

**UFRRJ**

**INSTITUTO DE TECNOLOGIA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
DE ALIMENTOS**

**TESE**

**CONCENTRAÇÃO DE LICOPENO DE SUCO DE MELANCIA  
ATRAVÉS DE PROCESSOS DE SEPARAÇÃO POR MEMBRANAS**

**FLÁVIA DOS SANTOS GOMES**

**2009**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
DE ALIMENTOS**

**CONCENTRAÇÃO DE LICOPENO DE SUCO DE MELANCIA  
ATRAVÉS DE PROCESSOS DE SEPARAÇÃO POR MEMBRANAS**

**FLÁVIA DOS SANTOS GOMES**

*Sob a orientação da Dra*  
**Lourdes Maria Correa Cabral**

*e Co-orientação da Dra*  
**Sônia Couri**

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Área de Concentração em Tecnologia de Alimentos.

Seropédica, RJ.  
Julho, 2009

664.805615

G633c

Gomes, Flávia dos Santos, 1973-

T

Concentração de licopeno de suco de melancia através de processos de separação por membranas / Flávia dos Santos Gomes - 2009.

Vi, 95 f. : il.

Orientador: Lourdes Maria Correa Cabral.

Tese (doutorado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Bibliografia: f. 82-95.

1. Suco de melancia - Indústria - Teses. 2. Melancia - Cultivo - Teses. 3. Melancia - Teses. I. Cabral, Lourdes Maria Correa. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. III. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO**  
**INSTITUTO DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE**  
**ALIMENTOS**

**FLÁVIA DOS SANTOS GOMES**

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, área de Concentração em Tecnologia de Alimentos.

TESE APROVADA EM 28/07/2009

---

Dra. Lourdes Maria Corrêa Cabral  
Embrapa Agroindústria de Alimentos  
(Orientador)

---

Profa. Dra. Suely Pereira de Freitas  
Escola de Química - UFRJ

---

Profa. Dra. Maria Helena Miguez da Rocha Leão  
Escola de Química - UFRJ

---

Profa. Dra. Leda Maria Fortes Gottschalk  
Instituto de Química - UFRJ

---

Dr. Ronoel Luiz de Oliveira Godoy  
Embrapa Agroindústria de Alimentos

## DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Itamar e Ana Lúcia, por todo amor, carinho e dedicação. Tenho certeza que sem vocês nada disso teria sido possível, pois a educação que recebi é a base da minha existência.

Ao meu irmão Felipe, espero que lhe sirva de referência para continuar sua trajetória.

Ao meu esposo Sérgio, pela paciência, compreensão e companheirismo que foram fundamentais nos momentos mais difíceis dessa caminhada.

Ao meu filho João Vítor, um presente de Deus, que desde sua chegada tem sido a razão da minha vida.

Especialmente a você, pai, que, ao cumprir sua missão, partiu e nos deixou um enorme vazio. Quanta saudade...

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por ter me concedido saúde e sabedoria para a realização deste trabalho.

À minha querida orientadora, Dra. Lourdes Cabral, que independente das dificuldades, me presenteou com seus ensinamentos, carinho e amizade. Agradeço pelo apoio e pela grande oportunidade que me foi concedida.

À também querida Dra Sônia Couri, minha co-orientadora, não só pela grande colaboração profissional durante o trabalho, mas também pelo constante incentivo para seguir em frente, por toda amizade e carinho demonstrados.

Às minhas queridas estagiárias e amigas Bia e Priscila pela dedicação à realização deste trabalho.

Em especial à Perê, que muitas vezes sacrificou seus dias de folga para me ajudar. E também à Flávia Pingo pela ajuda na análise sensorial.

À Fátima Fernandes, diretora do Colégio Estadual Marechal Alcides Etchgoyen, que permitiu a realização da análise sensorial nas dependências da escola.

Aos alunos do Colégio Marechal Alcides que colaboraram participando como provadores dos testes sensoriais.

Aos membros da banca, pela atenção e tempo dedicados à correção do trabalho. Obrigada pelas valiosas sugestões e correções.

Aos meus queridos amigos Luiz Fernando (os dois), Sérgio, Mônica, Flávia Pingo, Isabelle, Poliana, Alcilúcia, André (os dois), Daniel, Aline (as duas), Selma, José Carlos, Tânia, PS, enfim, agradeço a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a execução deste trabalho de pesquisa.

## RESUMO

GOMES, Flávia dos Santos. **Concentração de licopeno de suco de melancia através de processos de separação por membranas**. 2009. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Instituto de Tecnologia, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2009.

A melancia (*Citrullus lanatus var lanatus*) é um fruto originário das regiões tropicais da África Equatorial que vem despertando interesse na área científica devido ao seu alto teor de licopeno. Para aumentar seu potencial de comercialização, a melancia deve ser processada quer seja na forma de suco integral, concentrado, pasteurizado ou desidratado, a fim de se produzir um pó estável. Os processos de separação por membrana são conduzidos em condições brandas de temperatura, preservando os compostos termosensíveis e, portanto, mantêm a qualidade do produto final. Têm sido apontados para o processamento de sucos, tanto para sua conservação como para a concentração. Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do processamento de suco de melancia integral por microfiltração e osmose inversa sobre o teor de licopeno e, conseqüentemente, na capacidade antioxidante do suco obtido. A microfiltração foi realizada com membranas cerâmicas de tamanho médio de poros de 0,1µm e área de permeação de 0,22 m<sup>2</sup>. Neste processo, foi avaliada a influência da temperatura (T) e velocidade tangencial (v) do suco de melancia sobre o fluxo permeado médio (J), no teor de licopeno (L) e na capacidade antioxidante (CA) do suco concentrado. Os experimentos realizados seguiram um planejamento fatorial completo 2<sup>2</sup> com triplicata no ponto central. Observou-se que o aumento da velocidade tangencial e da temperatura exerceu um efeito positivo no fluxo permeado. Para as respostas aumento no teor de licopeno e aumento da atividade antioxidante, apenas a velocidade tangencial foi significativa. A osmose inversa foi realizada a 30°C e 60 bar, com membranas compostas de poliamida, acondicionadas em módulo do tipo quadro e placas. Os processos de concentração apresentaram fluxo permeado inicial de 44,3 L.h<sup>-1</sup>.m<sup>2</sup> e fluxo médio de 18,6 L.h<sup>-1</sup>.m<sup>2</sup>. O suco concentrado atingiu um teor de sólidos solúveis de 30°Brix, correspondendo a um fator de concentração de 3,6. O teor de licopeno e a capacidade antioxidante do suco retido aumentaram, respectivamente, 3,2 e 2,4 vezes em relação ao suco original. O suco retido obtido na melhor condição do processo de microfiltração foi microencapsulado em um atomizador de bancada, utilizando-se uma mistura de goma arábica e maltodextrina como agentes encapsulantes. O produto microencapsulado apresentou um aumento de 216% no teor de licopeno e 192,5% na capacidade antioxidante, porém foram susceptíveis à degradação durante o armazenamento. A análise sensorial do suco concentrado por osmose inversa e posteriormente reconstituído revelou não haver diferença significativa deste quando comparado ao suco *integral*, ou seja, os consumidores não perceberam que o suco havia sido submetido ao processo de osmose inversa. Foi formulada uma bebida láctea com o retido da OI que obteve boa aceitabilidade, variando de 70 a 83% para os atributos cor, aroma e sabor. Os resultados obtidos neste trabalho mostram que os processos de microfiltração e osmose inversa foram eficazes na concentração do suco de melancia, aumentando a concentração de licopeno, preservando sua qualidade físico-química e aumentando sua capacidade antioxidante sem prejuízo dos atributos sensoriais.

Palavras chaves: melancia, licopeno, membranas

## ABSTRACT

GOMES, Flávia dos Santos. **Concentration of lycopene from watermelon juice by membrane separation processes**, 2009. Tese (Doctor in Food Science and Technology). Instituto de Tecnologia, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2009.

Watermelon (*Citrullus lanatus var lanatus*) is a fruit originally from Africa which has been object of scientific interest due its high lycopene content. To increase your marketing potential the watermelon has to be processed either as a fresh single strength juice or as a concentrated or pasteurized juices or still dried in order to produce a stable powder. Membrane separation processes are conducted at low temperatures maintaining the quality of the final product. They have been suggested for the processing of fruit juices, for their preservation and concentration. The aim of this work was to study microfiltration and reverse osmosis processes to concentrate fresh watermelon juice evaluating its effect on lycopene content and consequently on the antioxidant capacity of the obtained juice. Microfiltration processes were conducted in a system with ceramic membrane of medium pore size of 0.1 $\mu$ m and effective filtration area of 0.22 m<sup>2</sup>. It was evaluated the influence of the process variables, temperature (T) and flow rate (F), on the permeate flux (J), lycopene content (L) and antioxidant capacity (AC) of the obtained juice. The experiments were carried out according to a complete factorial design 2<sup>2</sup>, with triplicate at the central point. It was observed that flow rate and temperature resulted in significative effects on the permeate flux. Regarding the lycopene content and antioxidant capacity just the flow rate had significant effects. The reverse osmosis trials were carried out at 30°C and 60 bar, with polyamide composite membranes, in plate and frame configuration module. The concentration processes presented an initial permeate flux of 44.3L.h<sup>-1</sup>.m<sup>-2</sup> and an average permeate flux of 18.63 L.h<sup>-1</sup>.m<sup>-2</sup>. The concentrated juice reached 30° Brix, corresponding to a concentration factor of 3.6. The lycopene content and antioxidant capacity increased, respectively, 3.2 and 2.4 folds in relation to the single strength juice. The juice obtained at the best condition of the microfiltration experimental design was microencapsulated by spray-drying with arabic gum and maltodextrin as encapsulating agents. The microencapsulated product increased in 216% its lycopene content and 192.5% its antioxidant capacity, but degradation processes happen during the storage period. Sensorial analysis shows no significant difference between the fresh juice and the concentrated by reverse osmosis and reconstituted, that means that the consumers did not perceive that the juice was submitted to RO process. The formulated milk beverage prepared from the retentate of reverse osmosis had a good acceptability regarding the color, flavor and taste attributes, with approval notes ranging from 70% to 83%. The results obtained in this work show that the microfiltration and reverse osmosis processes can be effective to watermelon juice processing concentrating the lycopene, preserving its physical and chemical properties and improving its antioxidant capacity maintaining its sensorial attributes.

Key words: watermelon, lycopene and membranes.



## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Melancia	3
2.1.2 Condições de cultivo e características da cultura	4
2.1.3 Composição química	5
2.2 Carotenóides	6
2.3 Licopeno	8
2.3.1 Licopeno e a saúde humana	9
2.3.2 Biodisponibilidade do licopeno	10
2.4 Radicais livres e principais antioxidantes naturais	11
2.4.1 Capacidade antioxidante total	12
2.5 Alimentos funcionais	14
2.6 Iogurte	17
2.7 Processos de separação por membranas	17
2.7.1 Membranas	18
2.7.2 Mecanismos de transporte e separação em membranas	20
2.7.3 Tecnologia de membranas	22
2.7.4 Microfiltração	23
2.7.5 Osmose inversa	24
2.8 Encapsulação	25
2.9 Análise sensorial	27
3 MATERIAIS E MÉTODOS	28
3.1 Material	28
3.1.1 Matéria-prima	28
3.1.2 Outros	28
3.1.3 Membranas	28
3.2 Métodos	29
3.2.1 Obtenção do suco de melancia	29
3.2.2 Microfiltração	29
1.1 Sistema em escala de laboratório quadro e placas	29
1.2 Sistemas semi-pilotos	29
1.2.1 Módulo piloto de microfiltração com membrana polimérica	29
1.2.1 Módulo piloto de microfiltração com membrana cerâmicas	30
3.2.3 Osmose inversa	30
3.2.4 Testes preliminares de microfiltração	31
3.2.4a Membrana de polissulfona plana	31
3.2.4b Membrana de polissulfona tubular	32
3.2.4c Membrana cerâmica tubular	32
3.2.5 Planejamento experimental	32
3.2.6 Concentração por osmose inversa	33
3.2.7 Parâmetros de acompanhamento dos processos com membranas	33
3.2.7.1 Fluxo volumétrico	33
3.2.7.2 Fator de concentração volumétrico	33

3.2.7.3 Finalização dos processos	34
3.2.7.4 Permeabilidade hidráulica	34
3.2.7.5 Permeabilidade com o suco de melancia	34
3.2.8 Limpeza dos sistemas de membranas	34
3.2.8.1 Membranas de microfiltração: polimérica ou cerâmica	34
3.2.8.2 Membranas de osmose inversa	35
3.2.9 Encapsulamento	35
3.2.10 Análise sensorial	35
3.3 Determinações analíticas	36
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1 Caracterização do suco de melancia	41
4.2 Testes preliminares	45
4.2.1 Avaliação da influência da configuração do sistema na concentração de licopeno	45
4.2.1.1 Membrana polimérica plana	45
4.2.1.2 Membrana polimérica tubular	46
4.2.1.3 Membrana polimérica versus membrana tubular	49
4.2.2 Avaliação da influência do material da membrana no processo de concentração do licopeno	49
4.3 Concentração de licopeno por microfiltração em membrana cerâmica de $\alpha$ -alumina	53
4.3.1 Permeabilidade hidráulica da membrana cerâmica	53
4.3.2 Permeabilidade hidráulica com suco de melancia	53
4.3.3 Planejamento experimental	54
4.3.4 Avaliação do desempenho do processo de microfiltração	59
4.3.4.1 Fluxo permeado médio ( $J_m$ )	59
4.3.4.2 Aumento do teor de licopeno na fração retida	62
4.3.4.3 Aumento da capacidade antioxidante na fração retida	65
4.4 Concentração do suco de melancia pelo processo de osmose inversa	68
4.5 Aplicações dos concentrados de licopeno obtidos nos processos de separação por membranas	72
4.5.1 Microencapsulação do licopeno	72
4.5.1.1 Rendimento do processo de microencapsulação	72
4.5.1.2 Teor de licopeno e capacidade antioxidante do pó encapsulado por <i>spray drier</i>	73
4.5.1.3 Avaliação da estabilidade das microcápsulas	73
4.5.2 Avaliação sensorial	75
4.5.2.1 Teste pareado de preferência com suco de melancia	75
4.5.2.2 Teste de aceitação e intenção de da bebida láctea light sabor melancia.	76
5 CONCLUSÕES	80
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	81
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82

## 1 INTRODUÇÃO

A melancia de polpa vermelha (*Citrullus lanatus var lanatus*) é um alimento muito apreciado por suas características sensoriais relacionadas aos atributos aroma, cor, doçura e suculência e que, nos últimos anos, vem se destacando como um importante produto do agronegócio brasileiro (IBGE, 2008). Além disso, é uma fonte natural de licopeno, um carotenóide, de grande interesse devido a sua capacidade antioxidante, que tem sido relacionada à diminuição do risco de diversos tipos de cânceres e problemas cardiovasculares (ALMEIDA *et al.*, 2003; KRIS-ETHERTON *et al.*, 2002; RODRIGUEZ - AMAYA, 2001).

A procura cada vez maior por uma alimentação capaz de prevenir certas doenças desencadeou no aumento do consumo de frutas e sucos frescos, assim como de bebidas industrializadas a base de frutas. Ao mesmo tempo, a demanda por alimentos que preservem suas características sensoriais e nutricionais após o processamento tem levado as indústrias a investir em novas tecnologias para adequar-se a essa nova tendência de mercado.

Tradicionalmente, a conservação e a concentração de sucos de frutas têm sido realizadas pelo uso de calor, o que pode resultar na alteração de aroma e sabor e na degradação de compostos nutricionais dos produtos, uma vez que estes atributos são conferidos por substâncias termosensíveis.

Quando comparada aos processos convencionais de conservação e/ou concentração, a tecnologia de membranas figura como uma opção para minimizar os efeitos adversos do calor. Em geral não envolvem mudança de fase, nem a necessidade de utilização de temperaturas elevadas, garantindo a manutenção das características sensoriais e nutricionais do produto, além de operar com um menor consumo de energia. Além disso, dependendo da seletividade da membrana utilizada é possível fracionar ou concentrar diferentes compostos.

Os processos de separação por membranas vêm sendo utilizados e avaliados para a obtenção de sucos de frutas clarificados e/ou concentrados, que preservem ou melhorem suas características sensoriais, nutricionais e mesmo as funcionais (KOROKNAI *et al.*; GALAVERNA *et al.*, 2008).

A concentração do licopeno através dos processos de separação por membranas a partir de sucos de frutas têm-se mostrado um processo viável (MIRANDA, 2007; CLARETO, 2007), de forma que podem representar uma boa alternativa para produção industrial deste composto.

Neste contexto, este trabalho tem por objetivo concentrar o licopeno do suco de melancia usando os processos de separação por membranas e avaliar o efeito dos mesmos na atividade antioxidante do produto concentrado.

Os objetivos específicos foram:

- Caracterizar o suco de melancia quanto às suas propriedades físicas, químicas e seu potencial antioxidante.
- Determinar a influência da geometria e do tipo de material da membrana utilizada no processo de microfiltração sobre a qualidade do produto retido.
- Determinar as melhores condições de temperatura e velocidade tangencial para os processos de microfiltração de suco de melancia considerando o fluxo permeado, a

concentração do licopeno e capacidade antioxidante do produto concentrado obtido no processo de microfiltração.

- Avaliar a eficiência do processo de concentração por osmose inversa e a manutenção das propriedades físico-químicas e sensorial, do teor de licopeno e da capacidade antioxidante do suco concentrado.
- Avaliar a viabilidade de aplicação dos concentrados obtidos em formulações ou como ingredientes para a indústria alimentícia.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Melancia

A melancia pertence à família *Curcubitaceae*. O gênero *Citrullus* compreende quatro espécies, dentre as quais a *Citrullus lanatus* variedade *lanatus*, na qual a mesma se enquadra (ALMEIDA, 2003).

A melancia (*Citrullus lanatus* var *lanatus*) cultivada no Brasil é um fruto originário das regiões tropicais da África Equatorial. Acredita-se que a introdução da cultura no país ocorreu no século XVII por escravos africanos, principalmente das tribos Sudanesa e Banto, que habitavam as áreas de origem da melancia na África. Vale salientar que as amostras africanas encontraram excelentes condições climáticas para o seu desenvolvimento e que as mesmas entraram no Brasil desde o Rio de Janeiro até o Maranhão e, em seguida, avançaram para o interior do nordeste brasileiro à medida que o mesmo ia sendo ocupado (SALDANHA, 1989; CASTELLANNI e CORTEZ, 1995).

Segundo dados da FAO, em 2006, a produção mundial de melancia foi de cerca de 95,2 milhões de toneladas, sendo os maiores produtores a China, Turquia, Irã, Estados Unidos, e o Egito, que representam mais de 82% da produção mundial (FAO, 2007). É importante ressaltar que, atualmente, a melancia é uma das principais frutas em volume de produção mundial e também está entre as dez principais hortifrutícolas mais exportadas, com um mercado estimado em mais de 1,7 milhões de toneladas por ano. Os principais países importadores são Estados Unidos, Canadá, Alemanha, Polônia e França, que acumularam em 2004 mais de 49% das importações. Com relação aos países exportadores, o México está na primeira colocação, seguido pela Espanha, Hungria e Estados Unidos. As exportações brasileiras de melancia ainda são reduzidas, embora na última década tenha se registrado uma significativa tendência de crescimento, passando de 6,1 mil toneladas em 1995 para 16,1 mil toneladas em 2004 (FAO, 2007 citado por Araújo, 2009).

Segundo dados do IBGE (2006), no Brasil, a produção anual está em torno de 1.614 mil toneladas sendo superada apenas pelas culturas de tomate, batata e cebola. Atualmente, a melancia é cultivada em quase todos os estados brasileiros, sendo os principais produtores Rio Grande do Sul (132.810 t), Bahia (75.949 t), São Paulo (68.330 t) e Goiás (54.194 t) que totalizaram 58% dos frutos produzidos no país, conforme pode ser observado no Quadro 1.

**Quadro 1:** Médias de área colhida, produção e rendimento de frutos nas principais regiões e estados produtores de melancia no Brasil (1990 -2004).

Regiões/Estados	Área colhida (ha)	Produção (t)	Rendimento (kg/ha)
<b>Nordeste</b>	<b>29.718</b>	<b>172.181</b>	<b>5.794</b>
Piauí	3.397	15.015	4.420
Ceará	535	3.091	5.778
Paraíba	363	2.103	5.793
Pernambuco	3.582	30.809	8.601
Sergipe	461	4.415	9.577
Bahia	11.660	75.949	6.514
<b>Sul</b>	<b>21.652</b>	<b>179.123</b>	<b>8.273</b>
Paraná	2.291	29.224	12.756
Santa Catarina	2.406	17.090	7.103
Rio Grande do Sul	16.955	132.810	7.833
<b>Sudeste</b>	<b>8.755</b>	<b>78.448</b>	<b>8.960</b>
Minas Gerais	1.109	8.952	8.072
Espírito Santo	118	709	6.008
Rio de Janeiro	145	739	5.097
São Paulo	7.431	68.330	9.195
<b>Centro-Oeste</b>	<b>7.484</b>	<b>70.322</b>	<b>9.396</b>
Mato Grosso de Sul	650	7.282	11.203
Mato Grosso	989	8.744	8.841
Goiás	5.838	54.194	9.283
<b>Brasil</b>	<b>75.795</b>	<b>571.581</b>	<b>7.541</b>

Fonte: IBGE (2006).

### 2.1.2 Condições de cultivo e características da cultura

Atualmente, a melancia é cultivada praticamente em todo o país, tanto em condições de sequeiro como em regime irrigado. O sistema de cultivo sob irrigação vem crescendo, sobretudo na região nordeste, o que tem permitido ao produtor ofertar frutos de melhor qualidade aos mercados interno e externo (EMBRAPA, 2007).

Segundo Castellanni e Cortez (1995), a temperatura é considerada o fator climático mais importante na cultura da melancia, influenciando diretamente os processos de germinação, desenvolvimento vegetativo, abertura das flores e sabor dos frutos. De um modo geral, a faixa considerada ótima para cada uma dessas fases varia de 20 a 30°C.

A melancia é uma planta rasteira, com folhas médias e flores pequenas, de coloração amarela ou branca. Os frutos são constituídos por uma baga, de paredes externas duras e internas carnosas. A fruta pode ser arredondada ou alongada, com tamanho variável entre 25 e 75 cm. Quando maduro, a coloração externa varia de verde-cana a verde-escuro, enquanto que na polpa a coloração é predominantemente vermelha (CASTELLANNI e CORTEZ, 1995). Entretanto, no Japão, Estados Unidos, Europa e Ásia são comuns variedades de melancia com polpa amarela que apresentam sabor e propriedades nutritivas semelhantes às da melancia de polpa vermelha. A pigmentação vermelha da polpa de melancia é conferida pelo licopeno e, nas cultivares de polpa amarela, a cor é conferida por  $\beta$ - caroteno e xantofilas (ALMEIDA, 2003; EMBRAPA, 2009).

