	0,0008	18,63	1,03
8	0,0148	21,57	0,0017	20,14	1,04
8,5	0,0156	21,38	0,0008	18,40	1,04
9	0,0164	21,22	0,0008	18,40	1,04
9,5	0,0172	21,07	0,0008	18,40	1,04
10	0,0180	20,92	0,0008	18,16	1,05
11	0,0195	20,60	0,0015	17,35	1,05
12	0,0209	20,32	0,0015	17,23	1,06
13	0,0224	20,09	0,0015	17,35	1,06
14	0,0239	19,88	0,0015	17,12	1,06
15	0,0255	19,82	0,0016	18,98	1,07
16	0,0268	19,50	0,0013	14,79	1,07
17	0,0283	19,36	0,0015	17,12	1,08
18	0,0297	19,19	0,0014	16,30	1,08
19	0,0310	18,99	0,0013	15,25	1,08

20	0,0324	18,85	0,0014	16,30	1,09
25	0,0391	18,21	0,0067	15,63	1,11
30	0,0455	17,64	0,0064	14,81	1,13
35	0,0516	17,15	0,0061	14,21	1,15
40	0,0576	16,75	0,0060	13,97	1,17
45	0,0633	16,37	0,0057	13,32	1,19
50	0,0675	15,73	0,0043	9,94	1,20
56	0,0741	15,40	0,0065	12,63	1,23
60	0,0784	15,20	0,0043	12,52	1,24
70	0,0868	14,44	0,0085	9,89	1,28
80	0,0961	13,98	0,0092	10,76	1,32
90	0,1036	13,40	0,0075	8,74	1,35
100	0,1121	13,05	0,0085	9,91	1,39
110	0,1188	12,58	0,0067	7,80	1,42
120	0,1260	12,23	0,0072	8,38	1,46
130	0,1338	11,99	0,0078	9,13	1,50

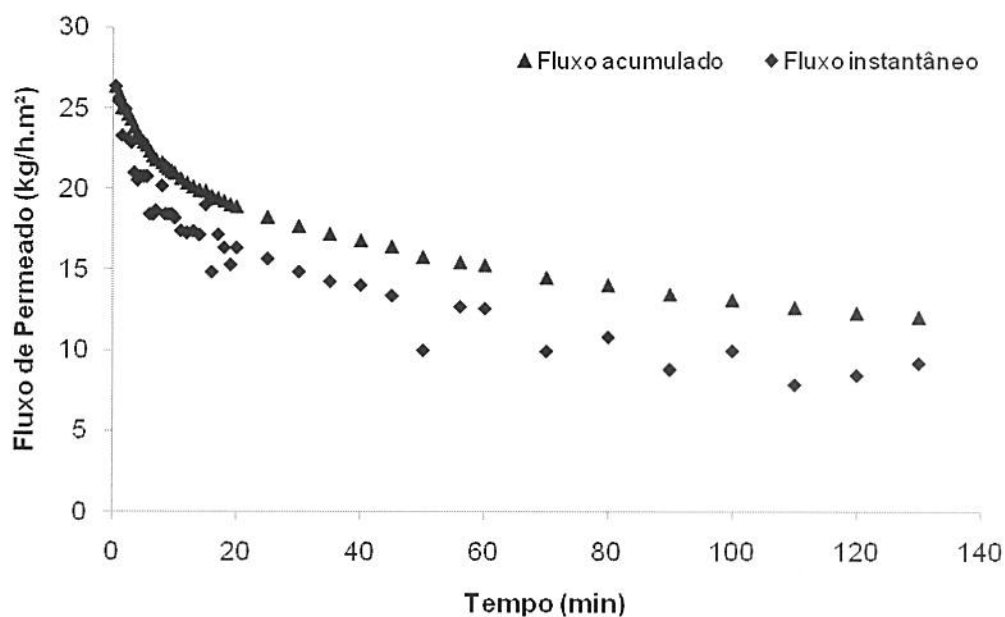


Figura 8.1: Curva de fluxo acumulado e instantâneo de permeado de polpa de caju Comercial sem tratamento enzimático para microfiltração, utilizando a membrana de PVDF de 500kDa.

Tabela 8.2: Dados experimentais para a microfiltração, utilizando a membrana de PVDF de 500kDa, de polpa de caju Comercial com tratamento enzimático.

t (min)	Massa (perm.) (kg)	Fluxo ac. (kg/m ² h)	Massa inst. (kg)	Fluxo inst. (kg/m ² h)	FC
1,5	0,0035	27,48	0,0035	27,48	1,01
4	0,0092	26,63	0,0056	26,13	1,02
5,5	0,0122	25,81	0,0030	23,60	1,03
7	0,0153	25,45	0,0031	24,14	1,04
7,5	0,0165	25,54	0,0012	26,78	1,04
8	0,0176	25,60	0,0011	26,55	1,05
8,5	0,0188	25,77	0,0012	28,41	1,05
9	0,0199	25,80	0,0011	26,31	1,05
9,5	0,0210	25,79	0,0011	25,62	1,06
10	0,0222	25,86	0,0012	27,25	1,06
11	0,0245	25,95	0,0023	26,90	1,07
12	0,0268	25,96	0,0022	25,97	1,07
13	0,0291	26,02	0,0023	26,78	1,08
14	0,0314	26,09	0,0023	27,01	1,09
15	0,0336	26,07	0,0022	25,85	1,09
16	0,0358	26,04	0,0022	25,50	1,10
17	0,0380	26,03	0,0022	25,85	1,11
18	0,0402	26,00	0,0022	25,62	1,11
19	0,0425	26,04	0,0023	26,66	1,12
20	0,0446	25,97	0,0021	24,57	1,13
25	0,0552	25,70	0,0106	24,61	1,16
30	0,0656	25,45	0,0104	24,22	1,20
35	0,0753	25,06	0,0097	22,71	1,23
40	0,0832	24,22	0,0079	18,33	1,27
45	0,0920	23,80	0,0088	20,52	1,30
50	0,1001	23,30	0,0081	18,79	1,34
56	0,1086	22,59	0,0086	16,61	1,38
60	0,1169	22,68	0,0082	23,96	1,42
70	0,1322	21,99	0,0154	17,87	1,50

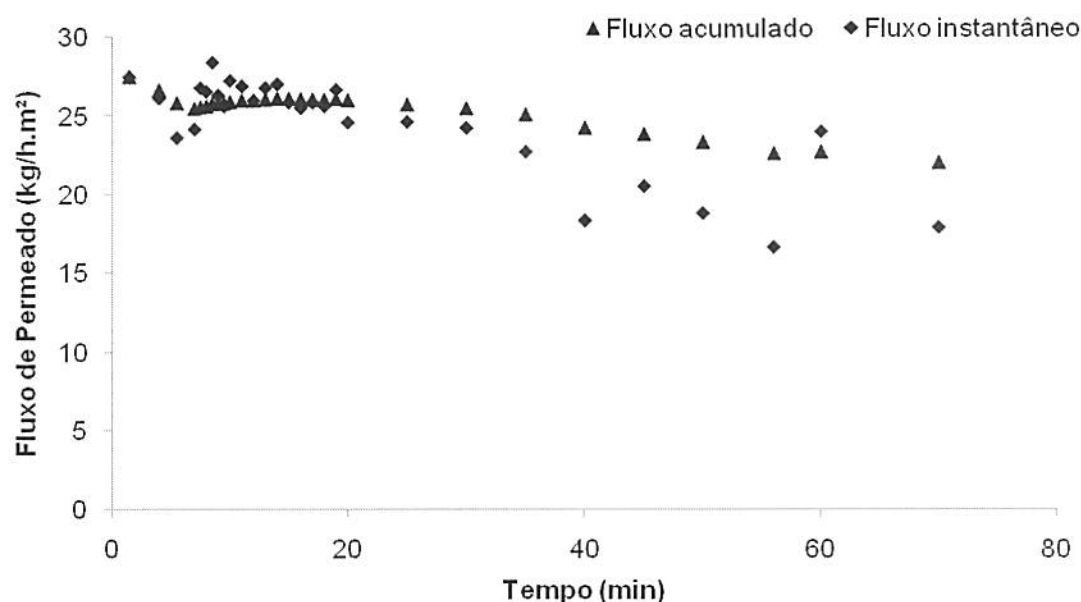


Figura 8.2: Curva de fluxo acumulado e instantâneo de permeado de polpa de caju Comercial com tratamento enzimático para microfiltração, utilizando a membrana de PVDF de 500kDa.

Tabela 8.3: Dados experimentais para a microfiltração, utilizando a membrana de PVDF de 500kDa, de polpa de caju *in natura*.

t (min)	Massa (perm.) (kg)	Fluxo ac. (kg/m²h)	Massa inst. (kg)	Fluxo inst. (kg/m²h)	FC
0,5	0,0303	706,31	0,0303	706,31	1,08
1	0,0447	520,59	0,0144	334,87	1,13
1,5	0,0552	428,26	0,0105	243,59	1,16
2	0,0636	370,21	0,0084	196,08	1,19
2,5	0,0725	337,57	0,0089	207,03	1,22
3	0,0777	301,65	0,0052	122,03	1,24
3,5	0,0843	280,55	0,0066	153,93	1,27
4	0,0894	260,09	0,0050	116,90	1,29
4,5	0,0944	244,28	0,0051	117,83	1,31
5	0,0992	230,99	0,0048	111,31	1,33
5,5	0,1037	219,58	0,0045	105,49	1,35
6	0,1080	209,59	0,0043	99,67	1,37
6,5	0,1121	200,86	0,0041	96,18	1,39
7	0,1160	193,02	0,0039	91,05	1,41
7,5	0,1199	186,07	0,0038	88,73	1,43
8	0,1234	179,66	0,0036	83,60	1,45
8,5	0,1269	173,86	0,0035	81,04	1,46
9	0,1302	168,50	0,0033	77,31	1,48
9,5	0,1335	163,58	0,0032	74,99	1,50

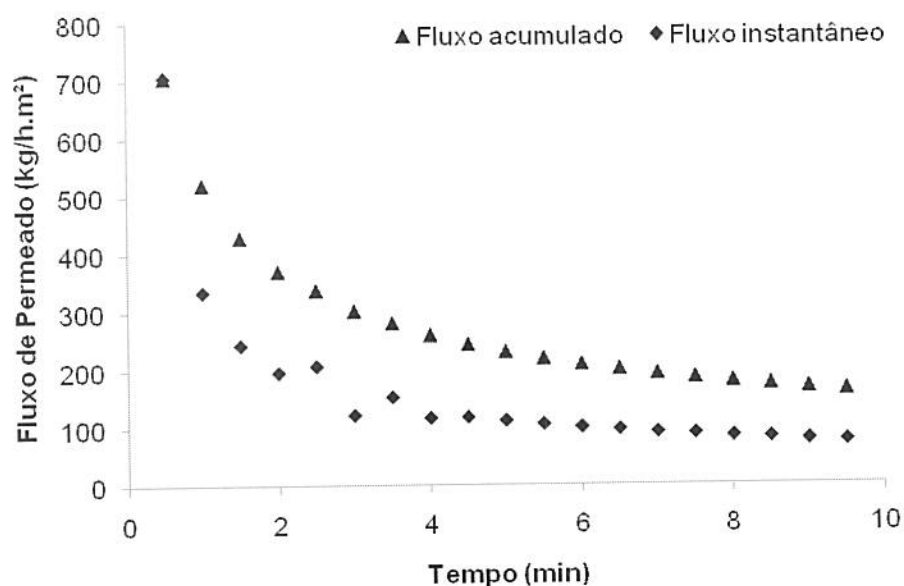


Figura 8.3: Curva de fluxo acumulado e instantâneo de permeado de polpa de caju *in natura* para microfiltração, utilizando a membrana de PVDF de 500kDa.

Tabela 8.4: Dados experimentais para a ultrafiltração, utilizando a membrana de PES de 150kDa, de polpa de caju Comercial sem tratamento enzimático.

t (min)	Massa (perm.) (kg)	Fluxo ac. (kg/m²h)	Massa inst. (kg)	Fluxo inst. (kg/m²h)	FC
0,5	0,0008	17,93	0,0008	17,93	1,00
1	0,0017	19,21	0,0009	20,49	1,00
1,5	0,0026	20,03	0,0009	21,66	1,01
2	0,0034	20,03	0,0009	20,03	1,01
2,5	0,0042	19,70	0,0008	18,40	1,01
3	0,0051	19,83	0,0009	20,49	1,01
3,5	0,0059	19,66	0,0008	18,63	1,01
4	0,0067	19,56	0,0008	18,86	1,02
4,5	0,0075	19,41	0,0008	18,16	1,02
5	0,0084	19,49	0,0009	20,26	1,02
5,5	0,0091	19,35	0,0008	17,93	1,02
6	0,0099	19,27	0,0008	18,40	1,03
6,5	0,0107	19,24	0,0008	18,86	1,03
7	0,0115	19,08	0,0007	17,00	1,03
7,5	0,0122	18,92	0,0007	16,77	1,03
8	0,0131	18,99	0,0009	20,03	1,03
8,5	0,0138	18,84	0,0007	16,30	1,04
9	0,0145	18,76	0,0008	17,47	1,04
9,5	0,0153	18,69	0,0007	17,47	1,04
10	0,0161	18,72	0,0008	19,33	1,04
11	0,0176	18,59	0,0015	17,23	1,05

12	0,0190	18,40	0,0014	16,30	1,05
13	0,0203	18,22	0,0014	16,07	1,05
14	0,0220	18,28	0,0016	19,10	1,06
15	0,0232	18,01	0,0012	14,21	1,06
16	0,0247	17,98	0,0015	17,58	1,07
17	0,0261	17,88	0,0014	16,18	1,07
18	0,0275	17,79	0,0014	16,30	1,07
19	0,0289	17,70	0,0014	16,07	1,08
20	0,0302	17,58	0,0013	15,37	1,08
25	0,0369	17,18	0,0067	15,58	1,10
30	0,0433	16,79	0,0064	14,83	1,12
35	0,0494	16,44	0,0062	14,37	1,14
40	0,0556	16,17	0,0061	14,25	1,16
45	0,0614	15,89	0,0059	13,69	1,18
50	0,0671	15,61	0,0056	13,09	1,20
55	0,0725	15,34	0,0054	12,65	1,22
60	0,0778	15,11	0,0054	12,48	1,24
70	0,0880	14,64	0,0102	11,88	1,28
80	0,0979	14,25	0,0099	11,53	1,32
90	0,1057	13,67	0,0078	9,04	1,36
100	0,1144	13,31	0,0086	10,07	1,40
110	0,1224	12,95	0,0080	9,33	1,44
120	0,1306	12,67	0,0082	9,58	1,48
126	0,1344	12,42	0,0038	7,35	1,50

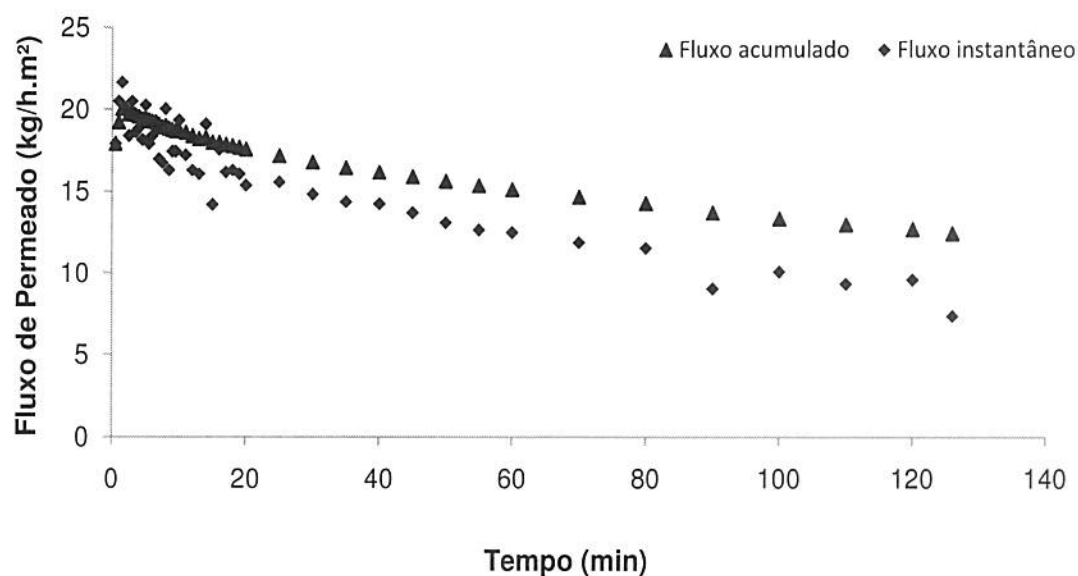


Figura 8.4: Curva de fluxo acumulado e instantâneo de permeado de polpa de caju Comercial sem tratamento enzimático para ultrafiltração, utilizando a membrana de PES de 150kDa.

Tabela 8.5: Dados experimentais para a ultrafiltração, utilizando a membrana de PES de 150kDa, de polpa de caju Comercial com tratamento enzimático.

t (min)	Massa (perm.) (kg)	Fluxo ac. (kg/m ² h)	Massa inst. (kg)	Fluxo inst. (kg/m ² h)	FC
0,5	0,0016	36,10	0,0016	36,10	1,00
1	0,0029	33,53	0,0013	30,97	1,01
2	0,0055	32,02	0,0026	30,51	1,01
2,5	0,0069	32,00	0,0014	31,90	1,02
3	0,0076	29,61	0,0008	17,70	1,02
4	0,0100	29,23	0,0024	28,06	1,03
4,5	0,0114	29,47	0,0014	31,44	1,03
5,5	0,0137	28,90	0,0023	26,31	1,04
6	0,0149	28,99	0,0013	30,04	1,04
6,5	0,0162	29,02	0,0013	29,34	1,04
7,5	0,0187	29,05	0,0025	29,23	1,05
8	0,0201	29,18	0,0013	31,21	1,05
8,5	0,0212	29,04	0,0012	26,78	1,06
9	0,0225	29,04	0,0013	29,11	1,06
9,5	0,0237	29,05	0,0013	29,11	1,06
10	0,0249	29,04	0,0012	28,88	1,07
11	0,0273	28,94	0,0024	27,94	1,07
12	0,0298	28,93	0,0025	28,88	1,08
13	0,0321	28,78	0,0023	26,90	1,09
14	0,0345	28,71	0,0024	27,83	1,09
15	0,0368	28,58	0,0023	26,78	1,10
16	0,0392	28,53	0,0024	27,83	1,11
17	0,0414	28,37	0,0022	25,73	1,12
18	0,0437	28,27	0,0023	26,66	1,12
19	0,0459	28,14	0,0022	25,73	1,13
20	0,0475	27,66	0,0016	18,51	1,13
25	0,0574	26,73	0,0099	23,01	1,17
30	0,0673	26,11	0,0099	22,98	1,20
35	0,0764	25,42	0,0091	21,28	1,24
40	0,0858	24,97	0,0094	21,82	1,27
45	0,0936	24,23	0,0079	18,30	1,31
50	0,1022	23,80	0,0086	19,91	1,34
55	0,1107	23,43	0,0085	19,72	1,38
60	0,1189	23,06	0,0082	19,10	1,42
70	0,1335	22,20	0,0146	17,00	1,50

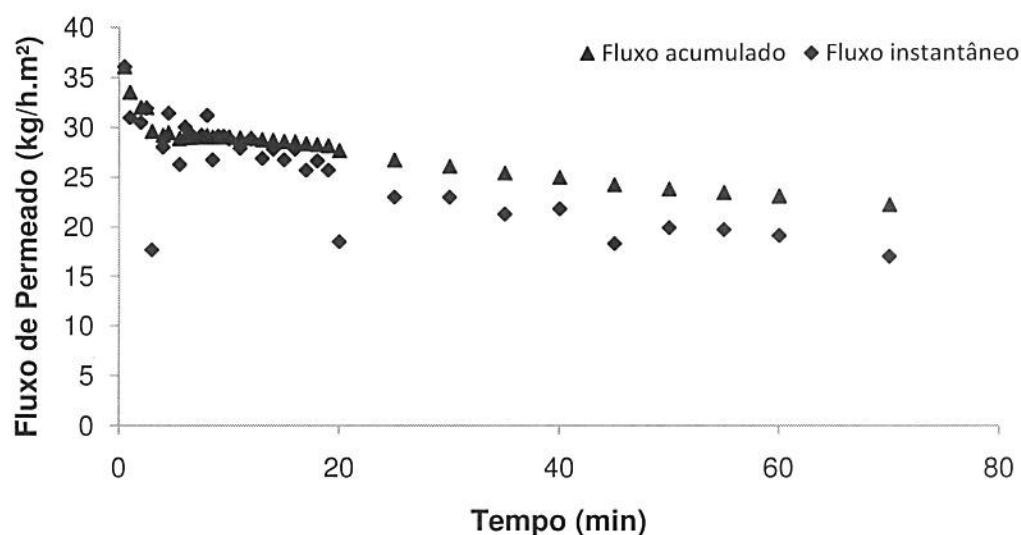


Figura 8.5: Curva de fluxo acumulado e instantâneo de permeado de polpa de caju Comercial com tratamento enzimático para ultrafiltração, utilizando a membrana de PES de 150kDa.

Tabela 8.6: Dados experimentais para a ultrafiltração, utilizando a membrana de PES de 150kDa, de polpa de caju *in natura*.

t (min)	Massa (perm.) (kg)	Fluxo ac. (kg/m²h)	Massa inst. (kg)	Fluxo inst. (kg/m²h)	FC
0,5	0,0290	675,33	0,0290	675,33	1,08
1	0,0427	496,60	0,0137	317,87	1,12
1,5	0,0528	409,94	0,0102	236,60	1,15
2	0,0608	353,85	0,0080	185,60	1,18
2,5	0,0672	312,84	0,0064	148,81	1,20
3	0,0725	281,54	0,0054	125,05	1,22
3,5	0,0772	256,93	0,0047	109,22	1,24
4	0,0814	237,07	0,0042	98,04	1,26
4,5	0,0851	220,14	0,0036	84,77	1,27
5	0,0885	206,16	0,0034	80,34	1,28
5,5	0,0917	194,03	0,0031	72,66	1,30
6	0,0946	183,58	0,0030	68,70	1,31
6,5	0,0973	174,32	0,0027	63,11	1,32
7	0,0998	165,96	0,0025	57,29	1,33
7,5	0,1022	158,66	0,0024	56,59	1,34
8	0,1045	152,10	0,0023	53,56	1,35
8,5	0,1067	146,19	0,0022	51,70	1,36
9	0,1089	140,86	0,0022	50,30	1,37
9,5	0,1109	135,96	0,0021	47,74	1,38
10	0,1129	131,41	0,0019	44,94	1,39

11	0,1165	123,32	0,0036	42,38	1,41
12	0,1200	116,40	0,0035	40,29	1,43
13	0,1232	110,36	0,0033	37,96	1,44
14	0,1263	105,03	0,0031	35,63	1,46
15	0,1292	100,28	0,0029	33,77	1,48
16	0,1321	96,10	0,0029	33,42	1,49
16,5	0,1338	94,39	0,0017	39,82	1,50

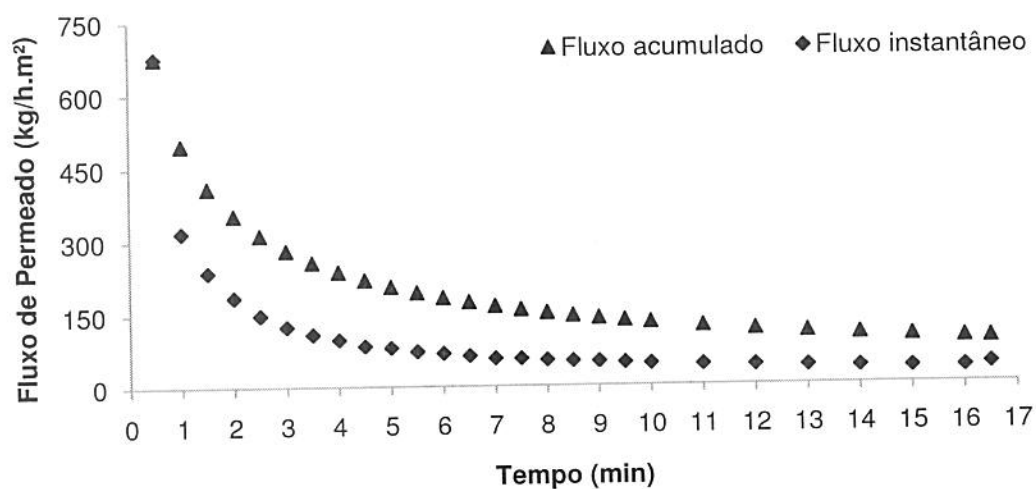


Figura 8.6: Curva de fluxo acumulado e instantâneo de permeado de polpa de caju *in natura* para ultrafiltração, utilizando a membrana de PES de 150kDa.