Com o intuito de fornecer melhoria na qualidade de vida das pessoas, pesquisadores brasileiros, através de técnicas de melhoramento genético, decidiram unir os benefícios das variedades amarela e vermelha e obtiveram frutos alaranjados, ricos em betacaroteno e com características sensoriais semelhantes às já conhecidas. Na Figura 1 são apresentados frutos de melancia com diferentes colorações de polpa em função do conteúdo dos carotenóides presentes (EMBRAPA, 2008).



**Figura 1:** Variação da coloração da polpa da melancia em função do tipo e conteúdo de carotenóides

Fonte: Brum, L, 2009.

### 2.1.3 Composição química

Dentre os frutos tropicais, a melancia de polpa vermelha destaca-se pelo seu agradável sabor doce, porém é considerada uma fruta de valor nutritivo reduzido pelo conteúdo vitamínico mediano (Almeida, 2003). Possui baixo valor calórico (26 kcal/ 100g de fruto in natura), cerca de 90% de água; açúcares, como glicose, frutose e sacarose; vitamina C e do complexo B; além de sais minerais como ferro, cálcio e fósforo. Segundo Miranda (2005), os principais açúcares presentes na melancia são glicose, frutose, sacarose e maltose, sendo os teores de glicose e frutose mais altos que os teores de sacarose e maltose. A Tabela 1 apresenta a composição química média da melancia.

**Tabela 1:** Composição média da melancia <sup>1</sup>

Constituinte	Teor (%)	Vitaminas	Teor	Minerais	Teor
Água	93	Vitamina A (UI)	590	Cálcio (mg)	7
Gordura	0,5	Tiamina (mg)	0,03	Fósforo (mg)	10
Proteína	0,2	Riboflavina (mg)	0,03	Sódio (mg)	1
Carboidratos	6,4	Niacina (mg)	0,2	Potássio (mg)	100
Fibra	0,3	Ácido ascórbico (mg)	7	Magnésio (mg)	10,2
		Vitamina B6 (mg)	0,07	Ferro (mg)	0,5
		Ác. Pantotênico (mg)	0,03	Zinco (mg)	0,09
		Ácido fólico (mcg)	8	Cobre (mg)	0,2
		Biotina (mcg)	3,6		

Fonte: Almeida (2003).

<sup>1</sup> = valores expressos por 100g de parte comestível.

A melancia de polpa vermelha é uma hortaliça muito apreciada em todo o mundo por suas agradáveis características sensoriais de aroma, cor, doçura, succulência e refrescância, prova disso é que sua polpa é amplamente utilizada na preparação de sucos, néctares, coquetéis, etc.

Aliado a isso, nos últimos anos, tem sido apontada como importante fonte de licopeno, um carotenóide com elevada atividade antioxidante cujo consumo tem sido associado à prevenção de doenças degenerativas, mais especificamente, câncer de próstata, estômago e pulmão (CLINTON, 1998; RAO e AGARWAL, 1999).

De acordo com Morgan (2006), os principais pigmentos da classe dos carotenóides encontrados na polpa de melancia são: licopeno, constituindo em média 73% do total de carotenóides, seguido, em uma menor proporção por  $\beta$ - caroteno (4%), fitoeno (2,1%),  $\zeta$ - caroteno (1,6%), fitoflueno (1,4%) e  $\gamma$ -caroteno (0,4%).

Fish e colaboradores (2002); Niizu e Rodriguez-Amaya (2003); Perkins- Veazie *et al.* (2001) analisaram diferentes variedades de melancia e observaram valores na faixa de 36 a 68  $\mu\text{g}$  de licopeno por grama de fruto fresco. Os resultados obtidos são semelhantes aos encontrados em variedades de tomate, atualmente considerado a maior fonte desse carotenóide.

Estudos vêm demonstrando que além do licopeno, o suco de melancia também é uma rica fonte de citrulina, um aminoácido essencial a humanos jovens, incluindo crianças, e adultos não saudáveis; porém pode ser sintetizada pela maioria dos mamíferos (RIMANDO e PERKINS-VEAZIE, 2005). A citrulina é o maior precursor da arginina, um aminoácido nitrogenado ao qual vem se atribuindo um papel essencial nas funções cardiovasculares e imunológicas (COLLINS *et al.*, 2007; MARTINS e NEGRÃO, 2007; RIMANDO e PERKINS-VEAZIE, 2005).

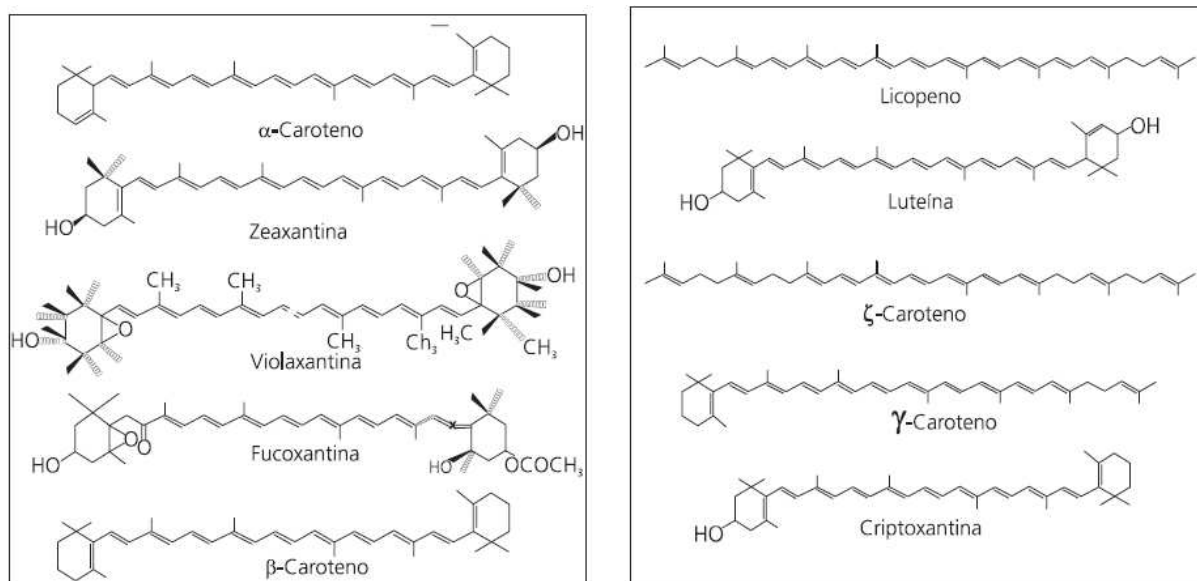
## 2.2 Carotenóides

Os carotenóides não só compreendem o maior grupo de pigmentos naturais distribuído na natureza como também estão envolvidos nas respostas fototrópicas e fotocinéticas das plantas e os que atuam como precursores da vitamina A em mamíferos e pássaros. Aproximadamente mais de seiscentas estruturas já foram isoladas e caracterizadas. São sintetizados pelas plantas e microrganismos, sendo estas suas maiores fontes (UENOJO *et al.*, 2007).

A estrutura básica da maioria dos carotenóides constitui-se de um tetraterpenóide ( $\text{C}_{40}$ ), formado por oito unidades isoprenóides de cinco carbonos ( $\text{C}_5$ ). Pode-se dizer que a união dessas unidades é do tipo “cauda–cabeça”, exceto no centro da molécula, onde a ordem é invertida para uma ligação do tipo “cabeça-cabeça”, originando desta forma uma molécula simétrica. Neste arranjo, os grupos metílicos centrais estão dispostos na posição (1,6), ou seja, estão separados por seis átomos de carbono, enquanto os outros estão separados por apenas cinco. O polieno acíclico licopeno ( $\text{C}_{40}\text{H}_{56}$ ) representa a estrutura básica de praticamente todos os outros carotenóides que podem ser formados por reações de ciclização, hidrogenação, desidrogenação, migração de dupla ligação, oxidação ou a combinação desses processos (GOODWIN, 1980a; GROSS, 1987).

Os carotenóides podem ser divididos em dois grandes grupos: os carotenos, que são aqueles compostos formados apenas por carbono e hidrogênio e as xantofilas, que contêm pelo menos um derivado oxigenado, como, por exemplo, os grupamentos hidroxí, ceto, epóxi, metoxi e ácido carboxílico (RODRIGUEZ-AMAYA, 2001). A Figura 2 apresenta a estrutura química de alguns carotenóides.





**Figura 2:** Estrutura química de alguns carotenóides

Fonte: AMBRÓSIO *et al.*, 2006

Os carotenóides são responsáveis pelas cores amarelo laranja e vermelho de flores e frutos, respondendo ainda pela coloração de alguns pássaros, insetos, peixes e crustáceos. Apesar de estarem presentes em animais, somente as plantas, algumas bactérias, fungos e algas são capazes de sintetizá-los, devendo os animais obtê-los por meio da dieta (MELÉNDEZ- MARTÍNEZ *et al.*, 2007; QUIRÓS e COSTA, 2006).

O aprimoramento no estudo dos carotenóides tem despertado um grande interesse, pois estes compostos desempenham papéis fundamentais na saúde humana, desde a já conhecida atividade pró-vitamínica A do  $\beta$ -caroteno até a recente relação destes na prevenção de doenças causadas pela ação dos radicais livres. A atuação dessas substâncias na prevenção de diferentes tipos de cânceres, doenças do coração e degeneração macular, por exemplo, foi reconhecida e isso tem levado a uma intensa investigação destes compostos como antioxidantes e também como reguladores de resposta do sistema imune (UENOJO *et al.*, 2007; KALIORA, *et al.*, 2006; KRINSKY e JOHNSON, 2005). Segundo Oslon (1999), as várias formas de atuação dos carotenóides são: seqüestrar o oxigênio singlete, remover os radicais peróxidos, modular o metabolismo carcinogênico, inibir a proliferação celular, estimular a comunicação entre as células e elevar a resposta imune.

A capacidade antioxidante atribuída aos carotenóides está associada à desativação de radicais livres e na capacidade que estes compostos apresentam em sequestrar o oxigênio singlete que, por sua vez, é proporcional ao número de ligações duplas conjugadas presente nesses compostos. A máxima proteção é demonstrada por carotenóides com nove ou mais duplas ligações (RODRIGUEZ-AMAYA, 2002). O mecanismo pelo qual os carotenóides protegem os sistemas biológicos dos radicais livres depende da transferência de energia do oxigênio excitado para a molécula do carotenóide, em que a energia é dissipada por meio de rotações e vibrações do carotenóide no meio solvente (STAHL e SIES, 1999 citado por SHAMI e MOREIRA, 2004).

O Brasil, pela riqueza de sua biodiversidade, destaca-se pela grande variedade de alimentos ricos em carotenóides que podem ser utilizados em prol da saúde da população e no aproveitamento de espécies ainda pouco exploradas comercialmente (RODRIGUEZ-AMAYA, 2001).

## 2.3 Licopeno

O licopeno ( $\phi$ ,  $\phi$  caroteno) é um carotenóide acíclico, lipossolúvel, com massa molecular igual a 536,85 Da. É formado apenas por átomos de carbono e hidrogênio ( $C_{40}H_{56}$ ) e apresenta onze duplas ligações conjugadas e duas não conjugadas ao longo de sua cadeia poliênica, como pode ser observado na Figura 3 (SHI e MAGUER, 2000).

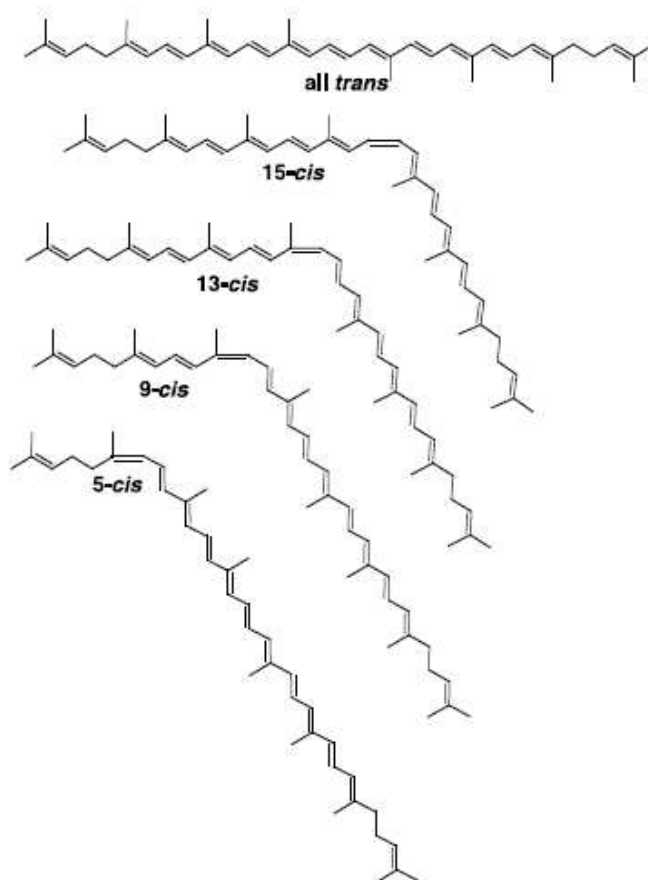


**Figura 3:** Estrutura do licopeno

Fonte: AGARWAL e RAO, 2000.

Em função dessas onze duplas ligações, o licopeno pode assumir, teoricamente,  $2^{11}$  formas geométricas. Contudo devido a impedimentos estéricos, apenas alguns grupos etilênicos podem participar da isomerização *cis-trans*, resultando em 72 isômeros *cis* existentes na natureza (NGUYEN e SCHWARTZ, 1999).

As formas isoméricas mais comumente identificadas do licopeno são as *trans*, *5-cis*, *9-cis*, *13-cis* e *15-cis* licopeno, como pode ser observado na Figura 4 (STAHL e SIES, 1996).



**Figura 4:** Estrutura dos isômeros *trans* e *cis* do licopeno

Fonte: AGARWAL e RAO, 2000.

Como ocorre na maioria dos carotenóides, o espectro de absorção do licopeno apresenta um valor máximo em três comprimentos de onda ( $\lambda$ ) diferentes, resultando em um espectro com três picos de absorção. A posição das bandas de comprimento de onda de carotenóides é afetada pela natureza do cromóforo, ou seja, pelo número de duplas ligações conjugadas da molécula e pela natureza da dupla ligação (na cadeia ou em anel), por exemplo. Em geral, quanto maior esse número, maiores serão os valores de  $\lambda_{\max}$  da substância. Com sua estrutura acíclica e onze duplas conjugadas, o licopeno é vermelho e absorve em comprimentos de maiores (RODRIGUEZ-AMAYA, 2001). Bindl e colaboradores (1970) citado por Goodwin (1980b) reportaram valores de absorção máxima de licopeno, em hexano, iguais a 448 nm, 473 nm e 504 nm.

O licopeno e outros carotenóides com alto grau de insaturações estão propensos a isomerização e oxidação durante etapas de processamento e estocagem, resultando em perda de coloração, atividade biológica e formação de compostos responsáveis por aromas desejáveis e indesejáveis em alimentos. A ocorrência da oxidação depende de vários fatores como, por exemplo, o calor, a exposição à luz e ao oxigênio, presença de antioxidantes e os tipos de embalagens em que estão acondicionados. O aquecimento é o principal fator que promove a isomerização de *trans* carotenóides, sua configuração usual para a forma *cis* (RODRIGUEZ-AMAYA, 2001).

### 2.3.1 Licopeno e a saúde humana

Nos últimos anos, tem sido demonstrado um considerável interesse científico do papel do licopeno na saúde humana. Numerosos estudos epidemiológicos têm demonstrado que o aumento no consumo de uma dieta rica em licopeno vem sendo correlacionado a uma diminuição do risco de diversas desordens degenerativas, em especial o câncer de próstata e doenças cardiovasculares (EDWARDS *et al.*, 2003; KRIS-ETHERTON *et al.*, 2002; RODRIGUEZ-AMAYA, 2001).

O licopeno é um carotenóide que, devido à falta um anel  $\beta$ -ionona, não apresenta atividade pró-vitamina A (AGARWAL e RAO, 2000). Entretanto sua maior atividade biológica vem sendo atribuída à sua capacidade em seqüestrar o oxigênio singlete e desativar os radicais livres produzidos nos processos metabólicos oxidativos de produção de energia (SHAMI e MOREIRA, 2004; RODRIGUEZ-AMAYA, 2001; PALOZZA e KRINSKY, 1992).

Dentre os carotenóides, o licopeno vem sendo considerado o antioxidante mais potente. Segundo Di Mascio e colaboradores (1989), estudos *in vitro* demonstraram uma habilidade duas vezes maior do licopeno em seqüestrar o oxigênio singlete quando comparado ao  $\beta$ -caroteno e dez vezes maior quando comparado ao  $\alpha$ -tocoferol. A comparação entre as estruturas do licopeno,  $\gamma$ -caroteno e  $\beta$ -caroteno indica que a abertura do anel  $\beta$ -ionona presente no  $\gamma$  e  $\beta$ -caroteno para uma cadeia aberta aumenta habilidade sequestrante do licopeno.

O licopeno é o carotenóide predominantemente encontrado no plasma sanguíneo e também pode ser acumulado em diversos tecidos do corpo, como a próstata, o pâncreas e o fígado, por exemplo. Acredita-se que o licopeno protege biomoléculas celulares importantes tais como lipídeos, lipoproteínas, proteínas e DNA (AGARWAL e RAO, 2000). Dados epidemiológicos têm demonstrado que os níveis séricos deste composto estão inversamente relacionados à incidência de doenças degenerativas. (ERDMAN JR *et al.*, 2009; STAHL e SIES, 1996).

Michaud e colaboradores (2000) verificaram uma associação inversa entre o consumo de carotenóides licopeno e  $\alpha$ -caroteno e o risco de câncer de pulmão entre fumantes e não

fumantes. Os resultados obtidos mostraram que apenas o licopeno manteve-se associado à diminuição do risco de câncer de pulmão entre a população fumante do estudo.

Stacewicz-Sapuntzakis e Bowen (2005), a fim de investigar a viabilidade e eficiência de uma intervenção alimentar, administraram a trinta e dois pacientes diagnosticados com adenocarcinoma prostático uma dieta rica em licopeno. Diariamente, três semanas antes de realizarem a prostatectomia, esses pacientes consumiram macarrão ao molho de tomate, o que equivalia a uma dose diária de 26,8 mg de licopeno. Os resultados obtidos mostraram que, durante esse curto intervalo de tempo, a concentração média de licopeno no sangue e nos tecidos da próstata do grupo em estudo praticamente dobrou e triplicou. Esses resultados, aliados a investigações mais específicas indicaram que houve uma diminuição de danos oxidativos ao DNA desses pacientes.

No mesmo estudo realizado por Stacewicz-Sapuntzakis e Bowen (2005) culturas de células cancerígenas da próstata tiveram seu crescimento inibido pela presença de licopeno no meio de cultura, levando a uma diminuição do ciclo celular das células cancerígenas. Esses resultados indicam que o licopeno pode ser também uma alternativa para o controle do desenvolvimento do câncer de próstata e não somente sua prevenção.

### 2.3.2 Biodisponibilidade do licopeno

A biodisponibilidade dos constituintes de um alimento é um processo complexo que envolve a digestão, a captação intestinal e sua absorção, a distribuição para os tecidos e a sua utilização por eles (MORITZ e TRAMONTE, 2006).

O aproveitamento do licopeno pelo organismo depende de vários fatores, tais como a matriz alimentar; a forma isomérica do licopeno; a quantidade no alimento; a presença de outros nutrientes na refeição como gordura, fibras e outros carotenóides; o processamento do alimento; além da individualidade biológica e estado nutricional do indivíduo (MORITZ e TRAMONTE, 2006; BRAMLEY, 2000). Desta forma, a presença de lipídeos na dieta e a isomerização induzida pelo calor são fatores que podem melhorar a biodisponibilidade do licopeno (BOILEAU *et al.*, 2002).

Vários estudos sobre a biodisponibilidade do licopeno têm sido desenvolvidos a partir do tomate e seus produtos, provavelmente por essa ainda ser considerada a fonte mais comumente consumida.

O licopeno está presente nos alimentos, predominantemente, na sua forma *trans* (80 a 97%), sendo essa a forma considerada termodinamicamente mais estável. Todavia, os isômeros *cis* parecem ser a forma mais encontrada e mais bem absorvida pelo corpo humano, provavelmente devido sua maior solubilidade nas micelas do ácido biliar e por serem preferencialmente incorporados aos quilomícrons. Estudos evidenciaram que o licopeno está presente no plasma humano como uma mistura isomérica com aproximadamente 50% de isômeros *cis* (BOILEAU *et al.*, 2002; MORITZ e TRAMONTE, 2006; AGARWAL e RAO, 2000).

Perkins-Veazie e colaboradores (2002) realizaram uma pesquisa a fim de verificar a biodisponibilidade do licopeno em suco de melancia congelado e não pasteurizado. O trabalho foi realizado com trinta e um adultos, sendo vinte mulheres e onze homens, saudáveis, não fumantes com idades na faixa de 36 a 69 anos. Este trabalho teve a duração de dezenove semanas e a investigação foi realizada em três períodos diferentes. Primeiramente, os pacientes recebiam uma quantidade mínima de licopeno na dieta. Em uma segunda etapa, foram ministrados o equivalente a 20 mg diários de licopeno no suco de melancia e o controle, no qual não era ministrado suco. E finalmente, em uma terceira etapa foram ministrados o equivalente 40 mg diários de licopeno de suco de melancia e 20 mg de licopeno de suco de tomate processado termicamente. Os resultados mostraram que todos os

tratamentos aumentaram a concentração de licopeno no plasma sanguíneo. A concentração de licopeno foi similar tanto para o suco de melancia quanto para o suco de tomate, quando ingeridos na mesma concentração. Acreditando-se que o processamento térmico é um fator importante para o aumento da biodisponibilidade do licopeno, este trabalho demonstrou uma maior biodisponibilidade do licopeno do suco de melancia quando comparado ao suco de tomate, levando-se em consideração que o suco de melancia não sofreu nenhum processo térmico.

Ainda não existe um consenso entre os pesquisadores sobre as quantidades de licopeno que devem ser consumidas para se alcançar o efeito da redução de riscos de doenças. Rao e Shen (2002) recomendam um consumo diário entre 5 e 10 mg, enquanto que Agarwal e Rao (2000) consideram que a quantidade ideal de licopeno para ser ingerida deve ser de 35 mg por dia.

Perkins-Veazie e colaboradores (2002) preconizam que uma xícara e meia de suco de melancia contém de 9 a 13 mg de licopeno.

## **2.4 Radicais livres e principais antioxidantes naturais**

Os organismos vivos heterotróficos obtêm energia através da oxidação dos diferentes compostos orgânicos ingeridos na dieta. Contudo, esses processos metabólicos oxidativos produzem espécies altamente reativas que possuem um elétron desemparelhado em sua última camada eletrônica. As moléculas formadas são conhecidas como radicais livres. Essas espécies, mesmo tendo meia vida muito curta, apresentam alta capacidade reativa, a fim de captar um elétron de qualquer composto que esteja próximo, inclusive outras biomoléculas, principalmente os lipídeos, as proteínas das membranas celulares e, até mesmo, o DNA.

Outras fontes de radicais livres são inflamações, exercícios físicos intensos, exposição a certos compostos químicos, radiação, luz ultravioleta, cigarro, álcool, ar poluído, excesso de cálcio livre, excesso de ferro e dieta rica em gorduras (GUARATINI *et al.*, 2007).

As injúrias provocadas por essas moléculas estão relacionadas a uma série de doenças, como o câncer, a arteriosclerose, a artrite e o diabetes (ERDMAN JR *et al.*, 2009; SCHNEIDER e OLIVEIRA, 2004). Na verdade, radical livre não é o termo ideal para designar os agentes reativos patogênicos, pois alguns deles não possuem elétrons desemparelhados em sua última camada. Como a maioria deriva do metabolismo do oxigênio e do nitrogênio, os termos mais adequados são: espécies reativas do oxigênio (EROs) e espécies reativas de nitrogênio (ERNs) (FERREIRA e MATSUBARA, 1997).

O oxigênio singlete, por não possuir elétron desemparelhado, não é denominado radical livre, porém é uma forma excitada do oxigênio molecular. Pode ser formado no organismo pela transferência de energia eletrônica de um composto em um estado excitado para o oxigênio triplete (oxigênio molecular). Em sistemas biológicos, moléculas como porfirinas, clorofilas e riboflavina podem levar à formação do oxigênio singlete (UENOJO *et al.*, 2007; RIBEIRO *et al.*, 2005).

As principais formas reativas do oxigênio e do nitrogênio estão apresentadas no Quadro 2.

**Quadro 2:** Algumas espécies reativas de oxigênio e nitrogênio

$^1\text{O}_2$	Oxigênio singlete
$\text{O}_2^{\bullet-}$	Ânion radical superóxido
$\text{OH}^{\bullet}$	Radical hidroxila
$\text{H}_2\text{O}_2$	Peróxido de hidrogênio
$\text{RO}_2^{\bullet}$	Peroxila
$\text{NO}_2^{\bullet}$	Dióxido de nitrogênio
$\text{ONOO}^-$	Peroxinitrito
$\text{NO}^{\bullet}$	Óxido nítrico

Fonte: VASCONCELOS *et al.*, 2007.

Os radicais livres formados no organismo desempenham um importante papel como mediadores para transferência de elétrons em várias reações bioquímicas, contudo, a produção excessiva destes compostos pode danificar lipídios, proteínas e DNA, acarretando diferentes formas de dano celular. Portanto, é de suma importância que exista um balanço entre a formação de radicais e remoção destes e um desequilíbrio em favor da geração excessiva de radicais livres é conhecida como estresse oxidativo (SHAMI e MOREIRA, 2004).

Com o intuito de manter um bom equilíbrio entre moléculas oxidantes e antioxidantes, os organismos humanos desenvolveram mecanismos endógenos de defesa. O sistema de defesa antioxidante pode ser dividido em enzimático e não enzimático. O sistema enzimático inclui as enzimas superóxido dismutases, catalases, glutationala peroxidases e os sistemas tioredoxinas. Várias componentes antioxidantes não enzimáticos estão presentes no organismo humano, entre eles pode-se destacar a bilirrubina, a glutationala, o ácido úrico, a melatonina, hormônios sexuais e  $\alpha$ -tocoferol (LAGUERRE *et al.*, 2007).

Vários pesquisadores têm demonstrado que antioxidantes exógenos, principalmente os provenientes da alimentação, são grandes aliados no combate ao estresse oxidativo. Compostos fenólicos, carotenóides e as vitaminas C e E são os principais compostos presentes em frutas e vegetais que desempenham esse papel (ERDMAN JR *et al.*, 2009; DEGÁSPARI e WASZCZYNSKYJ, 2004). Além disso, algumas pesquisas reportam efeitos sinérgicos entre os diferentes componentes de um alimento na proteção de células e tecidos.

Chen e Tappel (1996) verificaram que uma mistura contendo antioxidantes lipofílicos e hidrofílicos era capaz de seqüestrar radicais livres em fase aquosa e lipídica.

O efeito sinérgico entre as vitaminas C e E é frequentemente mencionado na literatura, mostrando uma interação efetiva dessas vitaminas na proteção ao DNA (GEY, 1998 citado por BIANCHI e ANTUNES, 1999).

Os resultados obtidos por esses pesquisadores vêm confirmar a importância do consumo de frutas e vegetais.

#### **2.4.1 Capacidade antioxidante total**

Atualmente, a quantificação da capacidade antioxidante dos alimentos que consumimos é assunto de interesse de pesquisadores das áreas médica, farmacêutica, nutricional e de alimentos, o que pode ser comprovado pelo número de publicações em

antioxidantes e estresse oxidativo, que praticamente quadriplicou na última década (HUANG *et al.*, 2005).

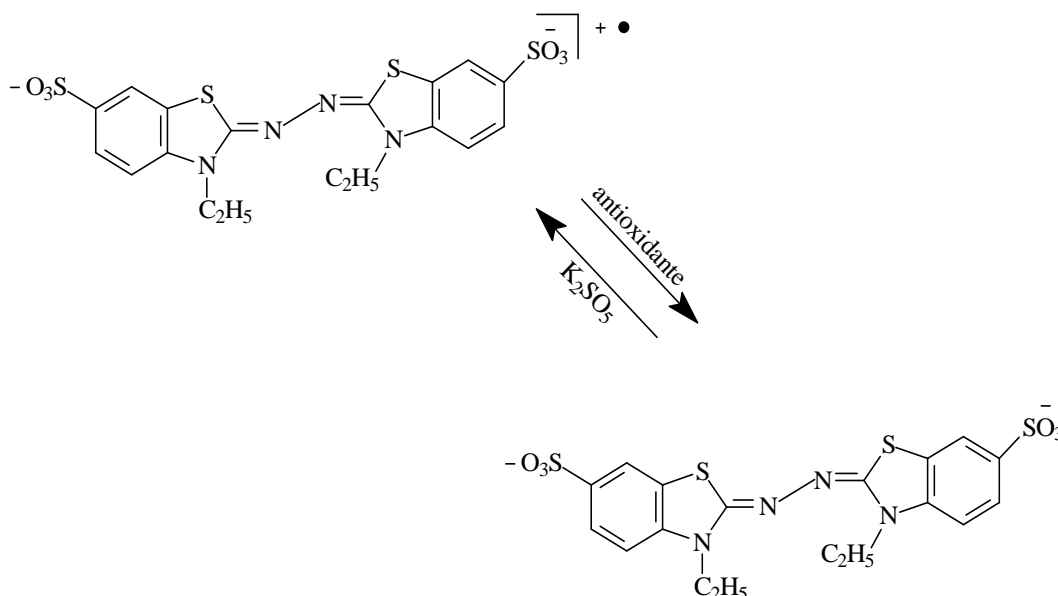
Diversas metodologias *in vitro* vêm sendo aplicadas para avaliar a capacidade antioxidante total de produtos alimentícios. Os diversos ensaios propostos na literatura variam quanto ao tipo de radicais gerados, ao indicador de oxidação escolhido e ao método usado para sua detecção e quantificação. Os testes são baseados na geração de um radical que reage com a molécula alvo produzindo cor, fluorescência, quimioluminescência ou outra mudança mensurável. A presença de antioxidantes altera esses sinais, permitindo sua análise quantitativa (VASCONCELOS *et al.*, 2007).

Os métodos para determinação da capacidade antioxidante são classificados quanto à natureza da reação envolvida e estão divididos em dois grupos: os que envolvem transferência de átomos de hidrogênio e os que envolvem transferência de elétrons (HUANG *et al.*, 2005).

ORAC (Capacidade de Absorção do Radical Oxigênio - *Oxygen Radical Absorbance Capacity*) e TRAP (Capacidade Antioxidante Total - *Total Reactive Antioxidant Potential*) são considerados os principais métodos baseados na transferência de átomos de hidrogênio. A maioria destas metodologias é baseada na habilidade dos antioxidantes em proteger o substrato alvo dos radicais livres. A habilidade antioxidante das amostras pode ser medida por ultravioleta ou por fluorescência. O período na qual a oxidação é inibida pelo antioxidante é comparado e correlacionado ao do trolox (ácido 6-hidroxi -2,5,7,8- tetrametilcromano - 2-carboxílico), o análogo solúvel da vitamina E, usado como antioxidante de referência (BECKER *et al.*, 2004; HUANG e PRIOR, 2005; VASCONCELOS *et al.*, 2007; ZULUETA *et al.*, 2008).

TEAC (Capacidade Antioxidante Equivalente ao Trolox - *Trolox Equivalence Antioxidant Capacity*) é o principal método que envolve transferência de elétrons. Essa metodologia baseia-se na inibição por antioxidantes do cátion radical 2,2-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-sulfonato, sal diamônio (ABTS  $\bullet^+$ ) na presença da amostra. O radical ABTS  $\bullet^+$  possui uma coloração verde-azulada e apresenta valores de absorção máxima a 645 nm, 734 nm e 815 nm (RE *et al.*, 1999). Na presença de antioxidantes no meio, o radical é capturado, o que implica numa perda de coloração e, conseqüentemente na redução da absorbância, a qual é proporcional à concentração de antioxidantes. A intensidade da descoloração é comparada e correlacionada ao Trolox. A atividade antioxidante da amostra é dada em  $\mu\text{M}$  equivalente de Trolox em 1g ou 100g de amostra, originando o nome TEAC, capacidade antioxidante equivalente ao Trolox (RE *et al.*, 1999).

A Figura 5 representa o comportamento do radical ABTS  $\bullet^+$  na presença de um antioxidante.



**Figura 5** – Comportamento do radical ABTS <sup>•+</sup> na presença de antioxidantes  
 Fonte: CRUZ, 1998.

## 2.5 Alimentos funcionais

De um modo geral, as populações têm-se mostrado cada vez mais conscientes sobre a importância do seu papel na manutenção da qualidade de vida, visto que, nos últimos anos, vêm crescendo o interesse do consumidor por alimentos que possam ajudá-lo na promoção e prevenção de sua saúde.

Nesse contexto, uma nova categoria de alimentos, denominada alimentos funcionais vêm sendo amplamente estudada. São alimentos que, além da função básica de nutrir, promovem a redução de risco de doenças e a manutenção de boa saúde, favorecendo a longevidade e a qualidade de vida.

Pela inexistência de uma legislação que padronize mundialmente o termo alimento funcional, várias outras denominações têm sido usadas para designar alimentos que oferecem proteção especial à saúde, tais como nutracêuticos, alimentos farmacêuticos, alimentos medicinais, alimentos planejados, entre outros (MORAES, 2007).

O termo nutracêutico, frequentemente confundido com alimento funcional, se refere a suplementos dietéticos que apresentam uma forma concentrada de um possível agente bioativo de um alimento, presentes em uma matriz não alimentícia e usados para melhorar a saúde, em dosagens que excedem àquelas que poderiam ser obtidas no alimento normal, como, por exemplo, licopeno em cápsulas ou tabletes.

O conceito de alimento funcional surgiu no Japão na década de 80, com o desenvolvimento de alimentos fortificados com ingredientes específicos, os quais possibilitariam a redução de gastos com a saúde pública, considerando elevada expectativa de vida da população (MORAES, 2007; STRINGHETA *et al.*, 2007).

No Brasil, Lajolo (2001) citado por Franco (2006) definiu que o alimento funcional deve ser semelhante em aparência aos alimentos convencionais, consumido como parte da dieta usual, capaz de produzir demonstrados efeitos fisiológicos e metabólicos úteis na manutenção de uma boa saúde física e mental, podendo auxiliar na redução do risco de doenças crônicas não transmissíveis além de suas funções nutricionais básicas.



Na legislação brasileira não existe uma definição para alimento funcional e sim, para alegação de propriedade funcional e alegação de propriedade de saúde. Nesta, são estabelecidas as diretrizes para sua utilização, bem como condições de registro para os alimentos com alegação de propriedade funcional e, ou, de saúde. Dentre as diretrizes para esse tipo de alimento são permitidas alegações funcionais relacionadas com o papel fisiológico no crescimento, desenvolvimento e funções normais do organismo e, ou, ainda alegações sobre a manutenção da saúde geral e a redução de riscos de doenças. Não são permitidas alegações de saúde que façam referência à cura ou prevenção de doenças (ANVISA, 1999a).

Segundo a Portaria nº 398 de 30/04/1999 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 1999b), alimento com alegação de propriedade funcional é “todo alimento ou ingrediente que, além das funções nutricionais básicas, produz efeitos metabólicos e ou fisiológicos e ou efeitos benéficos à saúde, devendo ser seguro para consumo sem supervisão médica”.

Segundo dados da FIESP, o mercado brasileiro de alimentos funcionais faturou o equivalente a R\$ 600 milhões, o que corresponde a 15% do mercado de alimentos em 2005.

Nesse contexto, as indústrias de alimentos têm buscado desenvolver novos produtos que atendam às necessidades dessa fatia de mercado e, em contrapartida, os órgãos reguladores estão cada vez mais empenhados em disciplinar as alegações sobre as propriedades funcionais dos alimentos ou de seus componentes, como também a segurança de uso com base em evidências científicas.

De acordo com a Resolução nº 18/99 (ANVISA, 1999a), a comprovação da alegação de propriedades funcionais e ou de saúde de alimentos em rotulagem de alimentos deve ser conduzida com bases em evidências científicas aplicáveis, como:

- composição química com caracterização molecular, quando for o caso, e ou formulação do produto;
- ensaios bioquímicos;
- ensaios nutricionais e ou fisiológicos e ou toxicológicos em animais de experimentação;
- estudos epidemiológicos;
- ensaios clínicos;
- evidências abrangentes da literatura científica, organismos internacionais de saúde e legislação internacionalmente reconhecida sobre as propriedades e características do produto;
- comprovação de uso tradicional, observado na população, sem associação de danos à saúde.

Em janeiro de 2005, a ANVISA juntamente com a Comissão de Assessoramento Técnico-Científico em Alimentos Funcionais e Novos Alimentos (CTCAF), reavaliou os produtos com alegações de propriedades funcionais e/ou de saúde aprovados desde o ano de 1999. Essa reavaliação foi baseada em conhecimentos científicos atualizados e relatos e pesquisas que demonstram as dificuldades encontradas pelos consumidores em compreender o verdadeiro significado da informação transmitida para determinados produtos contendo alegações. Assim, esta revisão considerou a necessidade das alegações estarem de acordo com as políticas do Ministério da Saúde e serem de fácil compreensão pelos consumidores. Após essa revisão, alguns produtos deixaram de ter alegações e outros tiveram as suas alegações modificadas, com o intuito de melhorar o entendimento dos consumidores em relação às propriedades destes alimentos. A Tabela 2 apresenta a lista de alegações de propriedades funcionais e de saúde aprovadas pela ANVISA (2005).

**Tabela 2:** Lista de alegações de propriedades funcionais e de saúde aprovadas.

<b>Componente</b>	<b>Alegação</b>
<b>Ácidos graxos ômega 3</b>	“O consumo de ácidos graxos ômega 3 auxilia na manutenção de níveis saudáveis de triglicerídeos, desde que associado a uma dieta equilibrada e hábitos de vida”.
<b>Licopeno</b>	“O licopeno tem ação antioxidante que protege as células contra os radicais livres. Seu consumo deve estar associado a uma dieta equilibrada e hábitos de vida saudáveis”.
<b>Luteína</b>	“A luteína tem ação antioxidante que protege as células contra os radicais livres. Seu consumo deve estar associado a uma dieta equilibrada e hábitos de vida saudáveis”.
<b>Fibras alimentares</b>	“As fibras alimentares auxiliam o funcionamento do intestino. Seu consumo deve estar associado a uma dieta equilibrada e hábitos de vida saudáveis”.
<b>Beta Glucana</b>	“A beta glucana (fibra alimentar) auxilia na redução da absorção de colesterol. Seu consumo deve estar associado a uma dieta equilibrada e hábitos de vida saudáveis”.
<b>Frutooligossacarídeos</b>	“Os frutooligossacarídeos – FOS contribuem para o equilíbrio da flora intestinal. Seu consumo deve estar associado a uma dieta equilibrada e hábitos de vida saudáveis”.
<b>Inulina</b>	“A inulina contribui para o equilíbrio da flora intestinal. Seu consumo deve estar associado a uma dieta equilibrada e hábitos de vida saudáveis”.
<b>Lactulose</b>	“A lactulose auxilia o funcionamento do intestino. Seu consumo deve estar associado a uma dieta equilibrada e hábitos de vida saudáveis”.
<b>Psyllium</b>	“O psyllium (fibra alimentar) auxilia na redução da absorção de gordura. Seu consumo deve estar associado a uma dieta equilibrada e hábitos de vida saudáveis”.
<b>Quitosana</b>	“A quitosana auxilia na redução da absorção de gordura e colesterol. Seu consumo deve estar associado a uma dieta equilibrada e hábitos de vida saudáveis”.
<b>Fitoesteróis</b>	“Os fitoesteróis auxiliam na redução da absorção de colesterol. Seu consumo deve estar associado a uma dieta equilibrada e hábitos de vida saudáveis”.
<b>Probióticos</b>	“O (indicar a espécie do microrganismo) (probiótico) contribui para o equilíbrio da flora intestinal. Seu consumo deve estar associado a uma dieta equilibrada e hábitos de vida saudáveis”.
<i>Bifidobacterium lactis</i>	“O <i>Bifidobacterium lactis</i> (probiótico) contribui para o equilíbrio da flora intestinal. Seu consumo deve estar associado a uma dieta equilibrada e hábitos de vida saudáveis”.
<i>Bifidobacterium animallis</i>	“O <i>Bifidobacterium animallis</i> (probiótico) auxilia o funcionamento do intestino. Seu consumo deve estar associado a uma dieta equilibrada e hábitos de vida saudáveis”.
<b>Proteína de soja</b>	“O consumo diário de no mínimo 25 g de proteína de soja pode ajudar a reduzir o colesterol. Seu consumo deve estar associado a uma dieta equilibrada e hábitos de vida saudáveis”.

## 2.6 Iogurte

Embora não se saiba exatamente onde surgiu o iogurte, a maioria dos autores aceita que este seja originário da Ásia, principalmente de algumas regiões da Bulgária e da Turquia. Acredita-se que no passado, os nômades carregavam o leite pelo deserto acondicionando-o em vasilhames feitos de estômago de bezerro. Devido à temperatura elevada e às condições de armazenamento, o leite sofria fermentação pelos microrganismos presentes, resultando num iogurte grosseiro. O nome *yogurut* (que significa "denso" ou "tornar denso") foi supostamente introduzido no século VIII e foi mudado para a versão atual no século XI (SÁ e BARBOSA, 1990).

A legislação brasileira define como leites fermentados os produtos adicionados ou não de outras substâncias alimentícias, obtidos por coagulação e diminuição do pH do leite, ou leite reconstituído, adicionado ou não de outros produtos lácteos, por fermentação láctica mediante ação de cultivos de microrganismos específicos. Estes microrganismos devem ser viáveis, ativos e abundantes no produto final durante seu prazo de validade (BRASIL, 2007).

Ainda de acordo com a legislação brasileira, iogurte é o produto incluído na definição acima descrita, cuja fermentação se realiza com cultivos proto-simbióticos de *Streptococcus thermophilus* e *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* aos quais pode-se acompanhar, de forma complementar, outras bactérias ácido lácticas que, por sua atividade, contribuem para a determinação das características do produto final (BRASIL, 2007).

A composição do iogurte é similar à do leite, embora se reconheça que há algumas diferenças devido a mudanças ocorridas pela fermentação bacteriana sobre a lactose e pela adição de leite em pó, normalmente feita para aumentar os sólidos do leite, o que permite maior conteúdo protéico, além da presença de aditivos e flavorizantes. O iogurte natural é composto por 1,66% de gordura, 19,98% de sólidos totais, 3,45% de proteína, 5,15% de carboidratos e 0,75% de cinzas (TAMINE e ROBINSON, 1985).

Atualmente, é possível encontrar vários tipos de iogurte no mercado, variando quanto à composição, sabor, consistência e valor calórico, sendo estes últimos encontrados nas versões integral ou *light*. Os iogurtes variam, também, de acordo com o método empregado na produção e a natureza do processo de pós-incubação (TAMINE e ROBINSON, 1985).

A categoria de iogurte "light" tem grande parcela do mercado consumidor, esses tem baixa concentração de gordura e calorias e na maior parte deles contém adoçantes não-calóricos. Com o aumento da demanda do consumo por melhores sabores de iogurtes de baixas calorias as indústrias tem investido no desenvolvimento de novos produtos (BRANDÃO e FONTES, 2009)

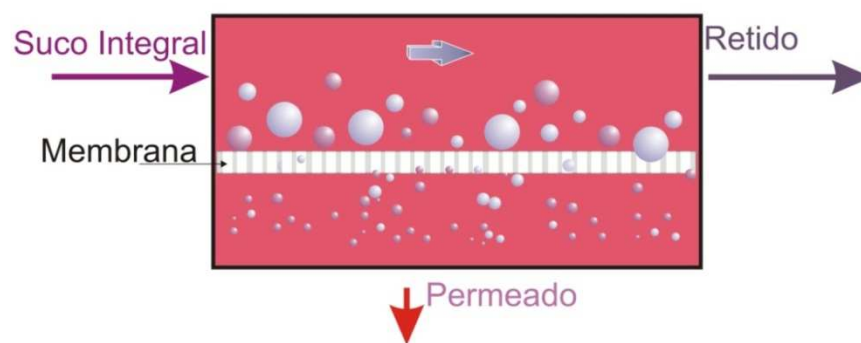
Mais recentemente, os iogurtes têm se destacado bastante na linha de produtos funcionais. Segundo a Sociedade Brasileira de Alimentos Funcionais (SBAF), essa nova categoria é um mercado com ampla oportunidade de crescimento. Os iogurtes probióticos são os principais representantes dessa classe. Acreditando nesse potencial as indústrias já lançaram no mercado diferentes tipos de produtos, tais como probióticos na versão *light*, iogurtes adicionados de fibras nas versões integral e *light*, e iogurtes probióticos adicionados de fibras também nas versões integral e *light*. Em 2006, foi lançado no Canadá o iogurte rico em ômega 3, o qual diminui os riscos de doenças cardíacas (SBAF, 2009).

## 2.7 Processos de separação por membranas

Segundo a *BBC Research & Development*, o mercado mundial de membranas cresceu de U\$ 200 milhões em 1990 para U\$ 800 milhões em 2005. Com uma taxa de crescimento anual de 8%, as estimativas prevêm que este mercado atingirá um patamar de U\$ 1,2 bilhões em 2010.

No Brasil, atualmente a tecnologia de membranas tem sido avaliada por diferentes segmentos como um grande negócio e como uma eficiente solução em diversas aplicações. Com isso, a demanda tem aumentado e os processos que utilizam membrana tem tido aplicação nos mais diversificados setores, tais como as indústrias química, alimentícia, farmacêutica e biotecnológica; e ainda na medicina e em processos de tratamento de águas industriais e de abastecimento (MEIO FILTRANTE, 2009).

Os processos de separação por membranas compreendem o uso de membranas artificiais visando o fracionamento dos componentes de uma mistura em função de suas diferentes taxas de permeação. Nesses processos, a corrente de alimentação é fracionada em duas correntes distintas: o retido ou concentrado, que é a fração que não permeia a membrana e o permeado, que é a fração que permeia, conforme pode ser observado na Figura 6 (HABERT *et al.*, 2006).