Tabela 8.7: Dados experimentais para a ultrafiltração, utilizando a membrana de PVDF de 150kDa, de polpa de caju Comercial sem tratamento enzimático.

t (min)	Massa (perm.) (kg)	Fluxo ac. (kg/m²h)	Massa inst. (kg)	Fluxo inst. (kg/m²h)	FC
0,5	0,0010	22,12	0,0010	22,12	1,00
1,5	0,0028	21,81	0,0019	21,66	1,01
3	0,0055	21,42	0,0027	21,04	1,01
3,5	0,0064	21,16	0,0008	19,56	1,02
4	0,0072	20,87	0,0008	18,86	1,02
4,5	0,0081	20,88	0,0009	20,96	1,02
5	0,0089	20,70	0,0008	19,10	1,02
5,5	0,0098	20,77	0,0009	21,42	1,03
6,5	0,0115	20,60	0,0017	19,68	1,03
7	0,0124	20,61	0,0009	20,73	1,03
7,5	0,0133	20,66	0,0009	21,42	1,03
8,5	0,0151	20,64	0,0018	20,49	1,04
9,5	0,0167	20,52	0,0017	19,44	1,04
10	0,0176	20,54	0,0009	20,96	1,05

11	0,0193	20,41	0,0016	19,10	1,05
12	0,0209	20,27	0,0016	18,75	1,06
13	0,0226	20,27	0,0017	20,26	1,06
14	0,0242	20,12	0,0016	18,16	1,06
15	0,0259	20,11	0,0017	20,03	1,07
16	0,0275	20,01	0,0016	18,40	1,07
17	0,0291	19,95	0,0016	19,10	1,08
18	0,0308	19,89	0,0016	18,86	1,08
19	0,0322	19,74	0,0015	17,00	1,09
20	0,0341	19,82	0,0018	21,42	1,09
25	0,0415	19,32	0,0074	17,33	1,12
30	0,0488	18,94	0,0073	17,05	1,14
35	0,0564	18,76	0,0076	17,68	1,16
40	0,0634	18,46	0,0070	16,30	1,19
45	0,0698	18,07	0,0064	14,97	1,21
50	0,0761	17,73	0,0063	14,67	1,23
55	0,0828	17,52	0,0066	15,46	1,26
60	0,0893	17,34	0,0066	15,30	1,29
70	0,1021	16,99	0,0128	14,90	1,34
80	0,1162	16,91	0,0140	16,35	1,41
90	0,1239	16,03	0,0077	9,00	1,45
100	0,1334	15,54	0,0095	11,07	1,50

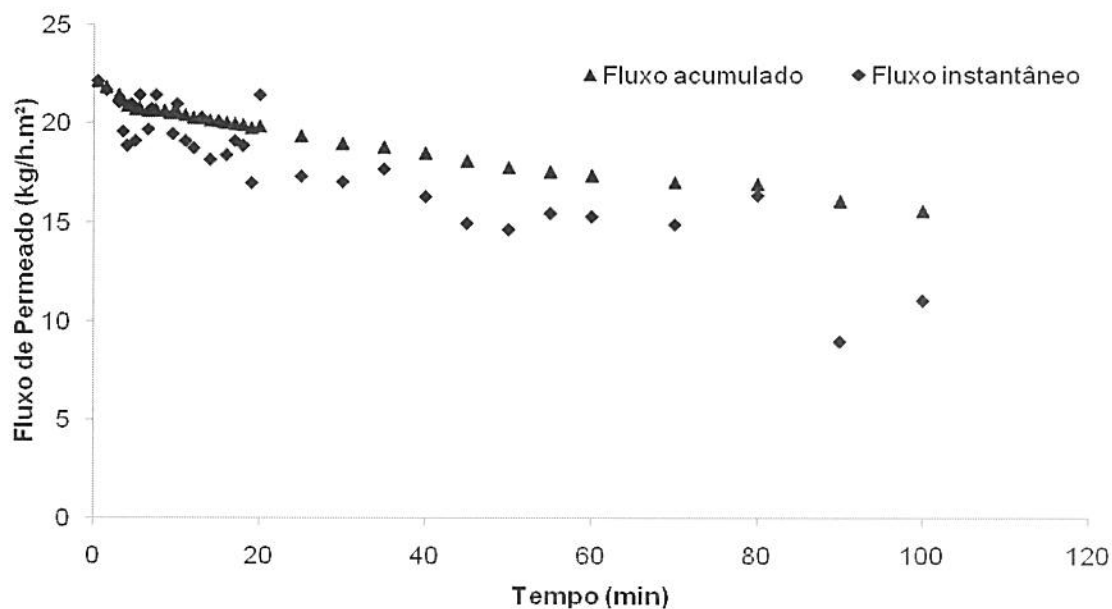


Figura 8.7: Curva de fluxo acumulado e instantâneo de permeado de polpa de caju Comercial sem tratamento enzimático para ultrafiltração, utilizando a membrana de PVDF de 150kDa.

Tabela 8.8: Dados experimentais para a ultrafiltração, utilizando a membrana de PVDF de 150kDa, de polpa de caju Comercial com tratamento enzimático.

t (min)	Massa (perm.) (kg)	Fluxo ac. (kg/m ² h)	Massa inst. (kg)	Fluxo inst. (kg/m ² h)	FC
1	0,0026	30,04	0,0026	30,04	1,01
1,5	0,0039	30,51	0,0014	31,44	1,01
2	0,0052	30,16	0,0013	29,11	1,01
2,5	0,0062	28,78	0,0010	23,29	1,02
3	0,0074	28,68	0,0012	28,18	1,02
3,5	0,0088	29,14	0,0014	31,90	1,02
4	0,0100	29,20	0,0013	29,58	1,03
4,5	0,0114	29,50	0,0014	31,90	1,03
5	0,0127	29,48	0,0013	29,34	1,03
5,5	0,0135	28,66	0,0009	20,49	1,03
6	0,0148	28,72	0,0013	29,34	1,04
6,5	0,0161	28,77	0,0013	29,34	1,04
7	0,0173	28,81	0,0013	29,34	1,05
7,5	0,0186	28,85	0,0013	29,34	1,05
8	0,0198	28,86	0,0013	29,11	1,05
8,5	0,0211	28,89	0,0013	29,34	1,06
9	0,0223	28,80	0,0012	27,25	1,06
9,5	0,0231	28,30	0,0008	19,33	1,06
10	0,0243	28,25	0,0012	27,25	1,06
11	0,0268	28,34	0,0025	29,23	1,07
12	0,0291	28,23	0,0023	27,01	1,08
13	0,0314	28,13	0,0023	27,01	1,08
14	0,0340	28,31	0,0026	30,62	1,09
15	0,0359	27,84	0,0018	21,31	1,10
16	0,0380	27,68	0,0022	25,27	1,10
17	0,0404	27,64	0,0023	27,01	1,11
18	0,0425	27,49	0,0021	24,92	1,12
19	0,0446	27,34	0,0021	24,57	1,13
20	0,0463	26,98	0,0017	20,14	1,13
25	0,0568	26,46	0,0105	24,38	1,16
30	0,0664	25,78	0,0096	22,36	1,20
35	0,0748	24,90	0,0084	19,63	1,23
40	0,0815	23,72	0,0066	15,46	1,25
45	0,0905	23,41	0,0090	20,94	1,29
50	0,0991	23,08	0,0086	20,10	1,33
55	0,1074	22,73	0,0083	19,26	1,37
63	0,1181	21,83	0,0108	15,65	1,42
70	0,1285	21,37	0,0103	17,20	1,47
73	0,1337	21,33	0,0052	20,34	1,50

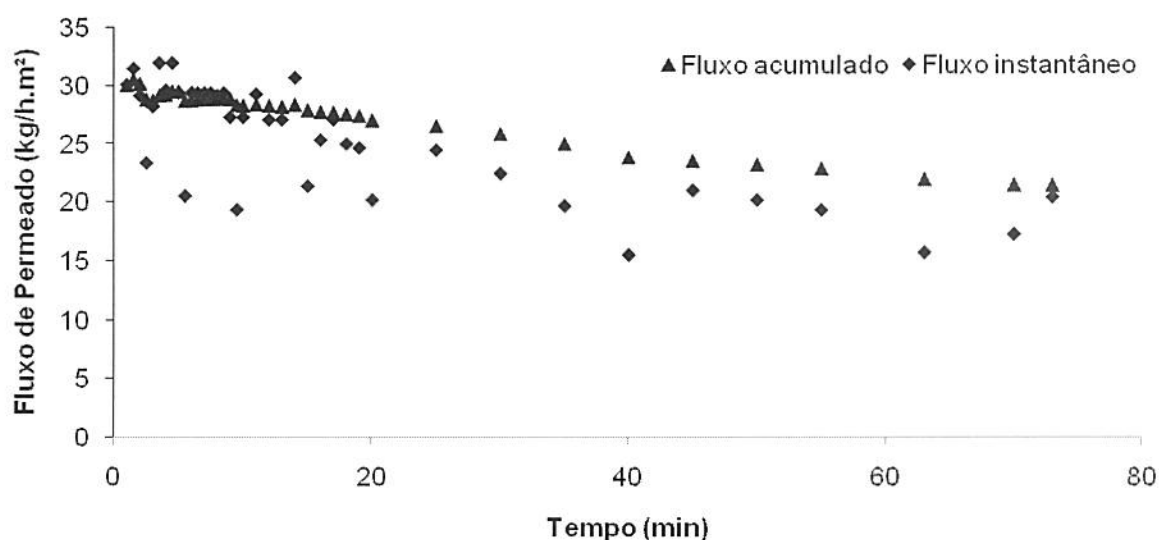


Figura 8.8: Curva de fluxo acumulado e instantâneo de permeado de polpa de caju Comercial com tratamento enzimático para ultrafiltração, utilizando a membrana de PVDF de 150kDa.