**Figura 6:** Representação esquemática de um processo onde a corrente de alimentação foi fracionada em uma corrente de permeado e corrente de retido.

### 2.7.1 Membranas

Uma membrana pode ser definida como uma barreira que separa duas fases e que restringe, total ou parcialmente, o transporte de uma ou várias espécies químicas presentes nessas fases (HABERT *et al.*, 2006). A separação se dá pela capacidade em transportar um componente mais rapidamente que os outros devido às diferenças de tamanho, forma ou estrutura química das moléculas presentes na mistura (MULDER, 1991).

O transporte através da membrana é o resultado da atuação de uma força motriz sobre os componentes individuais da alimentação e, na maioria dos casos, existe uma relação direta entre a taxa de permeação e a força motriz, que pode ser representada pela equação fenomenológica 1.

$$J = -A \frac{dX}{dx} \quad \text{Eq.1}$$

onde:

A = coeficiente fenomenológico que relaciona fluxo e força motriz e pode ser expresso como: coeficiente de difusão (D, lei de Fick), coeficiente de permeabilidade (Lp, lei de Darcy), difusividade térmica ( $\alpha$ , lei de Fourier), viscosidade cinemática ( $\nu$ , lei de Newton) e condutividade elétrica ( $1/R$ , lei de Ohm) (MULDER, 1991).

$dX/dx$  = força motriz, expressa como gradiente de X (temperatura, concentração ou pressão).

Com relação à classificação das membranas, diferentes critérios podem ser utilizados. De acordo com Cheryan (1998), as membranas podem ser classificadas, principalmente, quanto:

- à sua natureza, podendo ser biológicas ou sintéticas;
- à sua composição, podendo ser orgânicas (poliméricas) ou inorgânicas (cerâmicas, metais e vidro);
- à sua estrutura morfológica, podendo ser isotrópicas (simétricas) ou anisotrópicas (assimétricas), ou ainda, podem ser subdivididas em porosas ou densas.

Uma grande variedade de materiais pode ser usada na confecção de uma membrana. A escolha do material a ser utilizado deve ser realizada de acordo com suas propriedades hidrofóbicas e hidrofílicas, resistência mecânica, química e térmica, capacidade de esterilização, estabilidade dimensional e custo (MULDER, 1991).

Membranas sintéticas podem ser também classificadas em orgânicas, constituídas por materiais poliméricos, e inorgânicas, sintetizadas a partir de materiais cerâmicos ou metais. De acordo com Cheryan (1998), a síntese de membranas pode ser classificada em quatro gerações, baseados em seu desenvolvimento. A primeira geração de membranas foi de base celulósica que possui limite de aplicação quanto à temperatura (50°C) e ao pH (3 a 8), susceptibilidade ao crescimento de microrganismos e baixa durabilidade. A segunda geração de membranas é representada por polímeros sintéticos como poliamidas, poliimidas, polisulfonas, polietersulfonas, nylon, entre outros, que possuem maior resistência quando comparados à celulose, ou seja, são resistentes à hidrólise e ao ataque de microrganismos, porém são menos resistentes ao cloro. A terceira geração é representada por membranas de material inorgânico mineral, principalmente óxido de zircônio e alumina que são quimicamente mais estáveis e podem tolerar condições de temperaturas e pH mais agressivas do que as membranas poliméricas. E, finalmente, a geração de membranas representada por membranas obtidas de fibra de carbono.

Morfologicamente, as membranas são classificadas em densas ou porosas. Ambas podem se apresentar como isotrópicas, quando apresentam as mesmas características morfológicas ao longo da sua espessura ou anisotrópicas, quando não apresentam as mesmas características morfológicas ao longo de sua espessura. Há ainda as membranas conhecidas como compostas que se caracterizam por uma região superior muito fina (de 1 a 10 micra), mais fechada (com poros ou não), denominada pele, suportada em uma estrutura porosa. No caso das membranas anisotrópicas, estas podem ser classificadas em integral, quando ambas as regiões são constituídas por um único material; e composta, quando diferentes materiais são empregados no preparo de cada região (HABERT *et al.*, 2006).

Segundo Habert e colaboradores (2006), as membranas podem ser caracterizadas quanto a parâmetros de natureza morfológica e parâmetros relativos a propriedades de transporte.

Nesse aspecto, as características morfológicas relevantes diferem-se de acordo com o tipo de membrana. No caso de membranas porosas são aspectos importantes a sua espessura, a distribuição de tamanho de poros e a sua porosidade superficial. Em contrapartida, para as membranas densas são importantes as características físico-químicas envolvendo o polímero utilizado e as substâncias a serem separadas e a espessura do filme polimérico.

A eficiência de uma membrana depende de dois parâmetros: o fluxo permeado através da membrana e a seletividade. O primeiro é definido como volume ou massa que atravessa a membrana por unidade tempo através de uma determinada área de membrana e a capacidade seletiva de uma membrana em relação a uma dada espécie, ou simplesmente seletividade, é medida através de parâmetros diferentes em função da força motriz aplicada (MULDER, 1991).

Quando a diferença de pressão é a força motriz do processo, a seletividade é determinada pelo Coeficiente de Rejeição (Equação 2). O valor R varia de 0 a 1, ou seja, quando o valor de R é igual a 1 significa que houve completa retenção do soluto pela membrana.

$$R_i = 1 - \frac{C_{ip}}{C_{ia}} \quad \text{Eq. 2}$$

onde:

$C_{ip}$  = concentração da espécie i no permeado

$C_{ia}$  = concentração da espécie i na alimentação

Em processos que utilizam membranas densas, a capacidade seletiva da membrana é medida pela seletividade ( $\alpha$ ) a qual, para uma mistura binária, é determinada pela Equação 3.

$$\alpha_{A/B} = \frac{y_A/y_B}{x_A/x_B} \quad \text{Eq. 3}$$

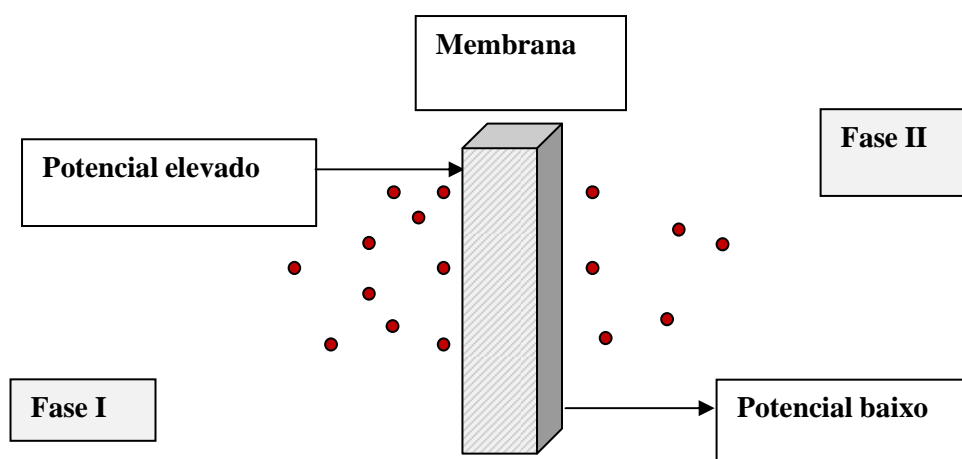
onde:

$y_A$  e  $y_B$  são as concentrações dos componentes A e B no permeado e  $x_A$  e  $x_B$  são as concentrações dos componentes A e B na alimentação.

Em se tratando de escala industrial, onde grandes volumes de fluido são processados, a eficiência do processo de separação é importante para a viabilidade do mesmo, sendo, portanto preferidas membranas que apresentam alto fluxo sem prejuízo de suas propriedades seletivas.

### 2.7.2 Mecanismos de transporte e separação em membranas

A forma mais usual de transporte de massa através de uma membrana é o transporte passivo, no qual a espécie é transportada no sentido do potencial químico decrescente. A força motriz para o transporte dos componentes é fornecida por um gradiente do potencial eletroquímico, ou seja, um gradiente de potencial químico ( $\Delta\mu$ ) e/ou gradiente de potencial elétrico ( $\Delta E$ ) do componente entre as duas fases separadas pela membrana. O gradiente de potencial químico pode ser expresso em termos de gradiente de pressão ( $\Delta P$ ), gradiente de concentração ( $\Delta C$ ) ou gradiente de temperatura ( $\Delta T$ ), porém, particularmente os processos de separação por membranas são isotérmicos. A Figura 7 ilustra o transporte passivo entre duas fases distintas.



**Figura 7:** Transporte passivo de uma espécie através da membrana.

A morfologia da membrana e a força motriz empregada no processo irão governar o mecanismo de transporte através da membrana, que pode ser difusivo ou convectivo. No caso de membranas porosas, se a força motriz for o gradiente de pressão, o fluxo permeado ocorre nos poros e o mecanismo é o convectivo, porém, se a força motriz for o gradiente de concentração das espécies o fluxo do permeado será de natureza difusiva. Nos processos que envolvem membranas densas, o fluxo de permeado é sempre de natureza difusiva independente do tipo de força motriz aplicada uma vez que a membrana não apresenta poros em sua interface. (HABERT *et al.*, 2006).

Os processos que utilizam membranas porosas e gradiente de pressão como força motriz são a microfiltração (MF), a ultrafiltração (UF) e a nanofiltração (NF). Não existem diferenças significativas entre os três processos, estes são considerados uma extensão da filtração clássica e diferem no diâmetro dos poros das membranas e no gradiente de pressão que deve ser aplicado (MULDER, 1991). O mecanismo de separação se dá em função da diferença de tamanho entre as espécies presentes na solução a ser permeada e os poros da membrana (PORTER, 1990). A Tabela 3 relaciona os principais processos comerciais de separação por membranas e a força motriz aplicada em cada caso.

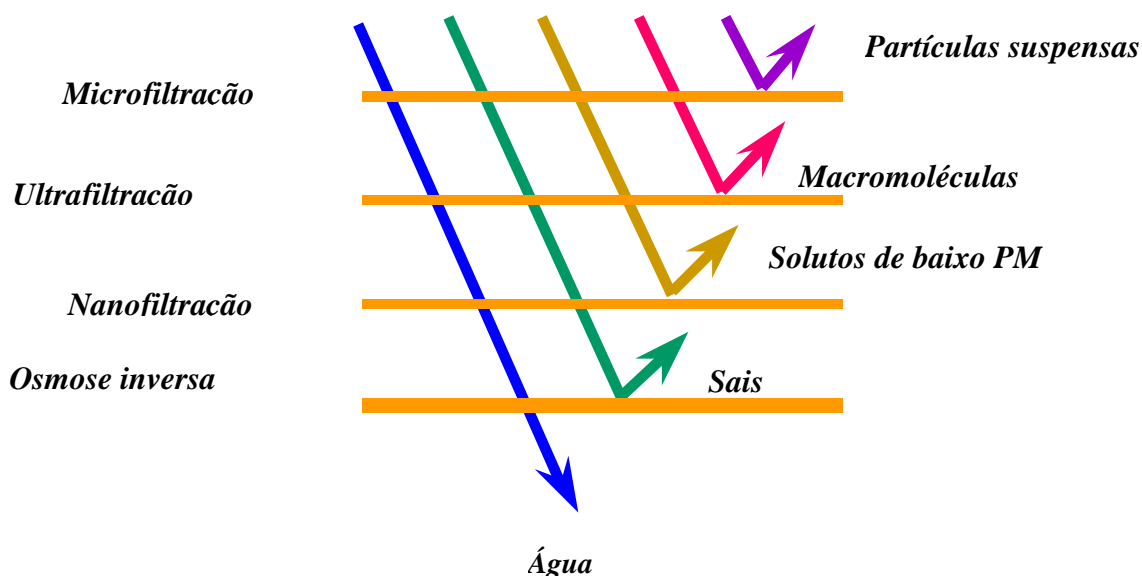
**Tabela 3:** Relação entre morfologia da membrana e força motriz aplicada

FORÇA MOTRIZ	MEMBRANA	PROCESSO
Pressão (1 a 2 bar)	Porosa	Microfiltração
Pressão (2 a 10 bar)	Porosa	Ultrafiltração
Pressão (5 a 25 bar)	Porosa	Nanofiltração
Pressão (20 a 100 bar)	Densa	Osiose Inversa
Concentração	Densa	Osiose
Concentração	Densa/Porosa	Diálise
Concentração	Densa	Pervaporação
Concentração	Porosa	Concentração osmótica
Pressão	Densa	Separação de gases
Potencial elétrico	Aniônicas / catiônicas	Eletrodiálise

Fonte: MULDER, 1991.

O tamanho dos poros da membrana decresce na seguinte ordem: microfiltração, ultrafiltração e nanofiltração e, quanto menor o tamanho do poro, maior é a resistência à transferência de massa oferecida pela membrana e maior deve ser a diferença de pressão aplicada para que o processo ocorra (MULDER, 1991).

A osmose inversa é um processo de separação que utiliza membranas densas e gradiente de pressão como força motriz. O transporte em membranas densas é do tipo difusivo e depende da afinidade entre os componentes da amostra e o material da membrana, pois o soluto, para permear a membrana deve, primeiramente, solubilizar-se na mesma. A seletividade é determinada por diferenças de afinidade e/ou diferenças de difusividade (MULDER, 1991). O processo da osmose inversa é utilizado quando se deseja reter solutos de baixa massa molar, tais como sais inorgânicos e açúcares simples como a glicose. A Figura 8 ilustra as partículas que são retidas em cada processo.



**Figura 8:** Solutos retidos pelas diferentes membranas

### 2.7.3 Tecnologia de membranas

As principais vantagens em utilizar os processos de separação por membranas são a possibilidade de acoplamento a outros processos de separação, a simplicidade de operação, o fácil escalonamento e as condições brandas de separação. Em geral, os processos com membranas ocorrem à temperatura ambiente sem que haja mudança de fase ou utilização de calor. Desta forma, permitem a manutenção das propriedades sensoriais, nutricionais e funcionais dos produtos, além de representar uma economia nos custos energéticos envolvidos no processo (MULDER, 1991).

Todavia, esses processos apresentam algumas desvantagens, tais como, a baixa vida útil da membrana associada ao alto custo de sua reposição e a redução no fluxo de permeado ao longo do processo, conseqüência do fenômeno conhecido como *fouling*, que se caracteriza pelo aumento da resistência à passagem do solvente através da membrana em função, dos fenômenos de formação de uma camada de solutos na superfície da membrana, adsorção e até o entupimento dos poros da membrana (MULDER, 1991).



A polarização de concentração ocorre nos momentos iniciais e resulta do aumento da concentração de solutos na camada limite próxima a membrana resultando num fluxo contrário ao da permeação.

Dentre os processos com membranas, a osmose inversa (OI), ultrafiltração (UF), nanofiltração (NF), microfiltração (MF), pervaporação (PV) e a evaporação osmótica (EO) são os que mais se destacam na área de alimentos.

A microfiltração de suco de maracujá utilizando membranas cerâmicas associada a tratamentos enzimáticos foi estudada por Vaillant e colaboradores (1999). Em um primeiro momento, foi avaliada a influência da composição da atividade enzimática de quatro preparações comerciais de enzimas sobre o fluxo de permeado. Em seguida, a enzima escolhida como a melhor foi utilizada para um estudo da influência da pressão aplicada à membrana e concentração de enzima sobre o fluxo permeado. Como resultado, observou-se que a utilização de menores valores de pressão (150 KPa) e maiores quantidades de enzima (0,1% p/v) proporcionaram os maiores valores de fluxo permeado (113 L/hm<sup>2</sup>).

Rodrigues e colaboradores (2004) estudaram a concentração de suco de camu camu por um processo integrado de microfiltração, osmose inversa e evaporação osmótica. Neste trabalho, o suco concentrado por evaporação osmótica alcançou concentração de 63,7°Brix. As perdas de ácido ascórbico foram inferiores a 10%.

Miranda (2005) concentrou licopeno em suco de melancia através do processo de ultrafiltração em um sistema com membranas cerâmicas de tamanho médio de poro de 0,02 µm, processando a uma velocidade tangencial de 4,2 m/s. Neste trabalho foi avaliada a influência da diferença de pressão aplicada e da temperatura na concentração de licopeno, no fluxo permeado e no efeito do *fouling*. O aumento da temperatura e pressão provocaram um aumento na faixa de 78 – 88% no teor de licopeno na fração retida em relação ao suco inicial.

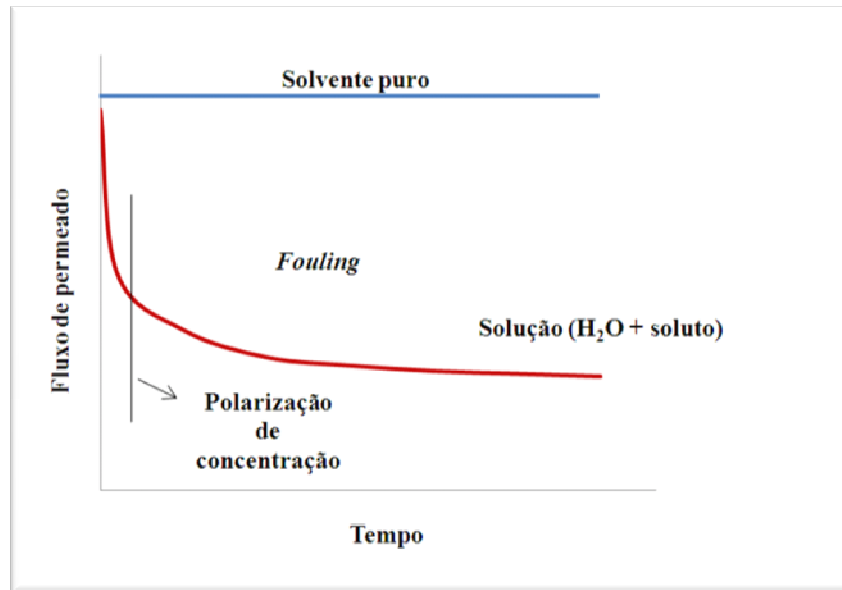
Em alternativa à evaporação térmica, Galaverna e colaboradores (2008) concentraram suco de laranja através da combinação dos processos de ultrafiltração, osmose inversa e evaporação osmótica e alcançaram uma concentração em torno de 60°Brix. O suco concentrado obtido foi avaliado em relação a sua atividade antioxidante, teor de ácido ascórbico e teor de antocianinas. Foi verificada uma pequena diminuição nos teores desses compostos, e conseqüentemente, uma diminuição na atividade antioxidante. Porém, a degradação foi inferior à observada para um suco concentrado termicamente.

#### **2.7.4 Microfiltração**

Nos processos de microfiltração, onde são utilizadas membranas porosas, a seletividade da membrana está diretamente associada entre a relação de tamanho das espécies presentes e o tamanho dos poros da membrana (HABERT *et al.*, 2006).

A microfiltração envolve a separação de um grande número de macromoléculas e sólidos em suspensão em uma faixa de 0,02 a 2 µm. Exemplos de materiais removidos por esse método são amido, pectina, gomas, bactérias, fungos e leveduras.

A principal desvantagem da aplicação dos processos que utilizam membranas porosas é a diminuição do fluxo de permeado em função de diversos fatores como polarização de concentração, formação da camada gel, adsorção e entupimento dos poros da membrana. Estes fatores podem ser minimizados através de pré-tratamentos que promovam uma diminuição dos sólidos em suspensão presentes na polpa como a centrifugação, tratamento enzimático ou refino, ou ainda através de alterações das condições de processamento (VAILLANT *et al.*, 1999, MATTA *et al.*, 2004; CRUZ, 2008). A Figura 9 representa o comportamento do fluxo em função das várias resistências que podem surgir.



**Figura 9:** Comportamento do fluxo em função do tempo.  
 Fonte: HABERT *et al.*, 2006.

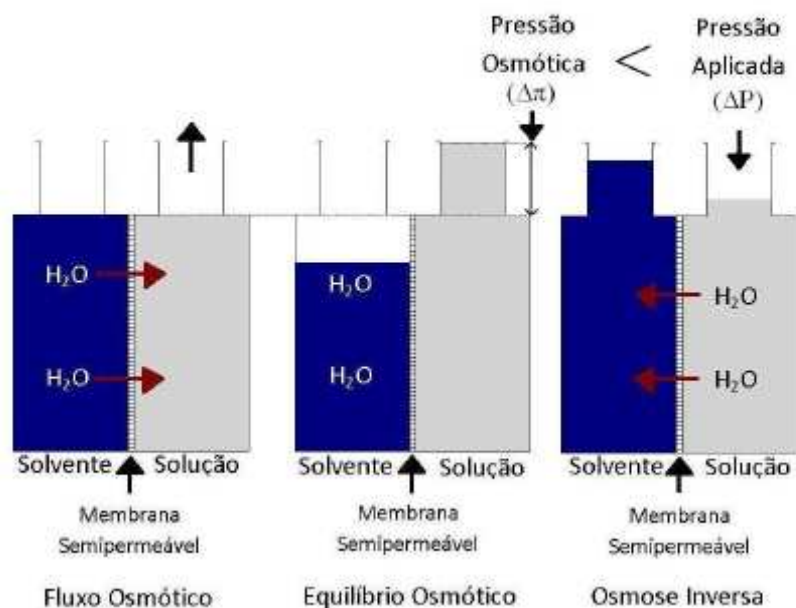
A obtenção de suco de abacaxi clarificado e esterilizado por processo de microfiltração foi estudada por Carneiro *et al.* (2002). Nesse trabalho, utilizou-se membrana polimérica de polietersulfona com poros de 0,3  $\mu\text{m}$ , associada a um pré-tratamento com enzimas de atividades celulolíticas e pectinolíticas. O objetivo principal de obter um suco comercialmente estéril foi alcançado, aliado a um elevado fluxo médio de permeado, na faixa de 100 L/hm<sup>2</sup>.

Em pesquisa desenvolvida por Ushikubo e colaboradores (2006) foram avaliadas a influência da pressão aplicada à membrana, do pré-tratamento com enzima e da velocidade tangencial sobre o fluxo permeado na microfiltração de polpa de umbu diluída (1:2 em água). Foi utilizada uma membrana polimérica com tamanho de poro de 0,2  $\mu\text{m}$ . A velocidade tangencial foi a principal variável responsável pelo aumento do fluxo de permeado. O tratamento enzimático também indicou um efeito positivo, no entanto, a pressão provocou a redução do fluxo permeado em função de uma maior compactação de partículas sobre a superfície da membrana, o que resultou no aumento da resistência à transferência de massa.

### 2.7.5 Osmose inversa

Quando duas soluções de diferentes concentrações, são separadas por uma membrana semipermeável, observa-se um fluxo de solvente no sentido da solução mais diluída para a de maior concentração. Esse fenômeno é denominado osmose e ocorre pela presença de um potencial químico entre os dois lados da membrana (MULDER, 1991).

O processo de osmose inversa utiliza a diferença de pressão como força motriz e consiste em aplicar sobre a solução uma pressão hidráulica maior que a pressão osmótica, promovendo a passagem do solvente da região mais concentrada para a mais para uma menos concentrada através de uma membrana semipermeável, ou seja, o fluxo permeado escoar no sentido contrário do fluxo osmótico, como pode ser representado na Figura 10 (MULDER, 1991).