Tabela 8. 9: Dados experimentais para a ultrafiltração, utilizando a membrana de PVDF de 150kDa, de polpa de caju *in natura*.

t (min)	Massa (perm.) (kg)	Fluxo ac. (kg/m²h)	Massa inst. (kg)	Fluxo inst. (kg/m²h)	FC
0,5	0,0283	659,97	0,0283	659,97	1,08
1	0,0414	481,82	0,0130	303,67	1,11
1,5	0,0504	391,07	0,0090	209,59	1,14
2	0,0580	337,55	0,0076	176,98	1,17
2,5	0,0642	298,96	0,0062	144,61	1,19
3	0,0698	271,07	0,0057	131,57	1,21
3,5	0,0749	249,01	0,0050	116,67	1,23
4	0,0795	231,54	0,0047	109,22	1,25
4,5	0,0836	216,34	0,0041	94,78	1,26
5	0,0878	204,56	0,0042	98,51	1,28
5,5	0,0916	193,86	0,0037	86,86	1,30
6	0,0952	184,69	0,0036	83,83	1,31
6,5	0,0986	176,59	0,0034	79,41	1,33
7	0,1021	169,90	0,0036	82,90	1,34
7,5	0,1053	163,46	0,0032	73,36	1,36
8	0,1083	157,67	0,0030	70,79	1,37
8,5	0,1112	152,33	0,0029	66,83	1,38
9	0,1142	147,73	0,0030	69,63	1,40
9,5	0,1168	143,21	0,0027	61,71	1,41
10	0,1195	139,19	0,0027	62,88	1,42

11	0,1247	131,95	0,0051	59,62	1,45
12	0,1295	125,66	0,0048	56,47	1,48
13	0,1343	120,27	0,0048	55,54	1,50

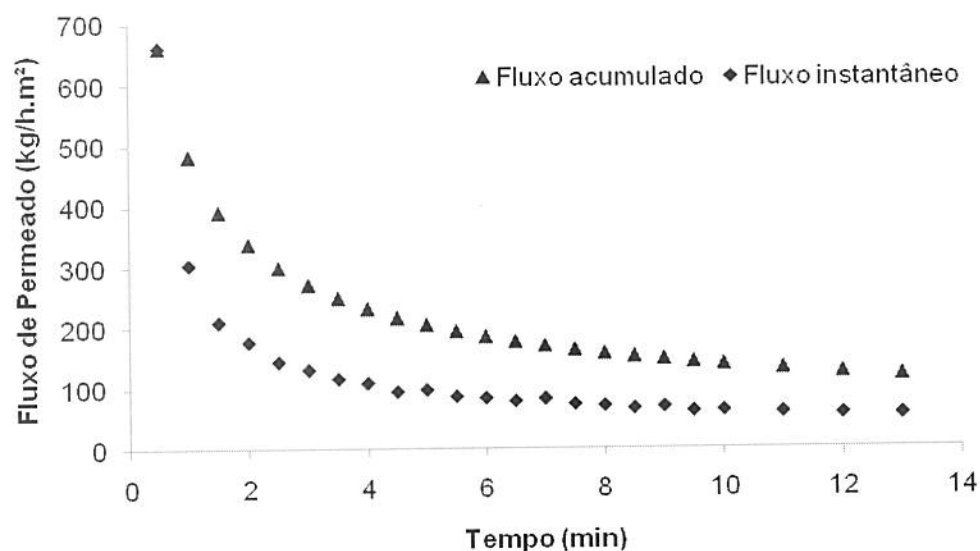


Figura 8.9: Curva de fluxo acumulado e instantâneo de permeado de polpa de caju *in natura* para ultrafiltração, utilizando a membrana de PVDF de 150kDa.

Tabela 8.10: Dados experimentais para a ultrafiltração, utilizando a membrana de PES de 30kDa, de polpa de caju Comercial sem tratamento enzimático.

t (min)	Massa (perm.) (kg)	Fluxo ac. (kg/m²h)	Massa inst. (kg)	Fluxo inst. (kg/m²h)	FC
0,5	0,0009	21,19	0,0009	21,19	1,00
1	0,0018	21,42	0,0009	21,66	1,01
1,5	0,0028	21,50	0,0009	21,66	1,01
2	0,0036	20,90	0,0008	19,10	1,01
2,5	0,0046	21,28	0,0010	22,82	1,01
3	0,0055	21,27	0,0009	21,19	1,01
3,5	0,0063	20,86	0,0008	18,40	1,02
4	0,0071	20,55	0,0008	18,40	1,02
4,5	0,0079	20,34	0,0008	18,63	1,02
5	0,0086	20,12	0,0008	18,16	1,02
5,5	0,0093	19,77	0,0007	16,30	1,02
6	0,0101	19,66	0,0008	18,40	1,03
6,5	0,0109	19,44	0,0007	16,77	1,03
7	0,0116	19,21	0,0007	16,30	1,03
7,5	0,0122	18,89	0,0006	14,44	1,03
8	0,0129	18,72	0,0007	16,07	1,03
8,5	0,0136	18,59	0,0007	16,53	1,04

9	0,0143	18,46	0,0007	16,30	1,04
9,5	0,0150	18,38	0,0007	17,00	1,04
10	0,0156	18,16	0,0006	13,97	1,04
11	0,0169	17,87	0,0013	14,90	1,04
12	0,0180	17,49	0,0012	13,39	1,05
13	0,0193	17,28	0,0013	14,67	1,05
14	0,0205	17,02	0,0012	13,74	1,05
15	0,0216	16,77	0,0011	13,16	1,06
16	0,0228	16,60	0,0012	14,09	1,06
17	0,0241	16,47	0,0012	14,44	1,06
18	0,0253	16,39	0,0013	14,90	1,07
19	0,0267	16,34	0,0013	15,49	1,07
20	0,0280	16,28	0,0013	15,25	1,08
25	0,0342	15,91	0,0062	14,39	1,09
30	0,0398	15,44	0,0056	13,11	1,11
35	0,0452	15,02	0,0054	12,53	1,13
40	0,0503	14,63	0,0051	11,90	1,14
45	0,0557	14,41	0,0054	12,65	1,16
50	0,0600	13,97	0,0043	10,01	1,18
55	0,0646	13,68	0,0046	10,81	1,19
60	0,0692	13,43	0,0046	10,62	1,21
70	0,0780	12,97	0,0088	10,23	1,24
80	0,0868	12,63	0,0088	10,26	1,28
90	0,0944	12,21	0,0076	8,79	1,31
100	0,1022	11,90	0,0079	9,14	1,34
110	0,1109	11,74	0,0087	10,15	1,38
120	0,1170	11,35	0,0061	7,09	1,41
130	0,1240	11,11	0,0070	8,19	1,45
140	0,1294	10,76	0,0054	6,28	1,48
148	0,1335	10,50	0,0041	5,95	1,50

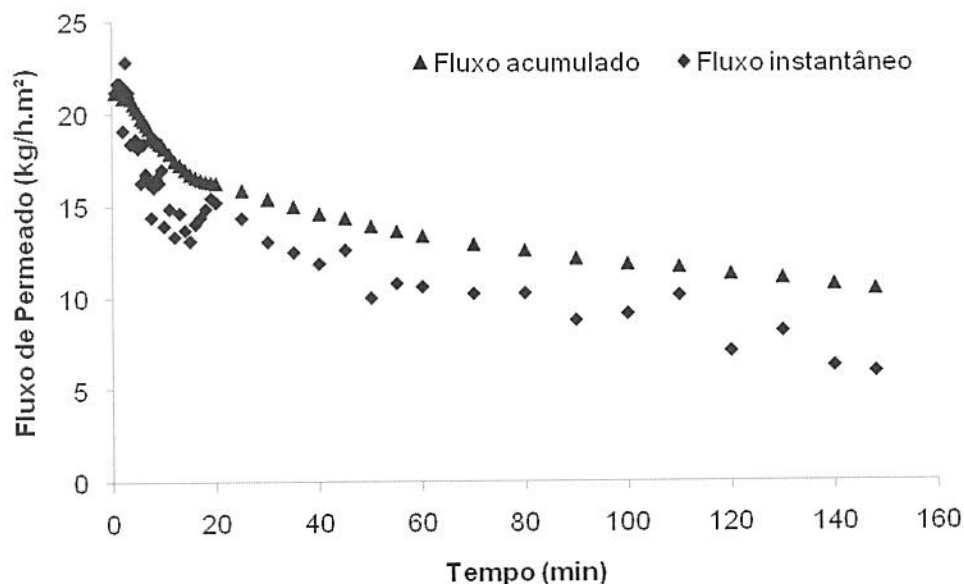


Figura 8.10: Curva de fluxo acumulado e instantâneo de permeado de polpa de caju Comercial sem tratamento enzimático para ultrafiltração, utilizando a membrana de PES de 30kDa.

Tabela 8.11: Dados experimentais para a ultrafiltração, utilizando a membrana de PES de 30kDa, de polpa de caju Comercial com tratamento enzimático.

t (min)	Massa (perm.) (kg)	Fluxo ac. (kg/m²h)	Massa inst. (kg)	Fluxo inst. (kg/m²h)	FC
1	0,0022	25,27	0,0022	25,27	1,01
1,5	0,0034	26,70	0,0013	29,58	1,01
2	0,0048	27,83	0,0013	31,21	1,01
2,5	0,0059	27,43	0,0011	25,85	1,01
3	0,0072	27,79	0,0013	29,58	1,02
3,5	0,0083	27,71	0,0012	27,25	1,02
4	0,0096	27,94	0,0013	29,58	1,02
4,5	0,0108	27,89	0,0012	27,48	1,03
5	0,0119	27,60	0,0011	24,92	1,03
5,5	0,0128	27,03	0,0009	21,42	1,03
6	0,0141	27,38	0,0013	31,21	1,04
6,5	0,0151	27,05	0,0010	23,05	1,04
7	0,0163	27,06	0,0012	27,25	1,04
7,5	0,0174	27,06	0,0012	27,01	1,05
8	0,0186	27,06	0,0012	27,01	1,05
8,5	0,0197	27,04	0,0012	26,78	1,05
9	0,0208	26,94	0,0011	25,15	1,05
9,5	0,0220	26,94	0,0012	27,01	1,06

10	0,0231	26,94	0,0012	27,01	1,06
11	0,0254	26,84	0,0022	25,85	1,07
12	0,0275	26,67	0,0021	24,80	1,07
13	0,0296	26,52	0,0021	24,68	1,08
14	0,0317	26,38	0,0021	24,57	1,09
16	0,0358	26,05	0,0041	23,69	1,10
17	0,0379	25,96	0,0021	24,57	1,10
18	0,0398	25,77	0,0019	22,59	1,11
19	0,0419	25,65	0,0020	23,52	1,12
20	0,0438	25,50	0,0019	22,59	1,12
25	0,0534	24,87	0,0096	22,33	1,15
30	0,0624	24,20	0,0090	20,87	1,18
35	0,0711	23,66	0,0088	20,40	1,22
40	0,0793	23,07	0,0081	18,96	1,25
45	0,0881	22,80	0,0089	20,63	1,28
50	0,0955	22,24	0,0074	17,19	1,31
55	0,1032	21,85	0,0077	17,95	1,35
60	0,1111	21,55	0,0079	18,33	1,38
70	0,1265	21,04	0,0154	17,98	1,46
76	0,1340	20,53	0,0075	14,55	1,50

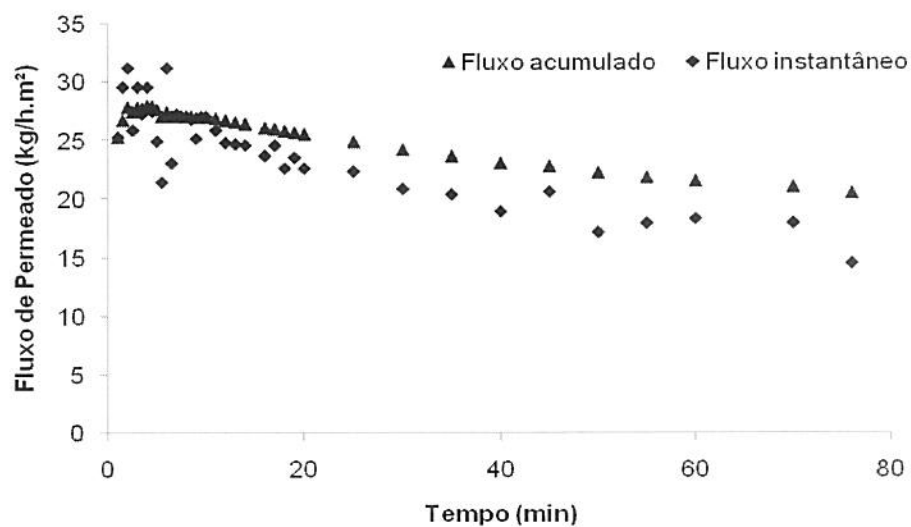


Figura 8.11: Curva de fluxo acumulado e instantâneo de permeado de polpa de caju Comercial com tratamento enzimático para ultrafiltração, utilizando a membrana de PES de 30kDa.

Tabela 8.12: Dados experimentais para a ultrafiltração, utilizando a membrana de PES de 30kDa, de polpa de caju *in natura*.

t (min)	Massa (perm.) (kg)	Fluxo ac. (kg/m ² h)	Massa inst. (kg)	Fluxo inst. (kg/m ² h)	FC
0,5	0,0128	296,91	0,0128	296,91	1,03
1	0,0236	274,67	0,0108	252,44	1,06
1,5	0,0332	257,71	0,0096	223,79	1,09
2	0,0417	242,48	0,0085	196,78	1,12
2,5	0,0498	231,85	0,0081	189,33	1,14
3	0,0566	219,76	0,0068	159,29	1,16
3,5	0,0632	210,29	0,0066	153,46	1,19
4	0,0694	202,02	0,0062	144,15	1,21
4,5	0,0754	195,04	0,0060	139,26	1,23
5	0,0809	188,42	0,0055	128,78	1,25
5,5	0,0869	183,95	0,0060	139,26	1,28
6	0,0925	179,51	0,0056	130,64	1,30
6,5	0,0980	175,48	0,0055	127,15	1,32
7	0,1032	171,64	0,0052	121,79	1,35
7,5	0,1083	168,06	0,0051	117,83	1,37
8	0,1132	164,71	0,0049	114,57	1,39
8,5	0,1179	161,45	0,0047	109,22	1,42
9	0,1225	158,50	0,0046	108,29	1,44
9,5	0,1270	155,63	0,0045	104,09	1,46
10	0,1314	153,03	0,0044	103,63	1,49
10,5	0,1340	148,60	0,0026	59,85	1,50

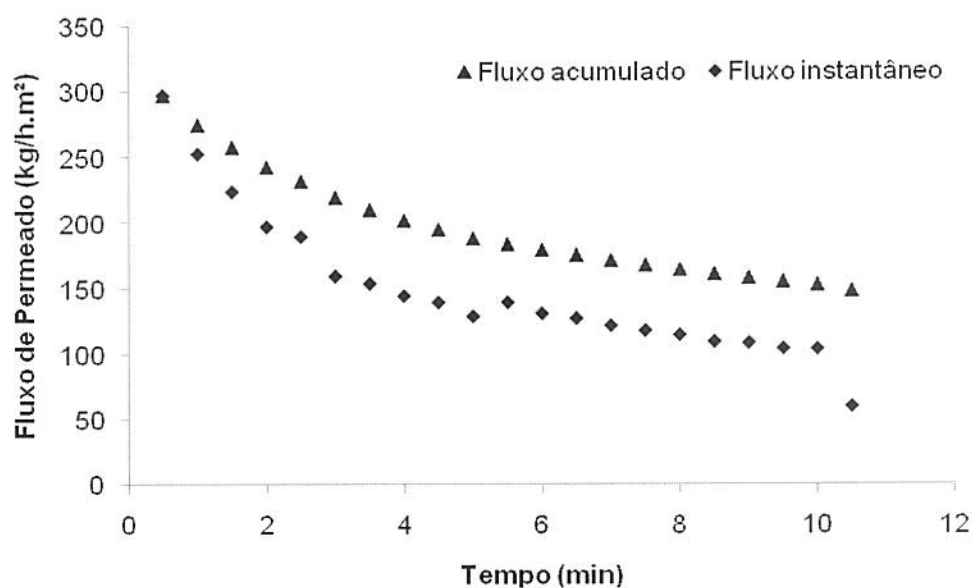


Figura 8.12: Curva de fluxo acumulado e instantâneo de permeado de polpa de caju *in natura* para ultrafiltração, utilizando a membrana de PES de 30kDa.

Tabela 8.13: Dados experimentais para a ultrafiltração, utilizando a membrana de CEL de 30kDa, de polpa de caju Comercial sem tratamento enzimático.

t (min)	Massa (perm.) (kg)	Fluxo ac. (kg/m²h)	Massa inst. (kg)	Fluxo inst. (kg/m²h)	FC
1	0,0029	34,23	0,0029	34,23	1,01
1,5	0,0042	32,84	0,0013	30,04	1,01
2	0,0053	30,56	0,0010	23,75	1,01
2,5	0,0065	30,27	0,0013	29,11	1,02
3	0,0076	29,30	0,0011	24,45	1,02
3,5	0,0088	29,31	0,0013	29,34	1,02
4	0,0099	28,85	0,0011	25,62	1,03
4,5	0,0110	28,44	0,0011	25,15	1,03
5	0,0121	28,25	0,0011	26,55	1,03
5,5	0,0133	28,22	0,0012	27,94	1,03
6	0,0144	27,85	0,0010	23,75	1,04
6,5	0,0154	27,60	0,0011	24,68	1,04
7	0,0165	27,38	0,0011	24,45	1,04
7,5	0,0175	27,20	0,0011	24,68	1,05
8	0,0186	27,00	0,0010	23,99	1,05
8,5	0,0195	26,75	0,0010	22,82	1,05
9	0,0205	26,51	0,0010	22,36	1,05
9,5	0,0215	26,30	0,0010	22,59	1,06
10	0,0224	26,06	0,0009	21,42	1,06

11	0,0243	25,69	0,0019	22,01	1,06
12	0,0261	25,30	0,0018	20,96	1,07
13	0,0278	24,90	0,0017	20,14	1,07
14	0,0296	24,59	0,0018	20,61	1,08
15	0,0312	24,23	0,0016	19,10	1,08
16	0,0328	23,89	0,0016	18,86	1,09
17	0,0345	23,60	0,0016	18,86	1,09
18	0,0361	23,32	0,0016	18,63	1,10
19	0,0374	22,94	0,0014	16,07	1,10
20	0,0390	22,68	0,0015	17,70	1,11
25	0,0460	21,41	0,0070	16,32	1,13
30	0,0529	20,54	0,0070	16,21	1,15
35	0,0582	19,35	0,0052	12,18	1,17
40	0,0644	18,74	0,0062	14,51	1,19
45	0,0710	18,36	0,0066	15,30	1,22
50	0,0772	17,98	0,0063	14,55	1,24
55	0,0835	17,69	0,0063	14,76	1,26
60	0,0895	17,36	0,0059	13,79	1,29
70	0,1016	16,90	0,0122	14,17	1,34
80	0,1128	16,42	0,0112	12,99	1,39
90	0,1233	15,95	0,0105	12,26	1,44
100	0,1336	15,56	0,0103	11,97	1,50

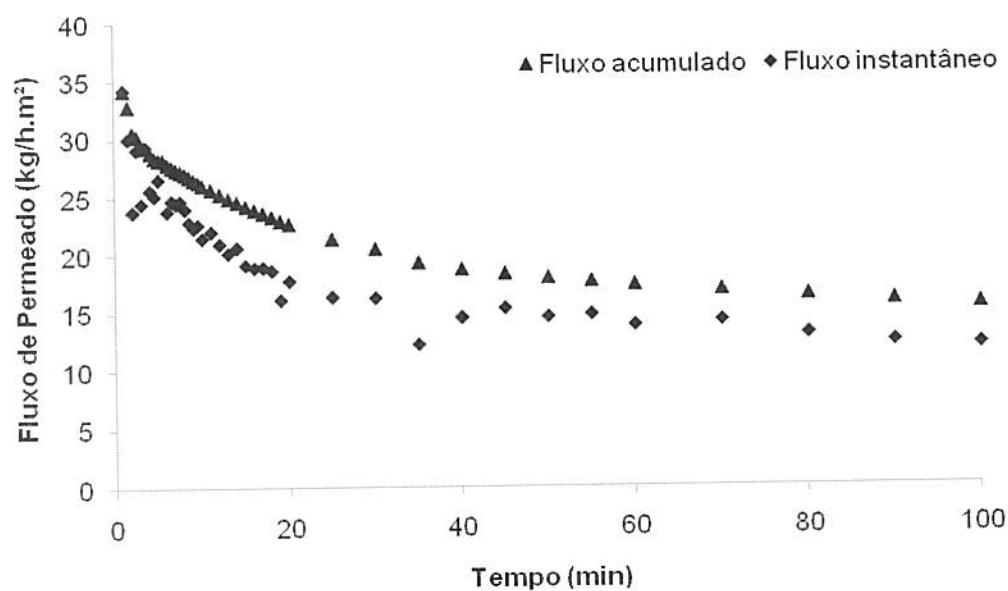


Figura 8.13: Curva de fluxo acumulado e instantâneo de permeado de polpa de caju Comercial sem tratamento enzimático para ultrafiltração, utilizando a membrana de CEL de 30kDa.

Tabela 8.14: Dados experimentais para a ultrafiltração, utilizando a membrana de CEL de 30kDa, de polpa de caju Comercial com tratamento enzimático.

t (min)	Massa (perm.) (kg)	Fluxo ac. (kg/m ² h)	Massa inst. (kg)	Fluxo inst. (kg/m ² h)	FC
0,5	0,0010	23,75	0,0010	23,75	1,00
1	0,0020	23,29	0,0010	22,82	1,01
1,5	0,0030	23,29	0,0010	23,29	1,01
2	0,0040	23,23	0,0010	23,05	1,01
2,5	0,0050	23,19	0,0010	23,05	1,01
3	0,0060	23,17	0,0010	23,05	1,02
3,5	0,0070	23,12	0,0010	22,82	1,02
4	0,0079	23,08	0,0010	22,82	1,02
4,5	0,0088	22,85	0,0009	20,96	1,02
5	0,0097	22,66	0,0009	20,96	1,02
5,5	0,0107	22,65	0,0010	22,59	1,03
6	0,0116	22,49	0,0009	20,73	1,03
6,5	0,0126	22,52	0,0010	22,82	1,03
7	0,0134	22,24	0,0008	18,63	1,03
7,5	0,0143	22,14	0,0009	20,73	1,04
8	0,0151	22,04	0,0009	20,49	1,04
8,5	0,0160	21,96	0,0009	20,73	1,04
9	0,0170	21,99	0,0010	22,59	1,04
9,5	0,0177	21,69	0,0007	16,30	1,05
10	0,0186	21,65	0,0009	20,73	1,05
11	0,0202	21,35	0,0016	18,40	1,05
12	0,0219	21,20	0,0017	19,56	1,06
13	0,0234	20,98	0,0016	18,28	1,06
14	0,0250	20,83	0,0016	18,86	1,07
15	0,0266	20,67	0,0016	18,51	1,07
16	0,0283	20,57	0,0016	18,98	1,08
17	0,0298	20,42	0,0016	18,16	1,08
18	0,0314	20,30	0,0016	18,16	1,09
19	0,0329	20,17	0,0015	17,93	1,09
20	0,0345	20,08	0,0016	18,28	1,09
25	0,0422	19,63	0,0077	17,84	1,12
30	0,0493	19,12	0,0071	16,58	1,14
35	0,0564	18,78	0,0072	16,70	1,16
40	0,0637	18,55	0,0073	16,93	1,19
45	0,0702	18,15	0,0065	15,02	1,21
50	0,0767	17,86	0,0065	15,18	1,24
55	0,0831	17,59	0,0064	14,97	1,26
60	0,0893	17,33	0,0062	14,39	1,29
70	0,1017	16,91	0,0124	14,39	1,34
80	0,1137	16,54	0,0120	13,98	1,40
90	0,1242	16,07	0,0106	12,28	1,45
99	0,1337	15,73	0,0095	12,33	1,50