**Figura 10:** Esquema representativo da osmose e osmose inversa  
 Fonte: SANTANA (2009).

Nesses processos são utilizadas membranas densas, isotrópicas ou anisotrópicas, que retêm partículas cujo diâmetro varia de 1 a 10 Å e moléculas com massa molar acima de 50 Daltons, o que origina permeados constituídos basicamente de água.

Devido à grande resistência dessas membranas, uma pressão elevada deve ser aplicada à membrana. O fluxo efetivo de água pode ser representado pela Equação 4.

$$J = A (\Delta P - \Delta \pi) \quad \text{Eq. 4}$$

onde:

A = coeficiente de permeabilidade (função da solubilidade e da difusividade)

$\Delta P$  = diferença de pressão aplicada

$\Delta \pi$  = diferença de pressão osmótica

Matsuura e colaboradores (1974), Girard e Fukumoto (2000) comentam que as principais vantagens da osmose inversa são a obtenção de produtos de alta qualidade, devido à utilização de baixas temperaturas de operação, proporcionando uma alta recuperação dos compostos de aroma e sabor e a preservação de compostos responsáveis pelas características nutricionais do produto; ao menor consumo de energia, por não haver necessidade de mudança de fases; à utilização de instalações compactas e de fácil operação.

## 2.8 Encapsulação

A encapsulação de compostos ativos tem se tornado um processo muito atrativo nas últimas décadas, com o seu uso mostrando-se adequado não só na indústria de alimentos, como também em outras áreas como farmacêutica, biotecnológica e cosmetológica (XIE *et al.*, 2008; FUCHS *et al.*, 2006). Especificamente na indústria alimentícia, os principais

materiais que podem ser encapsulados são: óleos essenciais, lipídeos, vitaminas, carotenóides, antocianinas, aminoácidos e enzimas (ABURTO *et al.*, 1998; KLAYPRADIT e HUANG, 2008).

As microcápsulas, na sua forma mais simples, consistem basicamente de um pequeno núcleo recoberto por uma barreira. O material externo é chamado agente encapsulante, enquanto o ingrediente interno é o material ativo (COCERO *et al.*, 2009; KLAYPRADIT e HUANG, 2008).

Um dos objetivos da encapsulação é proteger o composto ativo de fatores externos adversos tais como oxigênio, radiação, umidade, além da interação com outros compostos. Esse processo também tem sido utilizado com o propósito de promover a liberação controlada do ativo encapsulado, transformar líquidos em pós com melhores condições de transporte e manuseio, mascarar sabor e odor de um composto ativo, adicionar materiais com valor nutritivo após o processamento de alimentos, preservar aromas e *flavour*, além de promover atratividade adicional ao *marketig* de produtos alimentícios (JACKSON e LEE, 1991 citado por FAVARO-TRINDADE *et al.*, 2008).

Em função de suas características, os materiais usados como barreira, ou materiais de parede, podem ter propriedades hidrofílicas ou hidrofóbicas. Os agentes de encapsulamento mais utilizados têm sido proteínas, gomas, carboidratos, lipídeos, lecitinas, fibras ou a até mesmo a combinação entre eles.

Os produtos obtidos nos processos de encapsulação podem ter diâmetros variando entre unidades de micrometros até milímetros e apresentar diversas formas, dependendo dos materiais e métodos usados para sua obtenção (GHARSALLMAOUI *et al.*, 2007).

Os mecanismos de liberação dos compostos ativos, assim como a estabilidade e propriedades do material encapsulado variam de acordo com a natureza do material encapsulante (FAVARO-TRINDADE *et al.*, 2008).

Os métodos utilizados na encapsulação de compostos são divididos em físicos, químicos e físico-químicos. O primeiro grupo inclui dentre outros, os processos de *atomização*, liofilização, leito fluidizado e co-cristalização. Os métodos químicos são os que usam inclusão molecular, polimerização interfacial e polimerização *in situ*. O terceiro grupo inclui processos como coacervação simples e complexa, lipossomas, lipoesferas e evaporação do solvente (FAVARO-TRINDADE *et al.*, 2008; GHARSALLMAOUI *et al.*, 2007).

Microcápsulas contendo óleo de laranja foram obtidas utilizando secagem por atomização. Foram testadas três formulações diferentes com goma arábica e maltodextrina e temperaturas de 180°C, 200°C e 220°C. A maior retenção de óleo, 94%, foi obtida com a fórmula contendo 10% de amido modificado, 36% de maltodextrina e 10% de óleo essencial de laranja, independente da temperatura de secagem (ABURTO *et al.*, 1998).

Matioli e Rodriguez-Amaya (2002) avaliaram a estabilidade do licopeno encapsulado por *atomização* e liofilização utilizando como material de parede a goma arábica ou goma arábica com maltodextrina. As amostras foram armazenadas na ausência ou presença de luz por 40 dias. A melhor estabilidade do licopeno ocorreu quando este foi liofilizado com goma arábica associada à maltodextrina.

Nunes e Mercadante (2007) estudaram o encapsulamento do licopeno pelos processos de atomização e inclusão com  $\beta$ -ciclodextrina seguida de liofilização. Nos processos de atomização a pureza do licopeno obtido aumentou de 96,4% para 98,1%, enquanto que no processo de inclusão com a  $\beta$ -ciclodextrina associado à liofilização foi observado uma redução de 97,7% para 91,3% em sua pureza.

Especificamente com relação ao licopeno, vários estudos sobre microencapsulação vem sendo realizados com o objetivo de torná-lo menos susceptível à isomerização e oxidação durante o processamento e a estocagem. As técnicas que vêm sendo utilizadas para produção das microcápsulas são liofilização, atomização, complexação com ciclodextrinas e

coacervação (MATIOLI e RODRIGUEZ-AMAYA, 2002; MATIOLI e RODRIGUEZ – AMAYA, 2003; SHU *et al.*, 2006; ROCHA, 2009).

## 2.9 Análise sensorial

A análise sensorial pode ser definida como sendo uma poderosa ferramenta científica usada para medir, analisar e interpretar as características dos alimentos e materiais percebidos pelos órgãos da visão, olfação, tato e audição (AMERINE *et al.*, 1965).

A avaliação sensorial baseia-se em técnicas que usam, fundamentalmente, as percepções fisiológicas e psicológicas. Os cinco sentidos podem ser utilizados na avaliação. O uso do olfato, paladar, visão, audição ou tato é determinado pelo atributo que se deseja avaliar: odor, sabor, cor, ruído ou consistência (DUTCOSKY, 1996).

Os testes sensoriais podem ser incluídos como garantia de qualidade por serem uma medida multidimensional integrada possuindo diversas vantagens, tais como, ser capaz de identificar a presença ou ausência de diferenças perceptíveis, definir características sensoriais importantes de um produto de forma rápida e ser capaz de detectar particularidades que não podem ser detectadas por outros procedimentos analíticos (MUNOZ *et al.*, 1992).

O tipo de teste a seguir na análise sensorial depende do objetivo pretendido e podem ser divididos em três categorias fundamentais: testes discriminativos, testes descritivos e testes afetivos (STONE e SIDEL, 1993).

O objetivo dos testes discriminativos é avaliar a percepção que o provador tem da diferença qualitativa e/ou quantitativa entre produtos, ou seja, indicam se as amostras são iguais ou diferentes. Esses testes são aplicáveis tanto para fins de controle de qualidade como para fins de pesquisa e desenvolvimento de novos produtos (FARIA e YOTSUYANAGI, 2002).

Comparação pareada é um teste discriminativo muito simples e utilizado quando se deseja determinar se há diferença entre duas amostras em relação a uma característica sensorial específica.

Os testes descritivos envolvem a detecção e a descrição qualitativa e quantitativa dos diferentes atributos sensoriais de um determinado produto, por um painel de provadores devidamente treinado para esse propósito (MEILGAARD *et al.*, 1999).

Os testes afetivos têm como objetivo avaliar a resposta dos indivíduos com relação à preferência e ou aceitação de um produto ou características específicas do produto através de consumidores habituais e potenciais do mesmo (MEILGAARD *et al.*, 1999).

## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1 Material

#### 3.1.1 Matéria-prima

Foram utilizadas melancias da variedade *Crimson Sweet* provenientes do estado de Goiás e adquiridas diretamente na Central de Abastecimento dos Produtores do Estado do Rio de Janeiro – CEASA–RJ.

#### 3.1.2 Outros

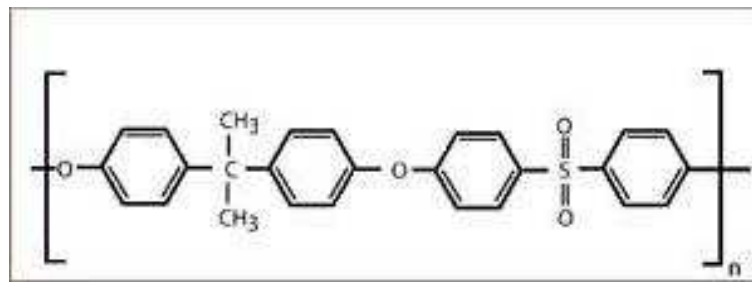
Iogurte batido natural versão *light* adquirido no comércio local do Rio de Janeiro.

#### 3.1.3 –Membranas

- Membrana plana de polissulfona GRM0.1PP (DSS, Dinamarca) com 0,1  $\mu\text{m}$  de diâmetro médio de poro.
- Membrana tubular de polissulfona MFK 617 (*Koch*, EUA) com tamanho médio de poros de 0,3  $\mu\text{m}$ .

A estrutura básica da polissulfona está apresentada na Figura 11.

- Membrana tubular de  $\alpha$ -alumina ( $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ), T1-70 (*Pall Corporation: Membralox® Ceramic Membrane Products*, EUA), com diâmetro médio de poros de 0,1  $\mu\text{m}$ .
- Membrana HR 98PP (DSS, Dinamarca). Trata-se de uma membrana anisotrópica composta, constituída por um suporte poroso de polissulfona e camada seletiva de poli(amida), com rejeição nominal de 98% a uma solução de 0,25% de NaCl, a 25°C e 42 bar.



**Figura 11:** Unidade estrutural básica da polissulfona. Fonte: Cheryan, 1998.

## 3.2 – Métodos

### 3.2.1– Obtenção do suco de melancia

Para obtenção do suco de melancia, os frutos foram previamente higienizados com uma pré-lavagem em água corrente para remoção de sujidades. A sanitização foi realizada pela imersão dos mesmos em água clorada na concentração de 200 ppm por 15 min e posterior lavagem em mesa de aspersão para retirada do cloro residual. Em seguida, a fruta foi cortada e a casca removida manualmente e submetida a despulpamento em despulpadeira de escova horizontal da marca Itametal, modelo Bonina 0,25 df, previamente sanificada com solução de hipoclorito de sódio a 0,01% e equipada com peneira de 0,6 mm. O suco obtido foi acondicionado em embalagens de polietileno - alumínio e armazenado a -18°C até o momento de sua utilização.

### 3.2.2 Microfiltração:

Para os testes de microfiltração foram utilizados os seguintes sistemas:

#### 1.1) Sistema em escala de laboratório quadro e placas

Foi utilizado um sistema em escala laboratorial do tipo quadro e placas. O equipamento era constituído por uma célula em aço inox, aonde era acondicionada a membrana cuja área total de permeação de  $0,0146\text{m}^2$ . Ao sistema foram acoplados; uma bomba de engrenagem, manômetros e uma válvula para o monitoramento e o controle da pressão do sistema. O diagrama representativo do sistema está apresentado na Figura 12.

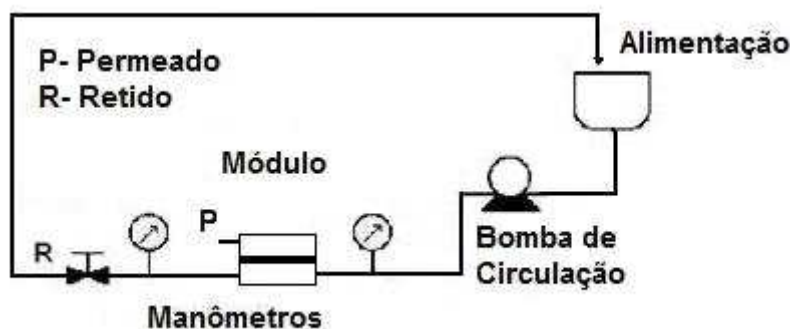


Figura 12: Esquema representativo do módulo de configuração plana

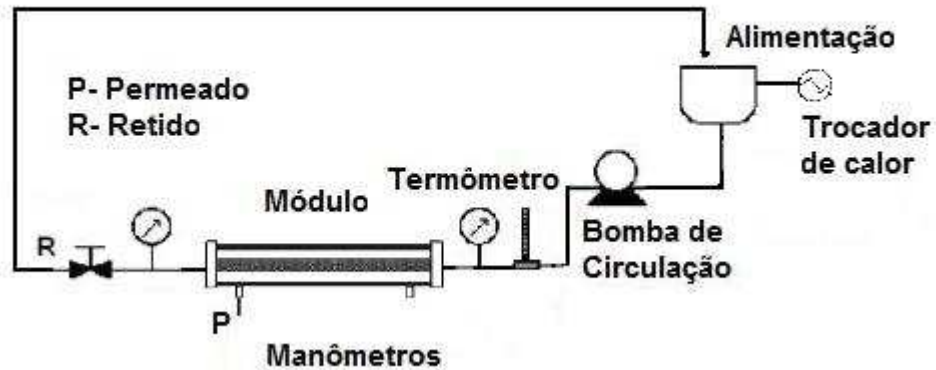
#### 1.2) Sistemas semi-pilotos

Para testes de microfiltração em escala semi-piloto foram utilizados sistemas de membranas tubulares, com diferentes tipos de membranas.

##### 1.2.1) Módulo piloto de microfiltração com membrana polimérica (PROTOSEP IV da Koch Membrane System, EUA):

Este sistema era constituído por uma bomba de deslocamento positivo para circulação da alimentação, um módulo de configuração tubular com área total de filtração de  $0,05\text{m}^2$ , um tanque de alimentação em aço inox, encamisado, acoplado a um sistema de refrigeração para o controle da temperatura do processo; válvula para ajuste da pressão e manômetros para

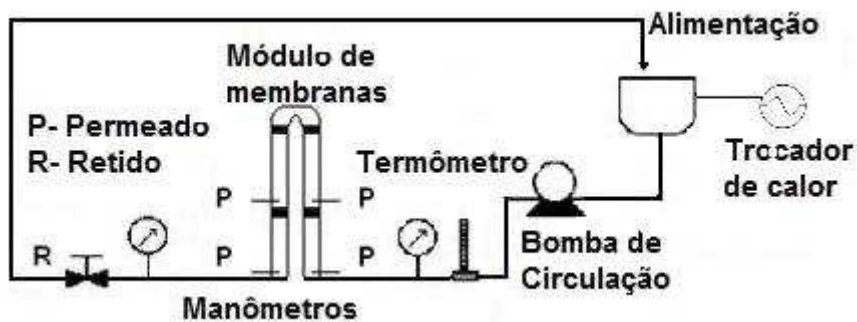
controle das pressões de entrada e saída do módulo. A Figura 13 apresenta o diagrama representativo do sistema.



**Figura 13** : Diagrama representativo do sistema de configuração tubular

### 1.2.2) Módulo piloto de microfiltração com membranas cerâmicas (TIA, *Techniques Industrielles Appliquées*, França).

Este sistema era constituído por quatro módulos tubulares nos quais eram acoplados as membranas de  $\alpha$ -alumina dispostas em série, cada uma com 7,0 mm de diâmetro e 258 mm de comprimento, resultando em uma área efetiva de filtração de 0,022m<sup>2</sup>. O sistema era composto por um tanque de alimentação em aço inox, encamisado, acoplado a uma unidade de refrigeração para o controle da temperatura do processo, uma bomba de deslocamento positivo para circulação da alimentação, uma válvula para ajuste da pressão e manômetros para controle das pressões de entrada e saída dos módulos, conforme apresentado no diagrama representativo (Figura 14).



**Figura 14**: Representação esquemática do sistema de membrana cerâmica

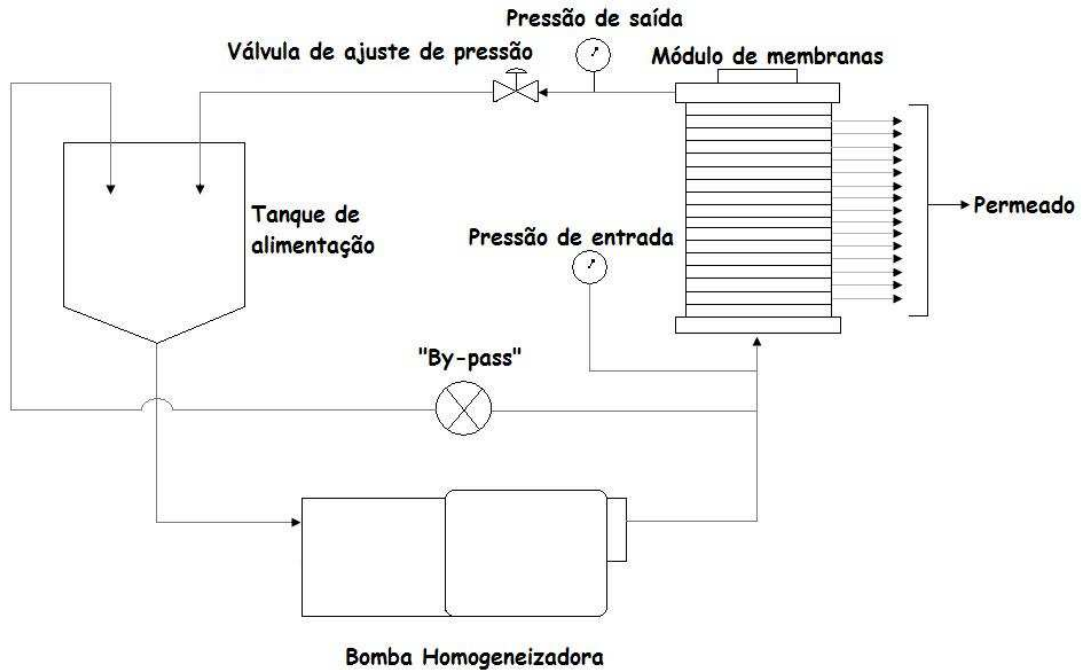
### 3.2.3 Osmose inversa

Os processos de concentração por osmose inversa foram realizados em um sistema de configuração plana do tipo quadro e placas, modelo Lab Unit M-20 (DSS – *Danish Separation System*, Dinamarca). O módulo era constituído por 20 membranas planas com área total de permeação igual a 0,72m<sup>2</sup>.

O sistema era composto por um tanque de alimentação em aço inox, o qual foi acoplado a uma unidade de refrigeração para o controle da temperatura do processo; por uma



bomba de recirculação, válvula para ajuste da pressão e manômetros para controle das pressões de entrada e saída da membrana e uma linha de *by pass* para controle da vazão de circulação do sistema. O diagrama representativo do sistema está apresentado na Figura 15.



**Figura 15: Representação esquemática do sistema de osmose inversa**

### 3.2.4 Testes preliminares de microfiltração

Os testes preliminares de microfiltração do suco de melancia foram conduzidos para avaliar a seletividade de algumas membranas ao licopeno, assim como a influência da configuração do sistema e do tipo de material da membrana na concentração do licopeno. Deve ser enfatizado que nem sempre foi possível manter como variável somente a membrana, pois a troca da mesma resultava na alteração da perda de carga do sistema, da velocidade tangencial, resultando que nem todos os parâmetros de processo eram mantidos constante. Porém, os testes foram efetivos para o conhecimento inicial do comportamento do suco de melancia em módulos de configuração plana e tubular, usando membranas constituídas pelo mesmo polímero, a polissulfona, ou para avaliação do tipo de material da membrana, polimérico ou cerâmico, mantendo-se a mesma configuração, neste caso, tubular.

#### 3.2.4 a Membrana de polissulfona plana

A seletividade da membrana ao licopeno foi avaliada no sistema do tipo quadro e placas com a membrana plana de polissulfona. Os testes foram realizados com suco de melancia *in natura* em regime de batelada simples, a 30°C, vazão de recirculação de 100 L/h e diferença de pressão aplicada à membrana de 3,0 bar. O fluxo permeado era determinado, onde eram também registrados os volumes de permeado acumulado, as pressões de entrada e saída do módulo e a temperatura do suco de melancia a cada 15 minutos.

Os experimentos foram interrompidos após 4 horas de processamento, realizados em duplicata, sendo os resultados expressos pela média entre os dois processos.

### 3.2.4 b Membrana de polissulfona tubular

Foram realizados processos com membranas tubulares de polissulfona, conduzidos em regime de batelada simples, a 30°C, diferença de pressão aplicada à membrana de 3,0 bar e vazão de recirculação de 940 L/h.

Da mesma forma, os processos foram realizados com suco de melancia *in natura*, sendo o fluxo e o volume acumulado de permeado, as pressões de entrada e saída do módulo e a temperatura do suco de melancia registrados a cada 15 minutos.

Os experimentos foram interrompidos quando o fator de concentração volumétrico (FCV) igual a 4,5 foi atingido, realizados em duplicata e o resultado expresso pela média entre os dois processos.

### 3.2.4 c Membrana cerâmica tubular

A fim de se avaliar a influência do tipo de material da membrana na concentração do licopeno foram realizados processamentos com membranas cerâmicas de configuração tubular. Os processos foram conduzidos em regime de batelada simples, a 30°C, diferença de pressão aplicada à membrana de 3,0 bar e vazão de recirculação de 940 L/h. Foi utilizado suco de melancia *in natura*, sendo o fluxo permeado e o volume de permeado acumulado, as pressões de entrada e saída do módulo e a temperatura do suco de melancia registrados a cada 15 minutos.

Os experimentos foram interrompidos quando o fator de concentração volumétrico (FCV) atingiu o valor de 4,5.

Os processos foram realizados em duplicata e o resultado expresso pela média entre os dois processos.

### 3.2.5 Planejamento Experimental

Para avaliar o efeito da velocidade tangencial e temperatura do processo de microfiltração na qualidade do suco de melancia foi realizado um delineamento composto central rotacional (DCCR)  $2^2$ , onde as variáveis independentes foram velocidade tangencial e temperatura de processo e as variáveis dependentes avaliadas foram o fluxo permeado, o aumento no teor de licopeno (%) e na atividade antioxidante do suco de melancia (%), ao nível de 95% de confiança. Este planejamento foi realizado com o sistema tubular utilizando membranas cerâmicas.

Os valores reais e codificados de cada nível das variáveis independentes utilizadas nos ensaios do planejamento estão apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4:** Valores utilizados no DCCR para concentração do suco de melancia

Variáveis independentes	Níveis				
	- 1,41	- 1	0	+ 1	+ 1,41
Velocidade tangencial (m/s)	4,3	4,6	5,4	6,1	6,4
Temperatura (°C)	23	25	30	35	37

Foram realizados 4 ensaios provenientes do delineamento experimental, mais 4 pontos axiais e 3 repetições no ponto central, totalizando 11 ensaios. O planejamento experimental utilizado está descrito na Tabela 5.

A diferença de pressão aplicada foi fixada em 3,0 bar e os ensaios foram interrompidos após duas horas de processamento.

**Tabela 5:** Planejamento experimental com valores reais e codificados para velocidade tangencial e temperatura.

Ensaio	Velocidade tangencial (m/s)	Temperatura (°C)
1	4,6 (-1)	25 (-1)
2	6,1(+1)	25 (-1)
3	4,6 (-1)	35 (+1)
4	6,1(+1)	35 (+1)
5	4,3 (-1,41)	30 (0)
6	6,4 (+1,41)	30 (0)
7	5,4 (0)	23 (-1,41)
8	5,4 (0)	37(+1,41)
9	5,4 (0)	30 (0)
10	5,4 (0)	30 (0)
11	5,4 (0)	30 (0)

### 3.2.6 Concentração por osmose inversa

Os testes de concentração por osmose inversa foram realizados a 30°C e pressão aplicada à membrana igual a 60 bar, conduzidos em regime de batelada alimentada, onde se utilizou um volume inicial de 8 L de suco de melancia. Após a retirada de 5 L de permeado, mais 4 L de suco eram adicionados ao sistema. O fluxo permeado e o teor de sólidos solúveis eram avaliados a cada 5 minutos de processo.

A finalização dos processos acontecia em função do fluxo permeado, pois os mesmos eram interrompidos quando este se tornava mínimo.

O processo foi realizado em triplicata e o resultado expresso pela média entre eles.

### 3.2.7 Parâmetros de acompanhamento dos processos com membranas

#### 3.2.7.1 Fluxo volumétrico

O parâmetro utilizado para avaliar a eficiência dos processos foi o fluxo volumétrico (J), determinado pela medida do tempo necessário (t) para recolher um determinado volume de permeado (V) através de uma área específica de membrana (A) conforme Equação 5.

$$J = \frac{V}{A \cdot t} \quad \text{Eq. 5}$$

#### 3.2.7.2 Fator de concentração volumétrico

O fator de concentração volumétrico (FCV) é definido pela razão entre o volume de suco alimentado ( $V_a$ ) e o volume do suco retido ( $V_r$ ), conforme Equação 6. O volume de suco retido foi calculado pela diferença entre o volume de alimentação e o volume de permeado ( $V_p$ ), conforme Equação 7.

$$FCV = \frac{V_a}{V_r} \quad Eq. 6$$

$$V_r = V_a - V_p \quad Eq. 7$$

### 3.2.7.3 Finalização dos processos

Os parâmetros utilizados para definir o término dos processos foram o tempo de processo, estipulado em um máximo de quatro horas, o fator de concentração volumétrico (FCV), fixado em 4,5 e o fluxo permeado mínimo atingido, sendo selecionado o parâmetro que ocorresse primeiro.

### 3.2.7.4 Permeabilidade hidráulica

A permeabilidade hidráulica das membranas foi determinada a partir da medida do fluxo permeado com água sob diferentes pressões aplicadas à membrana e temperaturas na faixa de 20 a 35°C. A velocidade tangencial do sistema utilizada foi de 7,2 m/s.

Após o término de cada ciclo de limpeza e anteriormente a cada processo, a permeabilidade hidráulica era verificada a fim de se avaliar a eficiência da limpeza e a integridade das membranas.

### 3.2.7.5 Permeabilidade com o suco de melancia

Semelhantemente ao procedimento para determinação da permeabilidade hidráulica, também foram realizados testes para determinação da permeabilidade da membrana ao suco de melancia. Este teste teve como objetivo determinar o valor da pressão do fluxo limite e a influência da temperatura neste parâmetro.

## 3.2.8 Limpeza dos sistemas de membranas

A limpeza dos equipamentos foi realizada imediatamente após os processos com o suco de melancia, utilizando-se o procedimento preconizado pelos fabricantes das membranas.

### 3.2.8.1 Membranas de microfiltração: polimérica ou cerâmica

1. Lavagem com água filtrada, à temperatura ambiente, com o descarte das correntes de permeado e retido para remoção dos resíduos de suco.
2. Lavagem com solução alcalina composta de hidróxido de sódio a 0,5 ou 1% para membranas poliméricas ou cerâmicas, respectivamente, temperatura de 45°C, por 20 minutos, em sistema aberto, com recirculação das correntes de permeado e concentrado.
3. Enxágüe com água filtrada para retirada do hidróxido de sódio, em sistema aberto e descarte das duas correntes até a neutralização das mesmas.
4. Lavagem com solução cloro-alcalina composta por hidróxido de sódio a 1% e 200 ppm de hipoclorito de sódio, a 45°C, por 20 minutos, com recirculação das correntes de permeado e concentrado.

5. Enxágüe com água filtrada com descarte das correntes até a neutralização das mesmas.

### 3.2.8.2 Membranas de osmose inversa

1. Lavagem com água filtrada a temperatura ambiente para a remoção de resíduos de suco com o descarte das correntes de permeado e concentrado.
2. Lavagem com solução de hidróxido de sódio a 0,5%, a 45°C, por 30 minutos, com recirculação das duas correntes.
3. Enxágüe com água filtrada para retirada do hidróxido de sódio, com descarte das correntes até a neutralização das mesmas.

Em todos os sistemas utilizados, a limpeza era considerada satisfatória quando pelo menos, 90% da permeabilidade hidráulica inicial fosse atingida. Caso contrário, os procedimentos de limpeza eram repetidos.

### 3.2.9 Encapsulamento

Para os ensaios de microencapsulamento, realizados em duplicata, utilizou-se como matéria prima a fração retida de suco de melancia obtida nos processos de microfiltração do planejamento experimental. A amostra escolhida foi proveniente da condição de processo que resultou no maior fator de concentração do licopeno, a qual apresentava um teor de sólidos solúveis igual a 8° Brix.

O microencapsulamento foi realizado em um mini *spray dryer* Buchi Modelo B-190. Os parâmetros operacionais de secagem utilizados foram: temperatura de ar de secagem de entrada e saída 180°C e 90°C, respectivamente; pressão de atomização de 7 bar, vazão média de ar de secagem de 700 L/h e vazão média de alimentação de 34 mL/min.

Os agentes encapsulantes utilizados foram a maltodextrina DE =19-22 (Mor-Rex 1920, *Corn products* Brasil) e a goma arábica P.A (Vetec), na proporção 50:50, sendo utilizados em uma concentração de 8% em relação à massa de suco (MATIOLI & RODRIGUEZ-AMAYA, 2002), o que resultou em uma mistura final com 22% de sólidos solúveis. A mistura foi homogeneizada com o auxílio de um liquidificador doméstico até a completa dissolução dos polissacarídeos.

O material seco obtido foi acondicionado em embalagem aluminizada e, posteriormente, pesado e armazenado em dessecadores à temperatura ambiente. O mesmo foi avaliado quanto ao teor de licopeno e atividade antioxidante.

O rendimento do processo de encapsulação (R) foi calculado pela relação entre a massa de pó seco (M) e a quantidade de sólidos totais da solução alimentadora (ST), conforme Equação 8, sendo os resultados expressos em porcentagem.

$$R = \frac{M}{ST} \times 100 \quad \text{Eq.8}$$

### 3.2.10 Análise Sensorial

A análise sensorial foi realizada utilizando-se dois testes distintos. O primeiro compreendeu um teste pareado de preferência e o segundo, a realização de um teste de

aceitação e intenção de compra. A fração retida de suco de melancia obtida nos processos de concentração por osmose inversa foi utilizada como matéria-prima nos testes.

#### **a) Teste pareado de preferência**

Primeiramente, foi realizado um teste pareado de preferência bicaudal em relação ao sabor, no qual o suco de melancia *in natura* foi comparado ao suco de melancia concentrado (MEILGAARD *et al.*, 1999).

Para a realização do teste, o suco concentrado a 31° Brix foi diluído com água filtrada de modo a atingir 8° Brix, ficando, desta forma, com o mesmo teor de sólidos solúveis que o suco *in natura*.

O teste foi realizado em sessão aberta com 80 provadores não treinados, de ambos os sexos, com faixa etária variando de 15 a 65 anos.

As amostras foram apresentadas simultaneamente aos provadores, em ordem balanceada com igual número de permutações. Foram servidas à temperatura de refrigeração e em copos brancos descartáveis de 50 mL codificados com números aleatórios de três dígitos. Entre uma amostra e outra foi servida água mineral natural para limpeza do palato.

A análise dos resultados baseou-se na distribuição qui-quadrada onde o número de respostas obtidas para a amostra de maior preferência foi comparado a um valor tabelado (ROESLLER *et al.*, 1978).

#### **b) Teste de aceitação e intenção de compra**

No segundo teste sensorial, foi formulada uma bebida láctea *light* sabor melancia a qual foi submetida a testes de aceitação e intenção de compra.

A bebida foi preparada a partir de uma marca comercial de iogurte batido natural na versão *light* ao qual se adicionou 20% (p/p) de suco de melancia concentrado a 31° Brix.

A amostra foi apresentada aos provadores à temperatura de refrigeração e em copos descartáveis de 50 mL codificados com números aleatórios de três dígitos. A mesma foi avaliada em relação à cor, ao aroma e ao sabor por 60 provadores que utilizaram escala hedônica estruturada de nove pontos que variava de: 1 - desgostei extremamente a 9 - gostei extremamente. A intenção de compra foi investigada empregando escala estruturada de sete pontos, variando de 1 – definitivamente não compraria a 7 – definitivamente compraria. O critério adotado para aceitação do iogurte foi a obtenção de médias maiores que cinco, equivalente ao termo hedônico “não gostei nem desgostei” (BÁRCEMAS & ROSELL, 2006).

### **3.3 Determinações Analíticas**

Para avaliação dos processos, foram coletadas amostras do suco *in natura* (IN), do suco após 1 minuto recirculando no sistema (A), do permeado (P) e do suco retido (R) e as amostras foram avaliadas através das seguintes análises:

## **pH**

O pH foi determinado em pHmetro Metrohm modelo 785 DMP Titrino, com leitura direta a 25°C, segundo método 973.41, A.O.A.C (2000).

## **Acidez total titulável**

A determinação da acidez titulável foi realizada pelo método potenciométrico em titulador automático Metrohm modelo 785 DMP Titrino, utilizando solução de NaOH com concentração de 0,1M segundo o método 942.15 da A.O.A.C (2000).

## **Teor de sólidos solúveis totais**

O teor de sólidos solúveis foi determinado pela leitura direta em refratômetro do tipo Abbé, modelo Bellingham + Stanley Limited, com escala em graus Brix, segundo método 932.14 da A.O.A.C. (2000).

## **Sólidos totais**

O teor de sólidos totais foi realizado através da metodologia descrita no livro de normas analíticas Instituto Adolfo Lutz (1985), a qual se baseia na determinação do peso seco obtido pela secagem em estufa a vácuo a 60 °C até obtenção de peso constante.

## **Ácido Ascórbico**

A determinação do teor de ácido ascórbico foi realizada por titulometria, utilizando o método de Tillmans modificado por Silva (1999).

## **Compostos fenólicos totais**

A determinação dos compostos fenólicos totais foi realizada pelo método de Singleton & Rossi (1965) modificado por Georgé (2005) através da reação com o reagente de Folin-Ciocalteu. Todas as etapas da análise foram realizadas em ambiente escuro para evitar a degradação dos compostos. A extração das amostras foi realizada com uma solução de acetona 70%, na proporção de 1:2 (m/v), por agitação magnética, durante 30 minutos. As amostras foram, então, filtradas, seguida de correção da concentração da acetona para 7% por diluição com água destilada. O extrato obtido reagiu com a solução de Folin-Ciocalteu a 10%, a temperatura ambiente, durante 2 min, seguida da adição de solução de carbonato de sódio a 7,5% que reagiu com a mistura a 50°C durante 15 min. A cor azul, produto da reação entre os compostos fenólicos e o reagente de Folin-Ciocalteu, foi medida em espectrofotômetro a 760nm.

A quantificação dos compostos fenólicos totais foi realizada através da equação da reta obtida pela construção de uma curva padrão de ácido gálico. Os resultados foram expressos em mg de equivalente de ácido gálico por 100 g de amostra.

## **Teor de Licopeno**

A concentração de licopeno foi baseada no procedimento descrito por Sadler *et al.* (1990) modificado por Perkins-Veazie *et al.* (2001).

A solução utilizada para extração do licopeno foi preparada pela mistura de hexano:acetona:etanol na proporção (2:1:1, v/v/v), tomando-se sempre o cuidado de medir o hexano com uma vidraria volumétrica.

A extração do licopeno foi realizada em ambiente escuro, em erlenmeyers de 250 mL dotados de tampa esmerilhada, os quais foram envoltos em papel alumínio a fim de evitar a incidência direta da luz.

Para as amostras de suco de melancia, foram pesados 2 g da amostra, em triplicata, às quais foram adicionados 100 mL de solução extratora. As amostras foram agitadas em *shaker*, em banho de gelo à temperatura de  $5 \pm 2$  °C, a 100 rpm por 15 min. Adicionou-se, então, mais 15 mL de água destilada a 5°C e manteve-se a agitação por mais 5 min. Os erlenmeyers foram deixados a temperatura ambiente durante 5 min para que ocorresse a separação das fases. A absorvância da fase superior, a fase hexânica, foi medida em espectrofotômetro Biospectro Modelo SP 220 a 503nm utilizando o hexano como branco. O comprimento de onda de 503 nm foi selecionado para as leituras espectrofotométricas a fim de se minimizar a interferência dos outros carotenóides da melancia (ZECHMEISTER *et al.*, 1943; HOLDEN, 1999). O teor de licopeno das amostras foi estimado pela Equação 9, utilizando-se o coeficiente de extinção molar igual a  $17,2 \times 10^4$  Lmol<sup>-1</sup>cm<sup>-1</sup>, conforme citado por Zechmeister e colaboradores (1943). Os resultados obtidos foram expressos em µg de licopeno/g de amostra.

$$\text{Licopeno} \left( \frac{\mu\text{g}}{\text{g}} \right) = \frac{A_{503} * P.M * V}{\epsilon * b * M} * 10^3 \quad \text{Eq.9}$$

onde:

$A_{503}$  = absorvância da fase hexânica a 503 nm

$\epsilon$  = coeficiente de extinção molar (L.mol<sup>-1</sup>.cm<sup>-1</sup>) no solvente apropriado

$b$  = caminho óptico da cubeta (cm)

P.M = peso molecular do licopeno = 536,9 g/mol

$M$  = massa de amostra (g)

As amostras das microcápsulas obtidas pelo *spray drier* sofreram procedimento similar aos realizados com as amostras de suco, porém foi realizada uma dissolução prévia de aproximadamente 0,1 g de amostra em 10,00 mL de água destilada. A partir desta etapa seguiu-se o mesmo procedimento analítico realizado com os sucos.

## Capacidade Antioxidante

A determinação da capacidade antioxidante *in vitro* das amostras foi realizada com os extratos provenientes da fase hexânica, os extratos lipofílicos, obtidos na análise de licopeno; seguida de quantificação descrita por Re *et al.* (1999). Para uma avaliação inicial do suco de melancia, também foram quantificados extratos hidrofílicos obtidos de acordo com a metodologia de Rufino *et al* (2007).

A determinação da atividade antioxidante foi realizada pelo método espectrofotométrico baseado na descoloração do radical livre ABTS<sup>•+</sup> [ácido 2,2'-azino-bis-(3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico) sal diamônio 98% pureza - Sigma-Aldrich® Brasil, São Paulo].

O radical catiônico ABTS (ABTS<sup>•+</sup>) foi produzido através da reação da solução aquosa de ABTS 7mM (solução estoque de ABTS) com solução de persulfato de potássio (Sigma-



Aldrich® Brasil, São Paulo) 140mM. A mistura foi mantida no escuro por, pelo menos, 12 h para a estabilização do radical formado. Para a realização da análise, a solução de ABTS<sup>•+</sup> concentrada foi diluída, em frasco âmbar, com etanol 95% até a obtenção de uma absorvância de 0,7 ( $\pm 0,02$ ) a 734nm.

A quantificação da atividade antioxidante dos extratos da amostra foi realizada pela reação entre 200  $\mu$ L da amostra e 1,8 mL da solução etanólica de ABTS<sup>•+</sup>, à temperatura ambiente e ao abrigo da luz. A diminuição da absorvância a 734nm foi observada após decorridos 15 min de reação.

Para quantificação da atividade antioxidante, foi construída uma curva de calibração utilizando-se o Trolox (6-hidroxi - 2,5,7,8 - tetrametilcromo - 2 - ácido carboxílico 97% de pureza, Sigma-Aldrich® Brasil, São Paulo) como antioxidante padrão com concentrações variando na faixa de 500 - 2000  $\mu$ M em etanol 95%. A reação entre o antioxidante e o ABTS, foi realizada na proporção de 1:10, à temperatura ambiente e ao abrigo da luz. A diminuição da absorvância a 734nm foi observada após o tempo de reação de 6 min.

A cada ensaio com amostra ou solução padrão de antioxidante, foi realizada uma corrida em branco utilizando-se hexano ao invés da amostra.

Deste modo, através da equação da reta da curva de calibração do padrão de Trolox, a diferença entre a absorvância do branco e da amostra, pode ser expressa como equivalente de Trolox necessário para restaurar o radical catiônico ABTS para sua forma não radicalar. Os resultados foram expressos como capacidade antioxidante equivalente ao trolox (TEAC) em  $\mu$ mol/g de amostra.

### **Cor e turbidez**

A análise instrumental de cor foi realizada por reflectância no *S & M Colour Computer* modelo SM - 4 - CH da Suga, no sistema *Hunter* com abertura de 30mm de diâmetro.

Os parâmetros de cor medidos em relação à placa branca ( $L = 100,00$ ;  $a = 0,02$ ;  $b = -0,03$ ) foram:

**L** = luminosidade (0 = preto e 100 = branco);

**a** (-80 até zero = verde, do zero ao +100 = vermelho);

**b** (-100 até zero = azul, do zero ao +70 = amarelo);

**haze** ( turbidez).

Foram realizadas quatro repetições, dispostas em placa de Petri com 0,5 cm de diâmetro e 2 cm de altura.

### **Avaliação da estabilidade do suco de melancia microencapsulado**

A estabilidade das microcápsulas foi determinada durante o armazenamento das amostras, por 15 dias, à temperatura ambiente e ausência de luz. Durante o período de armazenamento os teores de licopeno e capacidade antioxidante das amostras foram determinados.

### **Análise estatística dos dados**

Os resultados do planejamento experimental foram submetidos ao tratamento estatístico para planejamento experimental (DOE) e análise de variância (ANOVA) no software *Statistica* 7.0.

Os resultados das análises químicas e físico-químicos foram avaliados pela análise de variância (ANOVA), teste de *Tukey* com significância de 0,05, através do software estatístico XLSTAT 7.5.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### a. Caracterização do suco de melancia

Considerando o peso inicial dos frutos, o rendimento médio de suco obtido no despulpamento da melancia foi de  $43,3 \pm 8,4$  %.

Os resultados das análises químicas e físico-químicas do suco de melancia *in natura* estão apresentados na Tabela 6.

**Tabela 6:** Resultados da caracterização química e físico-química do suco de melancia<sup>1</sup>

pH	$5,54 \pm 0,0$
Sólidos Solúveis (°Brix)	$8,1 \pm 0,01$
Sólidos Totais (g/100g)	$8,62 \pm 0,07$
Acidez Total Titulável (g/100g)	$1,95 \pm 0,0$
Fenólicos Totais (mg ácido gálico /100g)	$4,45 \pm 0,45$
Ácido ascórbico (mg/100g)	$9,8 \pm 0,1$
Licopeno ( $\mu\text{g/g}$ )	$39,55 \pm 1,83$
Teac hidrofílica ( $\mu\text{mol Trolox/g}$ )	$0,015 \pm 0,003$
Teac lipofílica ( $\mu\text{mol Trolox/g}$ )	$0,47 \pm 0,04$

<sup>1</sup>= valores médios de 3 determinações com seus respectivos desvios padrão.

Os valores encontrados para pH, sólidos totais, sólidos solúveis, acidez total e teor de licopeno no suco de melancia estão próximos aos reportados por outros autores (RESENDE e DIAS, 2009; MIRANDA, 2005). As pequenas diferenças encontradas provavelmente ocorreram devido a fatores como a variedade do fruto, estágio de maturação, região de procedência, assim como as condições climáticas e de cultivo dos frutos (CHITARRA e CHITARRA, 2006).

Em termos de vitamina C, o suco de melancia apresentou uma média de 9,8 mg ác.ascórbico/100g de amostra. Os resultados encontrados apresentam-se na mesma faixa (7,2 mg/100g) daqueles obtidos por Miguel e colaboradores (2007). Entretanto, esses valores estão muito abaixo dos encontrados para outras frutas tropicais, como, por exemplo, a acerola e o camu camu que apresentam teores de ácido ascórbico oscilando na faixa de 800 a 3000 mg/100g (ZAPATA e DUFOUR, 1993 e ANDRADE *et al.*, 1995 citados por Rodrigues, 2002; MATSUURA *et al.*, 2001).

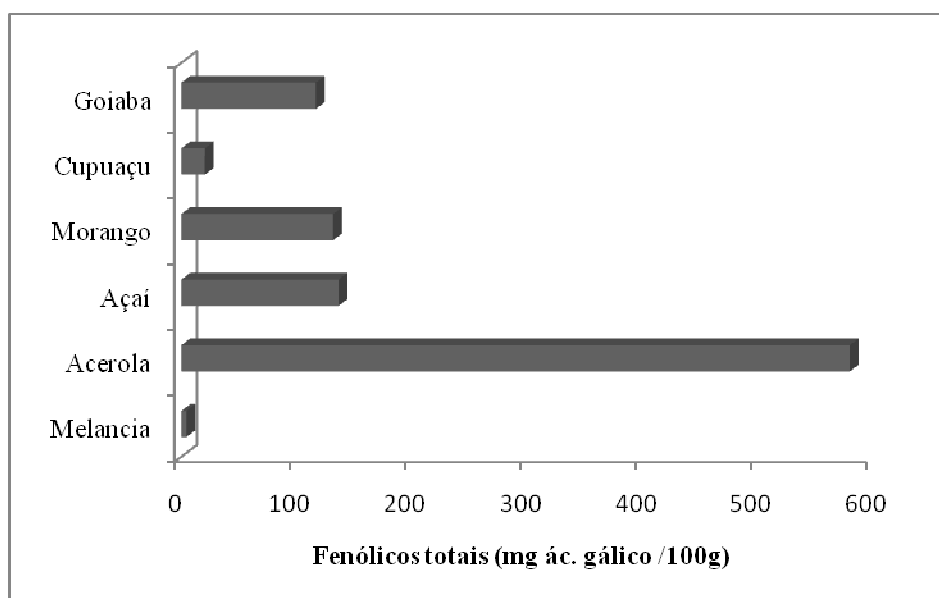
Kuskosk e colaboradores (2006) avaliaram diferentes polpas de frutas congeladas quanto aos teores de fenólicos totais e antocianinas totais e a relação desses compostos, de natureza hidrofílica, com a capacidade antioxidante das amostras. Os resultados encontrados, apresentados no Quadro 3, mostram que existe uma relação direta entre os compostos analisados e a atividade antioxidante das amostras.