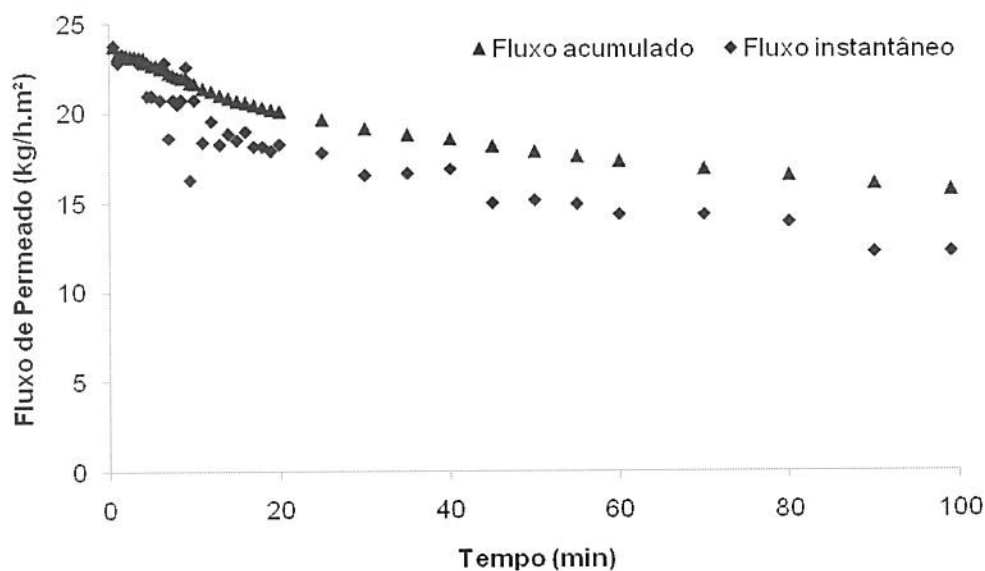


Figura 8. 14: Curva de fluxo acumulado e instantâneo de permeado de polpa de caju Comercial com tratamento enzimático para ultrafiltração, utilizando a membrana de CEL de 30kDa.

Tabela 8.15: Dados experimentais para a ultrafiltração, utilizando a membrana de CEL de 30kDa, de polpa de caju *in natura*.

t (min)	Massa (perm.) (kg)	Fluxo ac. (kg/m²h)	Massa inst. (kg)	Fluxo inst. (kg/m²h)	FC
0,5	0,0140	325,56	0,0140	325,56	1,04
1	0,0234	272,58	0,0094	219,60	1,06
1,5	0,0312	242,19	0,0078	181,41	1,08
2	0,0379	220,59	0,0067	155,79	1,10
2,5	0,0440	204,93	0,0061	142,29	1,12
3	0,0496	192,63	0,0056	131,11	1,14
3,5	0,0551	183,34	0,0055	127,61	1,16
4	0,0602	175,18	0,0051	118,07	1,18
4,5	0,0651	168,42	0,0049	114,34	1,19
5	0,0698	162,55	0,0047	109,68	1,21
5,5	0,0744	157,47	0,0046	106,66	1,23
6	0,0790	153,31	0,0046	107,59	1,25
6,5	0,0834	149,43	0,0044	102,93	1,26
7	0,0878	145,98	0,0043	101,07	1,28
7,5	0,0920	142,80	0,0042	98,27	1,30
8	0,0961	139,83	0,0041	95,25	1,31
8,5	0,1002	137,23	0,0041	95,71	1,33
9	0,1042	134,76	0,0040	92,68	1,35

9,5	0,1080	132,33	0,0038	88,73	1,37
10	0,1118	130,18	0,0038	89,19	1,39
11	0,1193	126,32	0,0075	87,79	1,42
12	0,1266	122,84	0,0073	84,53	1,46
13	0,1340	119,97	0,0074	85,58	1,50

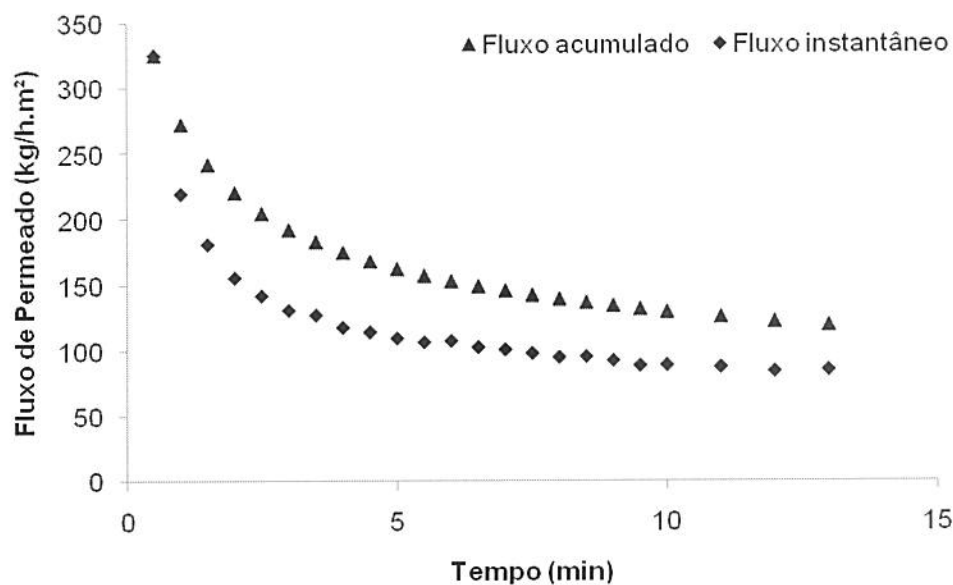


Figura 8.15: Curva de fluxo acumulado e instantâneo de permeado de polpa de caju *in natura* para ultrafiltração, utilizando a membrana de CEL de 30kDa.

Tabela 8.16: Dados experimentais para a nanofiltração, utilizando a membrana de PES de 1kDa, de polpa de caju Comercial sem tratamento enzimático.

t (min)	Massa (perm.) (kg)	Fluxo ac. (kg/m²h)	Massa inst. (kg)	Fluxo inst. (kg/m²h)	FC
0,5	0,0005	11,41	0,0005	11,41	1,00
1	0,0011	12,81	0,0006	14,21	1,00
1,5	0,0013	10,25	0,0002	5,12	1,00
2	0,0017	9,90	0,0004	8,85	1,00
2,5	0,0019	8,99	0,0002	5,36	1,00
3	0,0020	7,76	0,0001	1,63	1,01
3,5	0,0024	8,02	0,0004	9,55	1,01
4	0,0028	8,21	0,0004	9,55	1,01
4,5	0,0031	8,05	0,0003	6,75	1,01
5	0,0031	7,24	0,0000	0,00	1,01
5,5	0,0031	6,58	0,0000	0,00	1,01
6	0,0033	6,44	0,0002	4,89	1,01
6,5	0,0037	6,54	0,0003	7,68	1,01

7	0,0037	6,12	0,0000	0,70	1,01
7,5	0,0039	5,98	0,0002	3,96	1,01
8	0,0042	6,13	0,0004	8,38	1,01
8,5	0,0047	6,38	0,0005	10,48	1,01
9	0,0049	6,38	0,0003	6,29	1,01
9,5	0,0049	6,04	0,0000	0,00	1,01
10	0,0049	5,74	0,0000	0,00	1,01
11	0,0052	5,53	0,0003	3,38	1,01
12	0,0057	5,49	0,0004	5,12	1,01
13	0,0057	5,14	0,0001	0,93	1,01
14	0,0057	4,77	0,0000	0,00	1,01
15	0,0064	4,98	0,0007	7,92	1,02
16	0,0069	5,05	0,0005	6,05	1,02
17	0,0069	4,75	0,0000	0,00	1,02
18	0,0069	4,49	0,0000	0,00	1,02
19	0,0077	4,69	0,0007	8,27	1,02
20	0,0078	4,55	0,0002	1,86	1,02
30	0,0094	3,64	0,0016	1,83	1,02
35	0,0104	3,45	0,0010	2,33	1,03
40	0,0114	3,31	0,0010	2,28	1,03
45	0,0140	3,63	0,0027	6,24	1,04
50	0,0156	3,64	0,0016	3,73	1,04
55	0,0163	3,45	0,0006	1,49	1,04
60	0,0177	3,44	0,0014	3,35	1,05
70	0,0192	3,20	0,0015	1,76	1,05
80	0,0217	3,16	0,0025	2,90	1,06
90	0,0232	3,00	0,0015	1,73	1,06
100	0,0251	2,92	0,0019	2,18	1,07
110	0,0269	2,85	0,0019	2,15	1,07
120	0,0284	2,76	0,0015	1,75	1,08
130	0,0306	2,74	0,0022	2,50	1,08
140	0,0322	2,68	0,0016	1,85	1,09
150	0,0329	2,55	0,0007	0,83	1,09
160	0,0345	2,51	0,0016	1,90	1,09
170	0,0366	2,50	0,0020	2,38	1,10
180	0,0377	2,44	0,0012	1,35	1,10
190	0,0395	2,42	0,0017	2,03	1,11
200	0,0405	2,36	0,0011	1,25	1,11
210	0,0420	2,33	0,0015	1,73	1,12
220	0,0434	2,30	0,0014	1,63	1,12
230	0,0443	2,24	0,0009	1,00	1,12
240	0,0453	2,20	0,0010	1,21	1,13
250	0,0469	2,19	0,0016	1,90	1,13
260	0,0476	2,13	0,0006	0,71	1,13
270	0,0492	2,12	0,0016	1,86	1,14
280	0,0501	2,08	0,0009	1,09	1,14
290	0,0515	2,07	0,0015	1,69	1,15
300	0,0523	2,03	0,0007	0,84	1,15

310	0,0536	2,01	0,0013	1,51	1,15
320	0,0547	1,99	0,0012	1,34	1,16
330	0,0555	1,96	0,0008	0,91	1,16
340	0,0568	1,95	0,0013	1,53	1,17
350	0,0582	1,94	0,0014	1,63	1,17
360	0,0586	1,89	0,0004	0,44	1,17
370	0,0598	1,88	0,0013	1,47	1,18
380	0,0611	1,87	0,0013	1,51	1,18
390	0,0620	1,85	0,0008	0,98	1,18
400	0,0626	1,82	0,0006	0,66	1,19
410	0,0636	1,81	0,0010	1,20	1,19
420	0,0649	1,80	0,0013	1,54	1,19
430	0,0659	1,78	0,0010	1,11	1,20
440	0,0668	1,77	0,0009	1,07	1,20
450	0,0678	1,75	0,0010	1,16	1,20
460	0,0680	1,72	0,0002	0,24	1,20
470	0,0685	1,70	0,0005	0,61	1,21
480	0,0693	1,68	0,0008	0,98	1,21
490	0,0703	1,67	0,0010	1,13	1,21
500	0,0712	1,66	0,0008	0,98	1,22
510	0,0723	1,65	0,0011	1,28	1,22
520	0,0735	1,65	0,0012	1,42	1,23
530	0,0742	1,63	0,0007	0,80	1,23
540	0,0753	1,62	0,0011	1,30	1,23
550	0,0760	1,61	0,0007	0,82	1,23
560	0,0763	1,59	0,0003	0,31	1,24
570	0,0779	1,59	0,0016	1,89	1,24
580	0,0784	1,57	0,0005	0,57	1,24
590	0,0791	1,56	0,0008	0,91	1,25
600	0,0805	1,56	0,0013	1,53	1,25

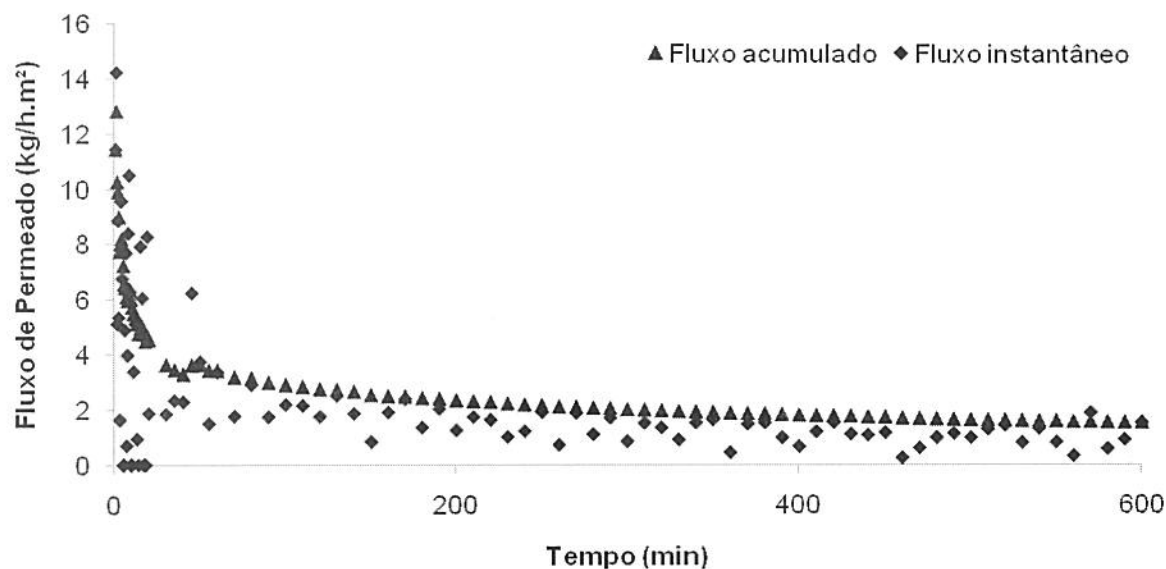


Figura 8.16: Curva de fluxo acumulado e instantâneo de permeado de polpa de caju Comercial sem tratamento enzimático para nanofiltração, utilizando a membrana de PES de 1kDa.

Tabela 8.17: Dados experimentais para a nanofiltração, utilizando a membrana de PES de 1kDa, de polpa de caju *in natura*.

t (min)	Massa (perm.) (kg)	Fluxo ac. (kg/m²h)	Massa inst. (kg)	Fluxo inst. (kg/m²h)	FC
0,5	0,0009	21,19	0,0009	21,19	1,00
1	0,0019	22,12	0,0010	23,05	1,00
1,5	0,0028	21,73	0,0009	20,96	1,01
2	0,0037	21,48	0,0009	20,73	1,01
2,5	0,0046	21,38	0,0009	20,96	1,01
3	0,0055	21,27	0,0009	20,73	1,01
3,5	0,0058	19,30	0,0003	7,45	1,01
4	0,0067	19,47	0,0009	20,73	1,02
4,5	0,0075	19,41	0,0008	18,86	1,02
5	0,0083	19,31	0,0008	18,40	1,02
5,5	0,0086	18,14	0,0003	6,52	1,02
6	0,0093	18,13	0,0008	17,93	1,02
6,5	0,0102	18,18	0,0008	18,86	1,03
7	0,0109	18,05	0,0007	16,30	1,03
7,5	0,0115	17,92	0,0007	16,07	1,03
8	0,0119	17,31	0,0004	8,15	1,03
8,5	0,0126	17,23	0,0007	16,07	1,03

9	0,0134	17,32	0,0008	18,86	1,03
9,5	0,0141	17,27	0,0007	16,30	1,04
10	0,0145	16,92	0,0004	10,25	1,04
11	0,0156	16,56	0,0011	12,92	1,04
12	0,0167	16,17	0,0010	11,88	1,04
13	0,0174	15,57	0,0007	8,38	1,05
14	0,0186	15,43	0,0012	13,62	1,05
15	0,0196	15,19	0,0010	11,88	1,05
16	0,0209	15,20	0,0013	15,25	1,05
17	0,0217	14,86	0,0008	9,55	1,06
18	0,0225	14,55	0,0008	9,20	1,06
19	0,0234	14,35	0,0009	10,83	1,06
20	0,0240	13,99	0,0006	7,10	1,06
30	0,0320	12,42	0,0080	9,29	1,09
35	0,0364	12,10	0,0044	10,18	1,10
40	0,0391	11,39	0,0028	6,40	1,11
45	0,0422	10,93	0,0031	7,22	1,12
50	0,0451	10,50	0,0029	6,66	1,13
55	0,0482	10,20	0,0031	7,20	1,14
60	0,0505	9,79	0,0023	5,29	1,14
70	0,0567	9,43	0,0063	7,29	1,16
80	0,0626	9,12	0,0059	6,90	1,18
90	0,0680	8,80	0,0054	6,28	1,20
100	0,0708	8,24	0,0027	3,17	1,21
110	0,0752	7,96	0,0044	5,17	1,23
120	0,0799	7,75	0,0047	5,43	1,25
130	0,0850	7,61	0,0051	5,97	1,27
140	0,0905	7,52	0,0055	6,37	1,29
150	0,0922	7,16	0,0018	2,04	1,30
160	0,0964	7,01	0,0042	4,86	1,32
170	0,0997	6,83	0,0033	3,82	1,33
180	0,1031	6,67	0,0034	4,02	1,35
190	0,1078	6,61	0,0047	5,52	1,37
200	0,1103	6,42	0,0024	2,81	1,38
210	0,1142	6,33	0,0040	4,60	1,40
220	0,1166	6,17	0,0024	2,77	1,41
230	0,1200	6,07	0,0034	3,98	1,43
240	0,1227	5,95	0,0027	3,16	1,44
250	0,1254	5,84	0,0027	3,18	1,45
260	0,1285	5,76	0,0031	3,61	1,47
270	0,1313	5,66	0,0028	3,21	1,49
280	0,1339	5,57	0,0026	3,04	1,50

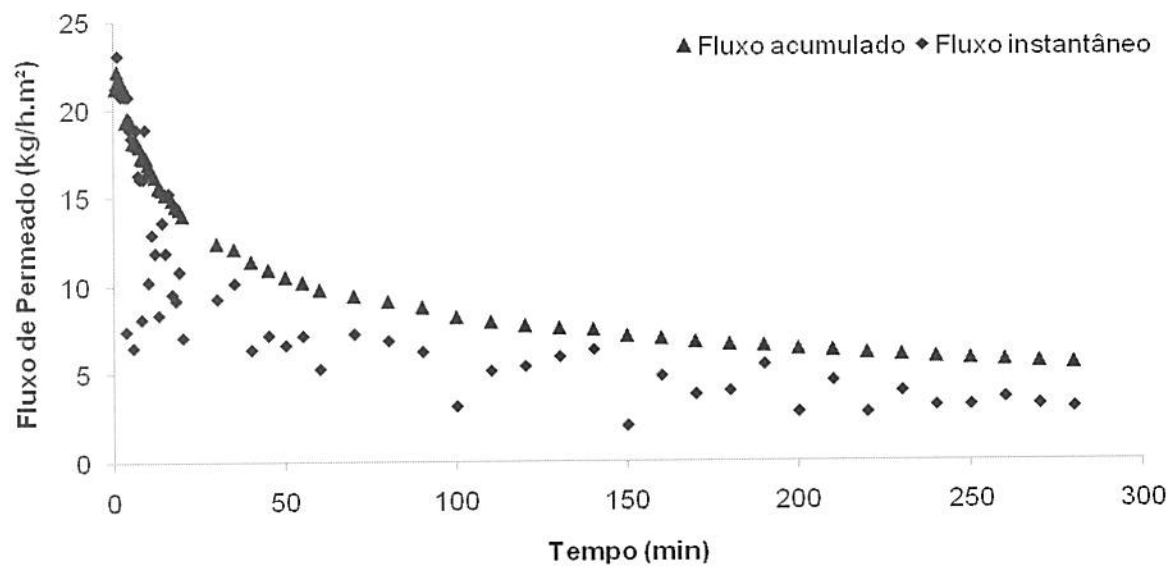


Figura 8.17: Curva de fluxo acumulado e instantâneo de permeado de polpa de caju *in natura* para nanofiltração, utilizando a membrana de PES de 1kDa.

8.2 Curvas de Fluxo de Permeado (Unidade Piloto)

Todos os experimentos realizados na unidade piloto conduzidos sob as mesmas condições de pressão, temperatura e área de permeação: 2 bar, 50°C e 0,017 m², respectivamente. A massa inicial de alimentação foi de 12kg e as corridas foram realizadas até fator de concentração igual a 1,5. Nas tabelas a seguir estão apresentados os dados obtidos para o fluxo de permeado para cada experimento.

Tabela 8.18: Dados experimentais para ultrafiltração de polpa de caju Comercial sem tratamento enzimático utilizando membrana de CEL de 30kDa, em unidade piloto.

t (min)	Massa (perm.) (kg)	Fluxo ac. (kg/m ² h)	Massa inst. (kg)	Fluxo inst. (kg/m ² h)	FC
0,5	0,025	176,47	0,025	176,47	1,03
2	0,095	167,65	0,070	164,71	1,04
3	0,140	164,71	0,045	158,82	1,04
4,5	0,210	164,71	0,070	164,71	1,05
5	0,235	165,88	0,025	176,47	1,05
5,5	0,260	166,84	0,025	176,47	1,06
6	0,285	167,65	0,025	176,47	1,06
6,5	0,310	168,33	0,025	176,47	1,06
7,5	0,360	169,41	0,050	176,47	1,07
9	0,435	170,59	0,075	176,47	1,07
9,5	0,460	170,90	0,025	176,47	1,08
10	0,485	171,18	0,025	176,47	1,08
11	0,535	171,66	0,050	176,47	1,08
12	0,585	172,06	0,050	176,47	1,09
13	0,640	173,76	0,055	194,12	1,09
14	0,690	173,95	0,050	176,47	1,10
15	0,745	175,29	0,055	194,12	1,10
16	0,800	176,47	0,055	194,12	1,11
17	0,855	177,51	0,055	194,12	1,12
18	0,910	178,43	0,055	194,12	1,12
19	0,965	179,26	0,055	194,12	1,13
20	1,025	180,88	0,060	211,76	1,13
25	1,315	185,65	0,290	204,71	1,17
30	1,600	188,24	0,285	201,18	1,20
35	1,920	193,61	0,320	225,88	1,24
40	2,220	195,88	0,300	211,76	1,28
47	2,615	196,37	0,395	199,16	1,34
50	2,780	196,24	0,165	194,12	1,36

55	3,040	195,08	0,260	183,53	1,41
60	3,310	194,71	0,270	190,59	1,45
70	3,930	198,15	0,620	218,82	1,57

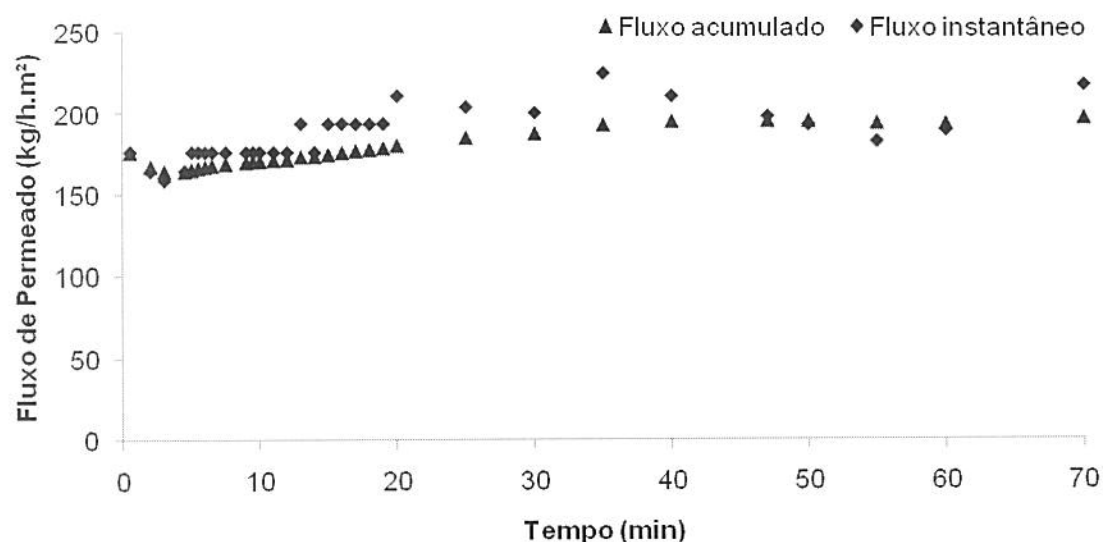


Figura 8.18: Curva de fluxo acumulado e instantâneo de permeado de polpa de caju Comercial sem tratamento enzimático em unidade piloto de ultrafiltração, utilizando membrana de CEL de 30kDa.