**Quadro 3:** Resultados encontrados para compostos fenólicos totais, antocianinas totais e atividade antioxidante de diferentes polpas de frutas congeladas.

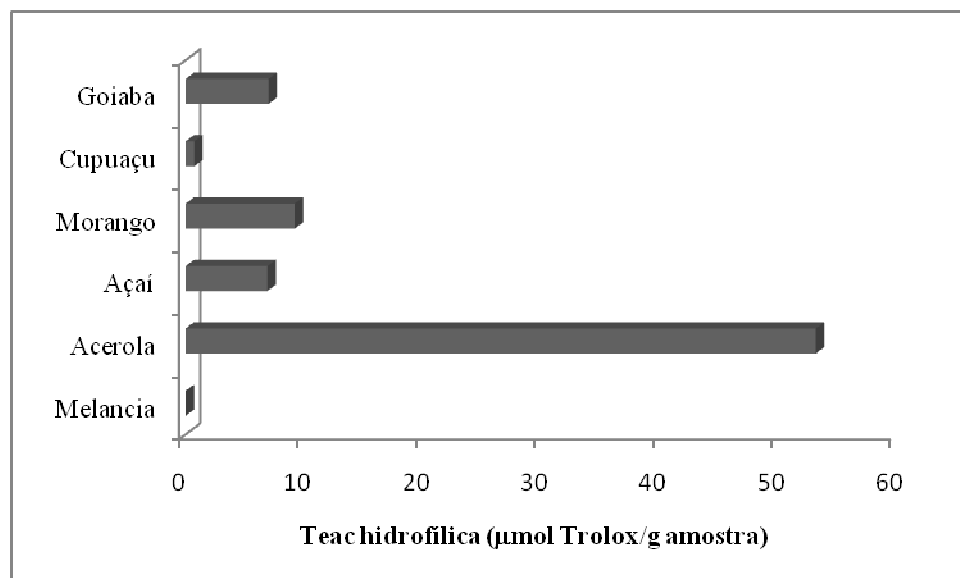
Polpa de fruta	Fenólicos totais (mg ácido gálico /100g)	Antocianinas totais (mg de cianidina 3 – glicosídeo/100g)	Teac hidrofílica ( $\mu$ mol trolox/g)
Acerola	580,1 $\pm$ 4,6	16,0 $\pm$ 0,5	53,2 $\pm$ 5,3
Açaí	136,8 $\pm$ 0,4	22,8 $\pm$ 0,8	6,9 $\pm$ 0,2
Morango	132,1 $\pm$ 3,8	23,7 $\pm$ 2,3	9,2 $\pm$ 0,01
Cupuaçu	20,5 $\pm$ 3,0	n.d	0,73 $\pm$ 0,2
Goiaba	117,1 $\pm$ 0,6	2,7 $\pm$ 0,2	7,0 $\pm$ 0,2

Fonte: KUSKOSK, 2006.

Comparando-se esses valores com os encontrados para o suco de melancia, pode-se observar que compostos hidrofílicos, como, por exemplo, fenólicos e ácido ascórbico encontram-se em proporções muito pequenas quando comparados a outras frutas (Figura 16), o que pode explicar os baixos valores encontrados para atividade antioxidante hidrofílica da mesma (Figura 17).



**Figura 16:** Comparação do teor de compostos fenólicos em diferentes polpas de frutas. Fonte: (KUSKOSK, 2006 e dados da Tabela 6)



**Figura 17:** Atividade antioxidante (TEAC) dos compostos hidrofílicos em diferentes polpas de frutas. Fonte: (KUSKOSK, 2006 e dados da Tabela 6)

Com relação ao teor de licopeno, os resultados obtidos estão de acordo com a faixa de valores encontrada na literatura. Embora o pico de absorção máxima de licopeno em hexano não seja a 503 nm, as leituras nesse comprimento de onda minimizaram a interferência dos outros carotenóides possivelmente presentes nas amostras. De acordo com Zechmeister e colaboradores (1943), a contribuição na absorvância de outros carotenóides que não o licopeno a 503 nm é muito pequena. Para a melancia de polpa vermelha essa contribuição é menor que 2%, podendo, desta forma, ser ignorada. Ainda de acordo com Zechmeister e colaboradores (1943), os métodos espectrofotométricos fornecem bons resultados aos alimentos onde o licopeno representa pelo menos 70% do teor de carotenóide total.

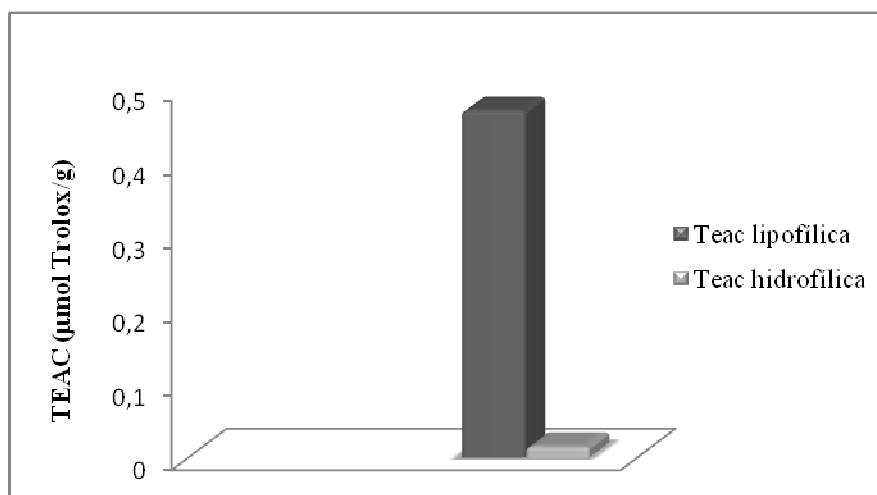
Em estudo realizado por Niizu e Rodrigues-Amaya (2003), com o objetivo de quantificar por HPLC os principais carotenóides da melancia da variedade *Crimson Sweet* produzida nos estados de São Paulo e Goiás, foi demonstrado que a melancia contém quase exclusivamente licopeno, com uma pequena quantidade de  $\beta$ -caroteno. Os teores ( $\mu\text{g/g}$ ) de licopeno e de  $\beta$ -caroteno foram, respectivamente, de  $36 \pm 5$  e  $4,7 \pm 2,4$  para as frutas produzidas em São Paulo e de  $35 \pm 2,0$  e  $2,6 \pm 1,7$  para as produzidas em Goiás. As concentrações destes dois carotenóides são semelhantes às encontradas em tomate cultivar Carmen ( $35 \pm 10 \mu\text{g/g}$  para licopeno e  $3,2 \pm 0,6 \mu\text{g/g}$  para  $\beta$ -caroteno). Admitindo que o tomate seja considerado uma das principais fontes de licopeno, os resultados apontam a melancia como uma fonte alternativa à obtenção deste composto. Estes resultados confirmam os valores de licopeno de melancia determinados no presente trabalho por espectrofotometria.

Em outra pesquisa, Perkins-Veazie e colaboradores (2001) determinaram o perfil de carotenóides de 50 cultivares de melancia por HPLC, obtendo valores na faixa de 37 a 122  $\mu\text{g/g}$ . O licopeno foi o carotenóide predominante, na faixa de 84 a 97%. A maioria das cultivares apresentou em média 4-8% de *cis* licopeno, enquanto que  $\beta$ -caroteno e fitoflueno representaram, respectivamente, em média 2-11% e 0,5 – 7% dos carotenóides remanescentes.

Os resultados obtidos neste estudo para capacidade antioxidante (TEAC) do suco de melancia foram  $0,015 \pm 0,03 \mu\text{mol Trolox/g}$  e  $0,47 \pm 0,04 \mu\text{mol Trolox/g}$  para os extratos hidrofílicos e hidrofóbicos, respectivamente. Os valores da fração hidrofóbica estão de acordo com os encontrados por Djuric e Powell (2001), aproximadamente  $0,70 \mu\text{mol Trolox/g}$ . Essa

variação obtida provavelmente é em função de uma maior concentração de licopeno nas amostras avaliadas por estes pesquisadores, aproximadamente 70  $\mu\text{g/g}$ ; assim como a influência de fatores como clima, variedade, solo, etc, como anteriormente mencionado.

A Figura 18 apresenta a comparação entre os valores de capacidade antioxidante (Teac) obtidos para os extratos lipofílicos e hidrofílicos do suco de melancia. O resultado encontrado evidencia que a atividade antioxidante da melancia pode ser atribuída principalmente ao licopeno, o carotenóide de característica lipofílica majoritário na melancia.



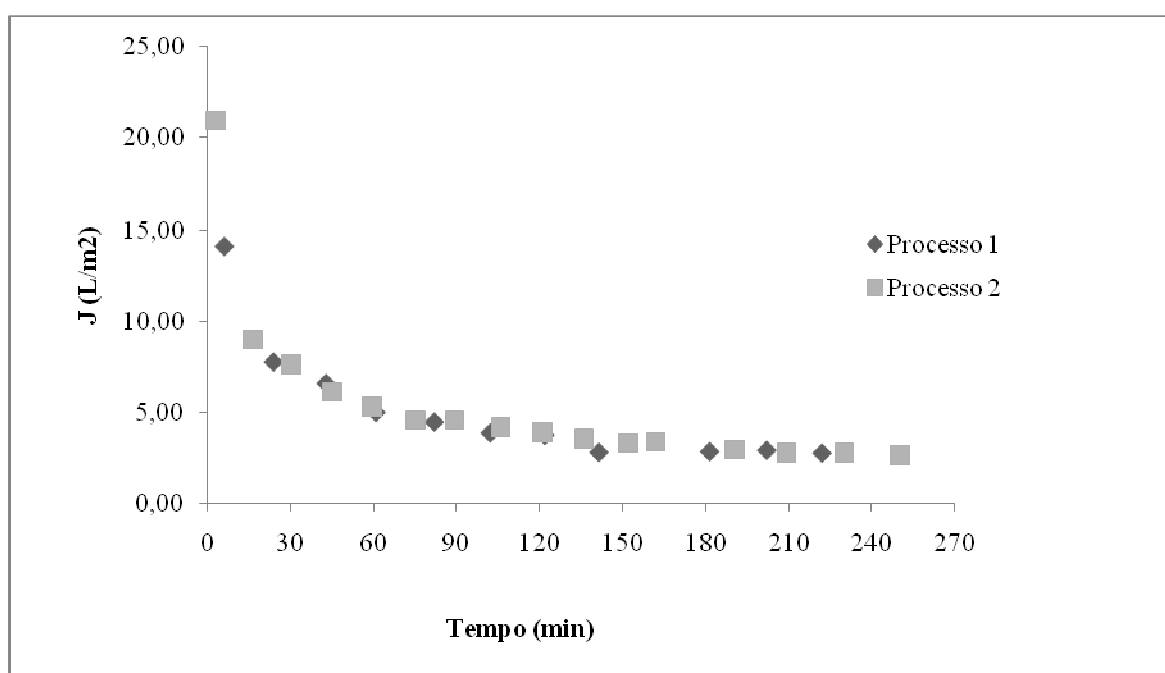
**Figura 18:** Comparação entre atividade antioxidante (Teac) de compostos hidrofílicos e lipofílicos do suco de melancia

## 4. 2 Testes preliminares

### 4.2.1 Avaliação da influência da configuração do sistema na concentração de licopeno

#### 4.2.1.1 Membrana polimérica plana

Como pode ser observado pela Figura 19, o fluxos permeados dos processos de microfiltração em membrana polimérica de configuração plana foram muito baixos. O fluxo médio inicial foi de  $17,5 \pm 4,8 \text{ L.h}^{-1}\text{m}^{-2}$ , o qual foi reduzido em aproximadamente 57% após 30 minutos de processo. O valor médio alcançado após quatro horas de processamento foi de  $5,3 \pm 0,2 \text{ L.h}^{-1}\text{m}^{-2}$ , o que resultou em um FCV também muito baixo, sendo a média entre os dois processos igual a 1,5.



**Figura 19:** Fluxo de permeado do suco de melancia in natura utilizando membrana polimérica de configuração plana.

A caracterização química das frações obtidas nos processos realizados com a membrana plana polimérica está apresentada na Tabela 7. Embora tenham apresentado diferença significativa para o teor de licopeno, os resultados analíticos encontrados mostraram que os processos realizados nesta membrana não foram satisfatórios em concentrar o suco de melancia. Todavia, estes testes realizados foram importantes no sentido de se verificar a seletividade da membrana em relação ao licopeno, uma vez que não foi observada a presença deste composto na fração permeada de suco de melancia. De acordo com Hurst (2002) citado por Miranda (2005), o licopeno, apesar de possuir massa molar pequena, se liga a outras moléculas como proteínas, pectina e lipídeos e desta forma, permanece na fração retida durante os processos de separação por membranas.

**Tabela 7:** Caracterização química e físico-química das frações obtidas no processamento do suco de melancia na membrana plana de polissulfona <sup>1</sup>

	<b>pH</b>	<b>Sólidos Solúveis (°Brix)</b>	<b>Acidez Total Titulável (g/100g)</b>	<b>Sólidos Totais (g/100g)</b>	<b>Licopeno (µg/g)</b>
<b>IN</b>	5,47 <sup>a</sup> ± 0,00	8,6 <sup>a</sup> ± 0,1	1,05 <sup>a</sup> ± 0,03	8,71 <sup>a</sup> ± 0,01	43,84 <sup>a</sup> ± 0,76
<b>A</b>	5,46 <sup>a</sup> ± 0,01	8,6 <sup>a</sup> ± 0,1	1,09 <sup>a,b</sup> ± 0,02	8,56 <sup>b</sup> ± 0,01	45,29 <sup>a</sup> ± 1,37
<b>P</b>	5,48 <sup>a</sup> ± 0,01	8,0 <sup>b</sup> ± 0,1	0,94 <sup>c</sup> ± 0,01	8,19 <sup>c</sup> ± 0,02	n.d
<b>R</b>	5,46 <sup>a</sup> ± 0,01	8,5 <sup>a</sup> ± 0,1	1,11 <sup>b</sup> ± 0,01	8,56 <sup>b</sup> ± 0,01	52,13 <sup>b</sup> ± 1,24

<sup>1</sup> = valores médios de 3 determinações

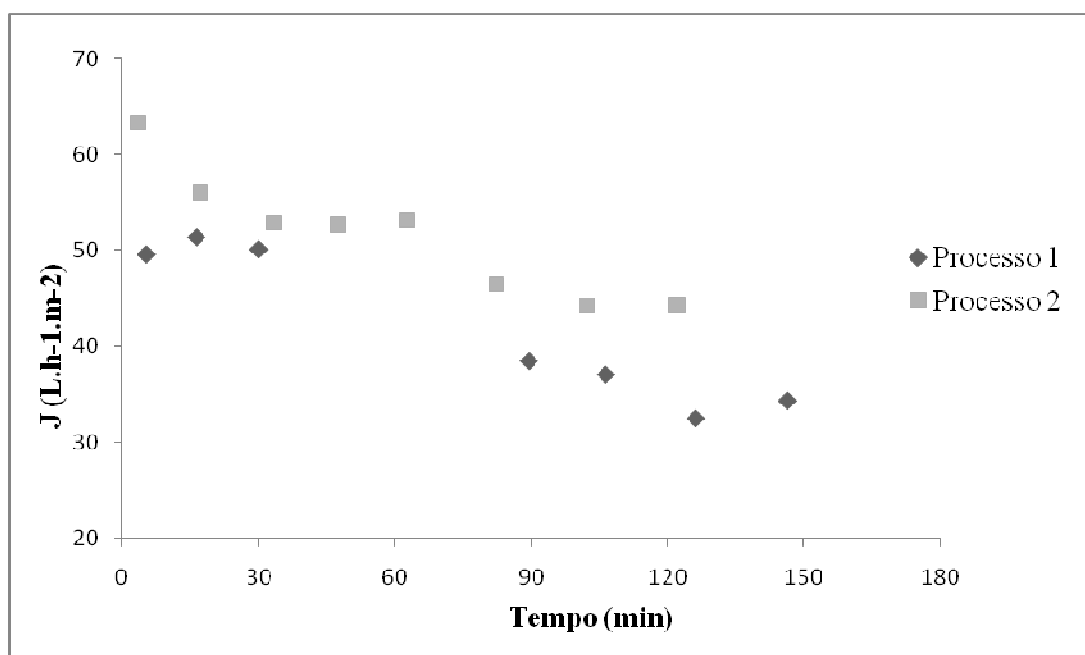
Letras iguais, na mesma coluna, são consideradas iguais com significância de 95% pelo teste de Tukey.

IN: Suco *in natura*, A: Alimentação (suco que recirculou por 1 min no sistema); R: Suco retido; P: Permeado.

n.d = não identificado

#### 4.2.1.2 Membrana polimérica tubular

Na Figura 20 é possível observar o comportamento do fluxo permeado nos dois processos realizados com membrana polimérica tubular. Após duas horas de processo, o fluxo permeado médio atingido foi de  $49,0 \pm 3,7 \text{ L.h}^{-1}\text{m}^{-2}$ , representando um FCV médio de 4,5.



**Figura 20:** Fluxo permeado do suco de melancia *in natura* utilizando membrana polimérica de configuração tubular.



A Tabela 8 apresenta a caracterização das frações de suco nos processamentos utilizando a membrana polimérica tubular. Os resultados mostraram que os processos com essa membrana foram satisfatórios em concentrar o licopeno e que o teor deste composto no suco retido aumentou significativamente ( $p > 0,05$ ) na mesma proporção que o fator de concentração volumétrico do processo, representando um aumento em torno de 4,5 vezes.

Os resultados mostraram também que houve um aumento significativo para os valores de pH, teor de sólidos solúveis e totais da fração retida do suco em relação ao suco *in natura*.

**Tabela 8:** Caracterização química das frações obtidas no processamento em membrana tubular de polissulfona.

Ensaio	Fração	Licopeno ( $\mu\text{g/g}$ )	Sólidos Totais ( $\text{g/100g}$ )	Sólidos Solúveis ( $^{\circ}\text{Brix}$ )	Acidez Total ( $\text{g/100g}$ )	pH
<b>P1</b>	IN	$48,06^a \pm 1,21$	$7,03^a \pm 0,11$	$7,1^a \pm 0,01$	$0,87^a \pm 0,01$	$5,45^a \pm 0,01$
	A	$50,34^a \pm 1,93$	$7,02^a \pm 0,44$	$6,9^a \pm 0,01$	$0,83^b \pm 0,02$	$5,46^a \pm 0,01$
	P	n.d	$6,88^a \pm 0,83$	$7,0^a \pm 0,01$	$0,79^c \pm 0,01$	$5,46^a \pm 0,01$
	R	$216,58^b \pm 3,47$	$7,91^b \pm 0,04$	$7,7^b \pm 0,01$	$1,13^d \pm 0,01$	$5,46^a \pm 0,01$
<b>P2</b>	IN	$44,79^a \pm 1,19$	$7,17^a \pm 0,02$	$7,0^a \pm 0,01$	$0,84^a \pm 0,02$	$5,49^a \pm 0,01$
	A	$52,62^b \pm 3,20$	$6,99^a \pm 0,52$	$6,9^a \pm 0,01$	$0,83^{a,b} \pm 0,01$	$5,48^a \pm 0,01$
	P	n.d	$6,83^a \pm 0,05$	$7,1^a \pm 0,01$	$0,79^b \pm 0,02$	$5,50^a \pm 0,03$
	R	$239,61^c \pm 1,58$	$7,93^b \pm 0,04$	$7,6^b \pm 0,01$	$1,05^c \pm 0,02$	$5,55^b \pm 0,01$

<sup>1</sup> = valores médios de 3 determinações

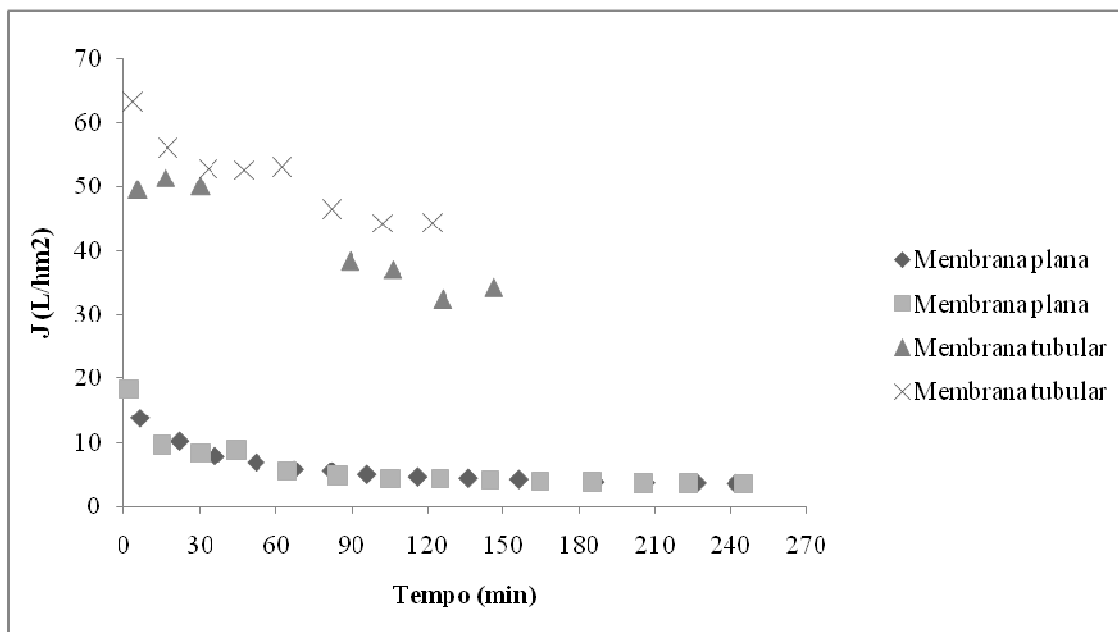
Letras iguais, na mesma coluna, são consideradas iguais com significância de 95% pelo teste de Tukey.

IN: Suco *in natura*, A: Alimentação (suco que recirculou por 1 min no sistema); R: Suco retido; P: Permeado.

n.d = não identificado

#### 4.2.1.3 Membrana plana *versus* membrana tubular

Na Figura 21 é possível comparar o comportamento do fluxo de permeado ao longo do tempo para os processos de microfiltração utilizando membranas poliméricas de configuração plana e/ou tubular. Como pode ser observado, os processos realizados com membrana tubular apresentaram valores de fluxo permeado maiores do que os processos realizados com a membrana plana, sendo estes em média  $49,0 \pm 3,7$  e  $5,3 \pm 0,2$   $\text{L}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ , respectivamente. Este comportamento pode, provavelmente, ser explicado pela hidrodinâmica dos sistemas estudados. As variáveis velocidade tangencial, configuração e tamanho do módulo possuem uma relação direta com o coeficiente de transferência de massa,  $k$ ; que, por sua vez, é inversamente proporcional ao efeito de polarização de concentração (MULDER, 1991). No sistema plano, as condições operacionais utilizadas, como, por exemplo, área de filtração pequena e vazão de recirculação baixa proporcionaram um baixo coeficiente de transferência de massa ao processo e, conseqüentemente, favoreceram um maior efeito de polarização de concentração do que o sistema tubular.