Tabela 8.19: Dados experimentais para ultrafiltração de polpa de caju *in natura* utilizando membrana de CEL de 30kDa, em unidade piloto.

t (min)	Massa (perm.) (kg)	Fluxo ac. (kg/m²h)	Massa inst. (kg)	Fluxo inst. (kg/m²h)	FC
1	0,155	547,06	0,155	547,06	1,05
2	0,315	555,88	0,160	564,71	1,07
3	0,480	564,71	0,165	582,35	1,09
4	0,635	560,29	0,155	547,06	1,11
5	0,795	561,18	0,160	564,71	1,13
6	0,945	555,88	0,150	529,41	1,15
7	1,105	557,14	0,160	564,71	1,18
8	1,245	549,26	0,140	494,12	1,20
9	1,380	541,18	0,135	476,47	1,22
10	1,520	536,47	0,140	494,12	1,24
11	1,670	535,83	0,150	529,41	1,26
12	1,795	527,94	0,125	441,18	1,28
14	2,040	514,29	0,245	432,35	1,33
16	2,280	502,94	0,240	423,53	1,37
18	2,510	492,16	0,230	405,88	1,42

20	2,795	493,24	0,285	502,94	1,48
22	2,995	480,48	0,200	352,94	1,53

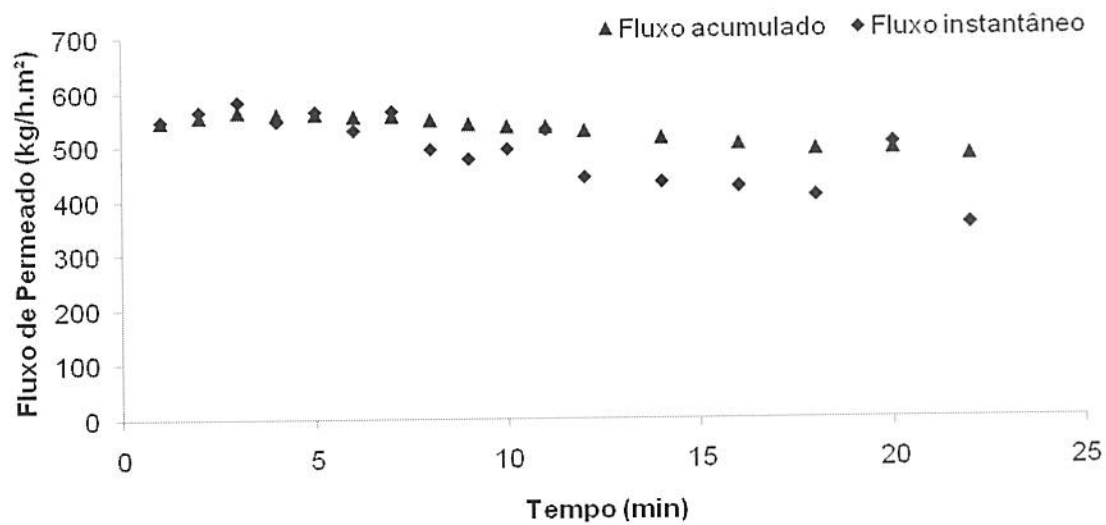


Figura 8.19: Curva de fluxo acumulado e instantâneo de permeado de polpa de caju *in natura* em unidade piloto de ultrafiltração, utilizando membrana de CEL de 30kDa.

8.3 Ajuste ao modelo baseado na teoria da renovação da superfície

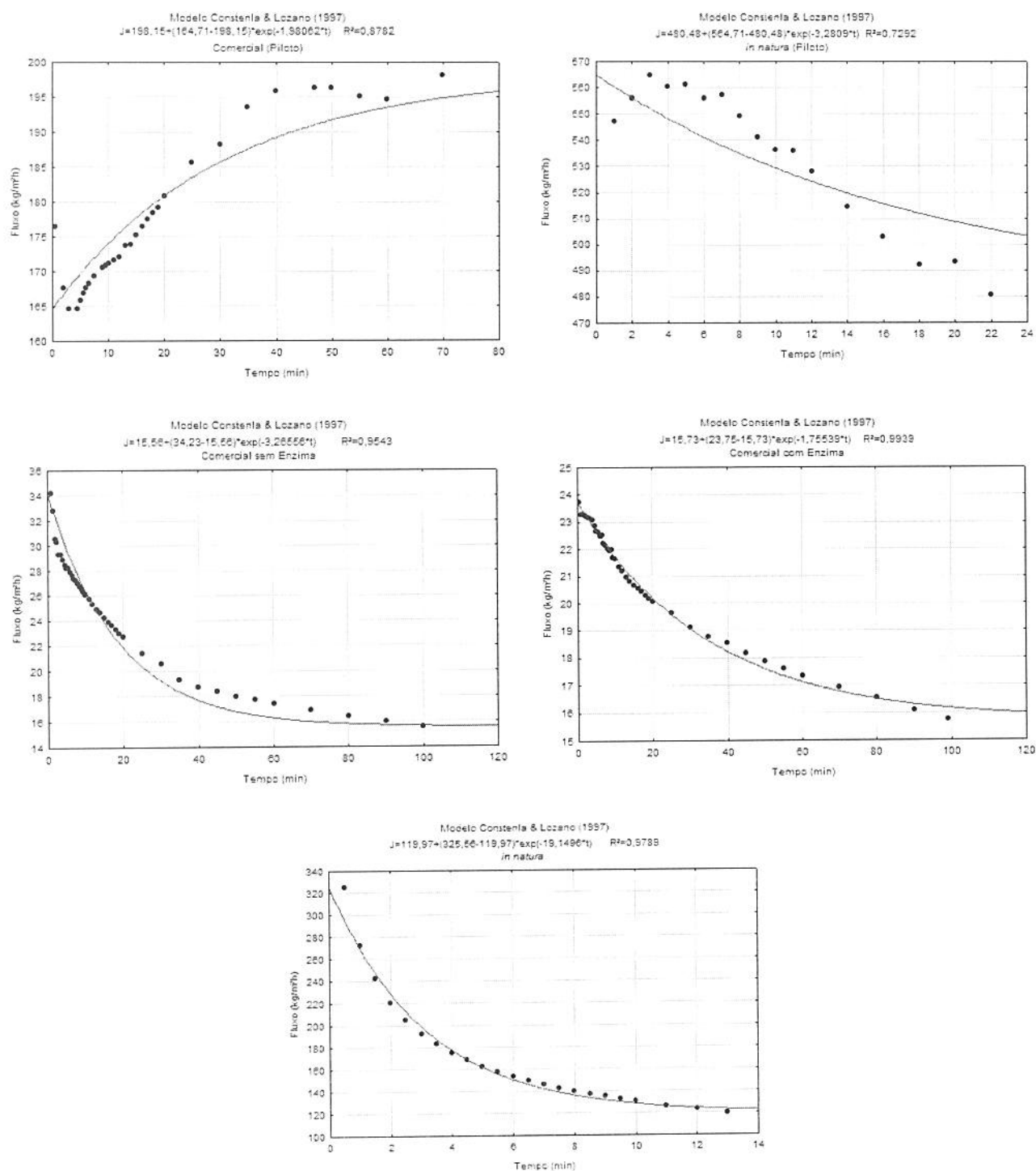


Figura 8.20: Ajuste dos dados experimentais ao modelo de renovação da superfície.

8.4 Ajuste ao modelo proposto por Breslau & Kilcullen (1977)

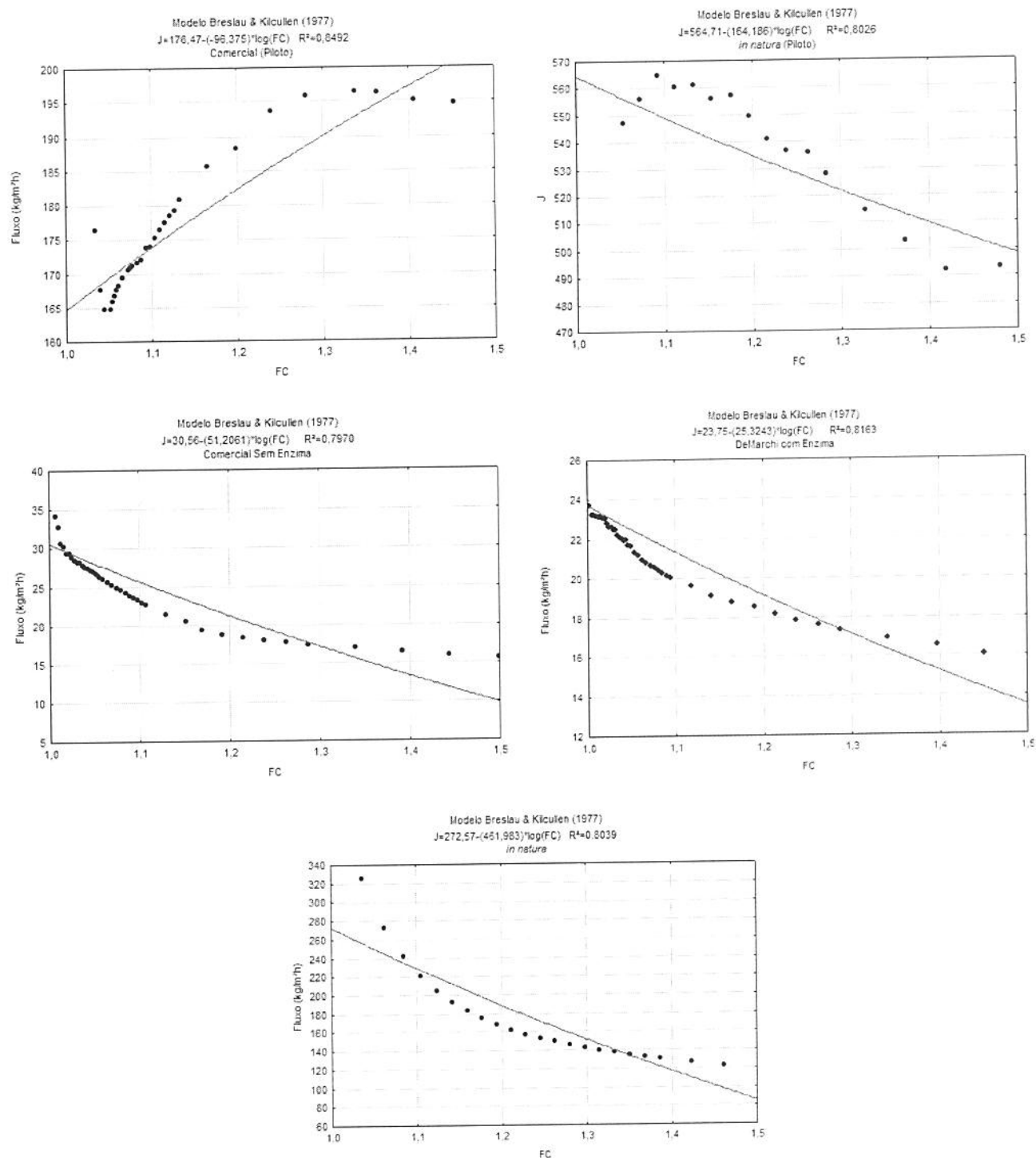


Figura 8. 21: Ajuste dos dados experimentais ao modelo proposto por Breslau & Kilcullen (1977).