**Figura 21:** Comportamento do fluxo de permeado dos processos realizados em membrana de polissulfona de configuração plana e tubular.

#### 4.2.2 Avaliação da influência do material da membrana no processo de concentração do licopeno: membrana tubular de polissulfona *versus* membrana tubular de $\alpha$ - alumina.

Nesta etapa do trabalho, os resultados obtidos na microfiltração com a membrana tubular polimérica foram comparados com os obtidos com a membrana tubular cerâmica. A Figura 22 apresenta o comportamento do fluxo permeado ao longo do tempo com as duas membranas utilizadas. Analisando-se as curvas obtidas, observa-se que, para ambas as membranas, o fluxo de permeado permaneceu praticamente constante, provavelmente em virtude da alta velocidade tangencial empregada nos dois testes, a qual pode ter sido responsável pela remoção das

partículas de soluto da superfície da membrana, resultando na diminuição do fenômeno conhecido por incrustações ou *fouling*.

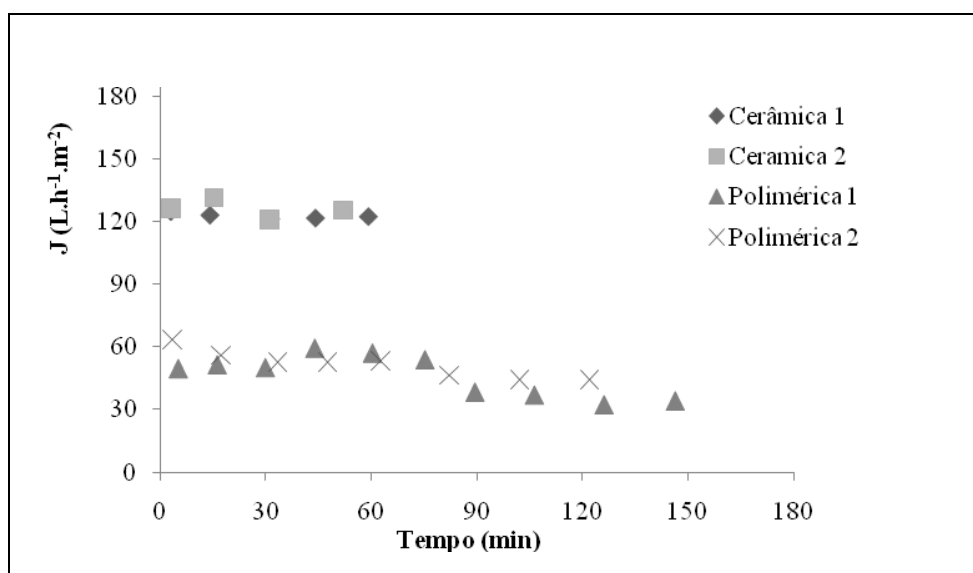
Um efeito positivo da velocidade tangencial também foi observado por Ushikubo e colaboradores (2007) quando processaram polpa de umbu por microfiltração. Nesse estudo, os pesquisadores obtiveram um aumento no fluxo de permeado quando utilizaram um baixo valor de pressão aplicada à membrana e alta velocidade de recirculação.

Também foi observado que o processo com a membrana cerâmica apresentou um fluxo médio aproximadamente 2,5 vezes maior do que o da membrana de polissulfona, sendo estes, respectivamente,  $124,3 \pm 2,3 \text{ L.h}^{-1}.\text{m}^{-2}$  e  $49,0 \pm 3,7 \text{ L.h}^{-1}.\text{m}^{-2}$ . Segundo Garcia e colaboradores (2005) e Van der Bruggen e colaboradores (2002), os resultados obtidos podem ser explicados por dois importantes parâmetros: hidrofobicidade e tensão superficial.

A membrana de  $\alpha$ - alumina é mais hidrofílica do que a membrana polimérica, resultando em uma maior permeabilidade da água presente no suco de melancia. Garcia e colaboradores (2005) avaliaram a permeabilidade à água e ao hexano em membranas poliméricas e cerâmicas. Os resultados obtidos por estes autores foram muito semelhantes ao encontrados com o suco de melancia, ou seja, a permeabilidade a água em membrana cerâmica foi 2 vezes maior.

O outro provável fator importante na permeabilidade é a maior resistência à transferência de massa da membrana polimérica devido a uma maior diferença de tensão superficial entre a água presente no suco e a superfície da mesma, conforme verificado por Garcia e colaboradores (2005).

Diante dos resultados observados, concluiu-se que a membrana cerâmica, nas condições estudadas, concentra o licopeno mais eficientemente que a membrana polimérica, pois esta alcançou um FCV médio de 4,7 em uma hora de processo, enquanto a membrana de polissulfona levou o dobro do tempo para alcançar um FCV médio de 5,0.



**Figura 22:** Evolução do fluxo permeado ao longo do tempo de processo

A Tabela 9 apresenta os resultados analíticos das amostras obtidas nos processos realizados com as membranas polimérica e cerâmica. Pode-se verificar que as duas membranas

concentram o licopeno em torno de 4 a 5 vezes em relação ao suco *in natura* e que estes valores estão de acordo com os valores de fator de concentração volumétrico (FCV) alcançados nos respectivos processos. Em geral as características físico-químicas do suco retido permaneceram praticamente inalteradas em ambos os processos.

Os resultados obtidos revelaram que a microfiltração é um processo com potencial para a concentração do licopeno e que a membrana de natureza cerâmica é mais eficiente do que a polimérica, portanto, definiu-se que o trabalho seria conduzido utilizando-se este tipo de membrana.

Com relação às análises de pH, acidez, sólidos solúveis e totais, pode-se observar que não houve diferenças discrepantes entre as amostras, percebe-se uma ligeira diminuição desses valores para as amostras da alimentação, provavelmente devido à presença de água no sistema, o que provocou uma pequena diluição do suco.

**Tabela 9:** Caracterização química das frações obtidas nos processos de microfiltração. <sup>1</sup>

Membrana	Fração	Licopeno (µg/g)	Sólidos Totais (g/100g)	Sólidos Solúveis (°Brix)	Acidez Total (g/100g)	pH
Polimérica	IN	46,42 <sup>a</sup> ± 2,09	7,17 ± 0,08	6,6 ± 0,0	1,21 ± 0,08	5,46 ± 0,0
	A	50,77 <sup>a</sup> ± 1,40	6,64 ± 0,43	6,3 ± 0,0	1,04 ± 0,01	5,46 ± 0,0
	P	n.d	6,09 ± 0,82	6,7 ± 0,0	0,9 ± 0,01	5,51 ± 0,0
	R	232,23 <sup>b</sup> ± 2,28	7,71 ± 0,08	7,1 ± 0,0	1,34 ± 0,02	5,52 ± 0,0
Cerâmica	IN	42,41 <sup>a</sup> ± 1,60	7,09 ± 0,31	7,0 ± 0,0	0,94 ± 0,09	5,45 ± 0,0
	A	46,16 <sup>a</sup> ± 2,32	6,88 ± 0,83	7,0 ± 0,0	0,86 ± 0,01	5,46 ± 0,0
	P	n.d	6,55 ± 0,11	7,1 ± 0,0	0,80 ± 0,01	5,46 ± 0,0
	R	226,62 <sup>b</sup> ± 9,00	8,16 ± 0,02	7,6 ± 0,0	1,18 ± 0,02	5,52 ± 0,0

<sup>1</sup> = valores médios de 2 processos e 3 determinações analíticas.

Letras iguais, na mesma coluna, são consideradas iguais com significância de 95% pelo teste de *Tukey*.

IN: Suco *in natura*, A: Alimentação (suco que recirculou por 1 minuto no sistema de membrana); R: Suco retido; P: Permeado.

n.d : não detectado

### 4.3 Concentração de licopeno por microfiltração em membrana cerâmica de $\alpha$ - alumina.

#### 4.3.1 Permeabilidade hidráulica da membrana cerâmica

Foi realizada uma avaliação da permeabilidade hidráulica da membrana nas temperaturas de 20, 25, 30 e 35°C a uma velocidade tangencial de 7,2 m/s (Figura 23). Como esperado, o fluxo permeado da água aumentou em função do aumento da temperatura e da pressão aplicadas. O fenômeno pode ser bem representado pela equação fenomenológica (10), a qual indica que o fluxo do solvente é proporcional à diferença de pressão aplicada. O aumento da temperatura promove uma redução na viscosidade do fluido e, como consequência, um aumento no coeficiente de permeabilidade da membrana e no coeficiente de difusividade da solução, resultando no aumento do fluxo permeado (HABERT *et al.*, 2006). As curvas de permeabilidade hidráulica refletem a integridade das membranas e são utilizadas para avaliar o grau de limpeza das mesmas após a realização de cada processo.

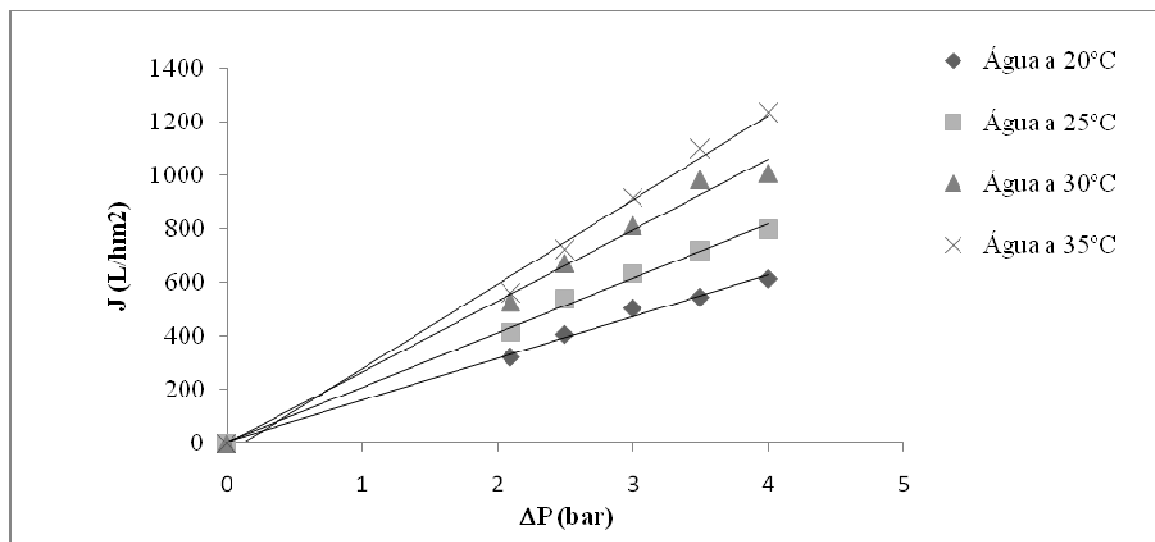
$$J = L_p \Delta P \quad \text{Eq. 10}$$

onde:

J - fluxo de permeado

$L_p$  - coeficiente de permeabilidade hidráulica da membrana

$\Delta P$  - diferença de pressão aplicada

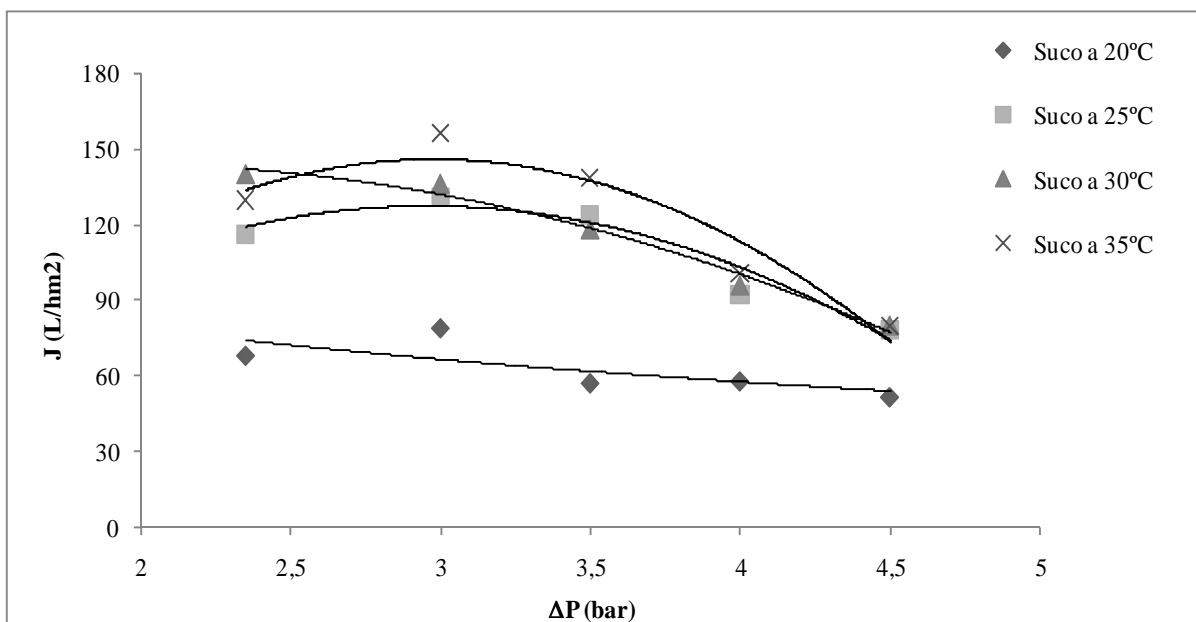


**Figura 23:** Permeabilidade hidráulica da membrana a diferentes temperaturas

#### 4.3.2 Permeabilidade da membrana com o suco de melancia

A Figura 24 mostra o comportamento da membrana com o suco de melancia. Conforme esperado, sob as mesmas condições de pressão e temperatura, a permeabilidade ao suco foi sempre menor que a permeabilidade à água, o que pode ser explicado pela presença de sólidos

solúveis e em suspensão, resultando em uma maior viscosidade do produto e, conseqüentemente, em um menor fluxo permeado.



**Figura 24:** Permeabilidade da membrana com suco de melancia a diferentes temperaturas.

As curvas de permeabilidade com o suco de melancia mostram que, nos experimentos realizados a 30 e 35°C, em  $\Delta P$  igual a 3,0 bar, o fluxo permeado sofre uma diminuição brusca em função do aumento da pressão. Estes resultados indicam que o aumento da temperatura diminui a viscosidade do suco de forma que, em pressões acima de 3,0 bar, o fenômeno de bloqueio dos poros, no qual partículas menores de soluto penetram nos poros da membrana provocando um bloqueio físico, e a formação de uma camada gel em função dos açúcares presentes no suco de melancia são os fatores de maior contribuição para a diminuição acentuada do fluxo permeado. Em contrapartida, a 25°C e a 20°C, onde a viscosidade do suco é maior, os efeitos superficiais de polarização de concentração e adsorção de macromoléculas prevalecem sobre o sistema e levam a uma diminuição gradual do fluxo permeado com o aumento da pressão aplicada. Verifica-se também que, na faixa de temperatura e pressão avaliada, o fluxo limite, ou seja, o valor a partir do qual o fluxo permeado torna-se constante e independente da pressão aplicada já foi atingido.

Em função dos resultados obtidos, escolheu-se a diferença de pressão igual a 3,0 bar para a realização dos ensaios de microfiltração do suco de melancia.

#### 4.3.3 Planejamento experimental

A Figura 25 apresenta o comportamento do fluxo de permeado de cada ensaio do planejamento experimental proposto. Os valores médios obtidos variaram na faixa de 13,0 a 92,4  $L \cdot h^{-1} \cdot m^{-2}$ . Pode-se observar que os processos realizados a velocidades de recirculação maiores, ou seja, 6,4 m/s e 30°C; 6,1 m/s e 35°C e 6,1 m/s e 25°C foram os que obtiveram os maiores resultados, sendo estes, respectivamente, 92,4  $L \cdot h^{-1} \cdot m^{-2}$ , 71,2  $L \cdot h^{-1} \cdot m^{-2}$  e 53,2  $L \cdot h^{-1} \cdot m^{-2}$ . Observou-

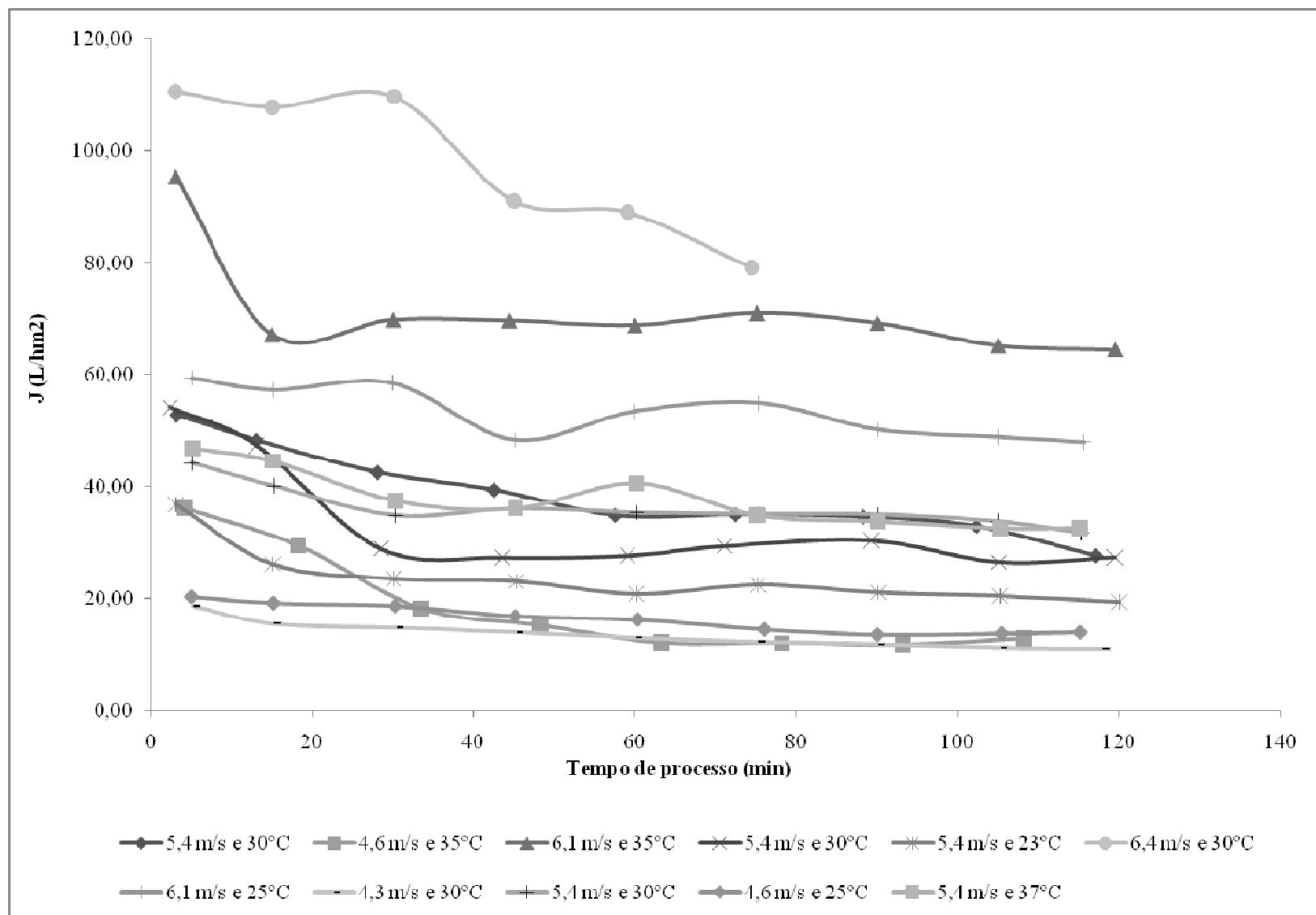


se que o fluxo de permeado inicial do ensaio realizado a 6,4 m/s e 30°C foi de 110,6 L.h<sup>-1</sup>m<sup>-2</sup> e que este se manteve praticamente inalterado durante os primeiros 30 minutos do processo. A partir desse período, o fluxo foi reduzido em aproximadamente 27%, atingindo 79,1 L/hm<sup>2</sup> ao final do teste.

Nos ensaios realizados a 6,1 m/s, conforme esperado, foram obtidos maiores valores de fluxo permeado nos testes realizados a 35°C quando comparados àqueles realizados a 25°C. Todavia, nos primeiros 15 minutos do processo a 35°C, foi observado um declínio de 30% no fluxo permeado. Esse comportamento não foi observado no processo a 25°C, onde o fluxo manteve-se praticamente constante durante todo o processo.

A caracterização das amostras obtidas nos ensaios do planejamento experimental está apresentada na Tabela 10. Mesmo sem um tratamento estatístico para esses resultados, pode-se observar que os resultados das análises químicas e físicas não apresentaram discrepâncias entre as amostras obtidas em cada processo, apenas as amostras provenientes da fração permeada tenderam a uma pequena diminuição nos seus valores analíticos.

Com relação aos resultados de cor e turbidez, pode-se observar que os processos realizados a velocidades tangenciais mais elevadas apresentaram maior variação dos parâmetros “L”, “a” e “b” entre as amostras analisadas.



**Figura 25:** Fluxo de permeado ao longo do tempo dos processos de microfiltração na membrana cerâmica.

**Tabela 10:** Caracterização físico-química das frações obtidas nos ensaios do planejamento experimental<sup>1</sup> (continua).

Ensaio	Amostra	Acidez (g/100g)	pH	S.S (°Brix)	S.T (g/100g)	L	a	b	Haze
E 1 (4,6 m/s,25°C)	IN	1,00 ± 0,01	5,61± 0,00	8,1 ± 0,1	8,97 ± 0,18	12,96	22,93	6,87	97,75
	A	0,83 ± 0,01	5,61± 0,00	7,5 ± 0,1	7,35 ± 0,20	20,53	18,29	8,36	97,13
	P	0,76 ± 0,03	5,62± 0,00	7,2 ± 0,0	7,36 ± 0,05	101,58	0,34	1,59	3,95
	R	0,88 ± 0,01	5,60± 0,00	8,0 ± 0,0	7,38 ± 0,11	22,38	17,68	8,80	95,08
E 2 (6,1 m/s,25°C)	IN	0,91 ± 0,02	5,66 ± 0,01	8,4 ± 0,2	8,27 ± 0,02	14,95	19,76	7,76	92,53
	A	0,86 ± 0,02	5,64 ± 0,01	8,3 ± 0,2	8,03 ± 0,83	30,13	15,56	10,03	93,40
	P	0,76 ± 0,00	5,66 ± 0,01	8,0 ± 0,0	7,18 ± 0,12	101,43	-0,36	4,19	5,23
	R	0,94 ± 0,01	5,66 ± 0,01	8,5 ± 0,1	8,00 ± 0,03	6,07	29,98	2,82	95,60
E 3 (4,6m/s,35°C)	IN	1,27 ± 0,00	5,43 ± 0,01	8,0 ± 0,1	7,63 ± 0,28	26,66	9,50	10,90	98,20
	A	0,91 ± 0,02	5,49 ± 0,00	6,9 ± 0,1	6,85 ± 0,05	22,96	10,62	10,37	98,28
	P	0,74 ± 0,01	5,49 ± 0,01	5,0 ± 0,0	6,87 ± 0,07	100,87	0,07	2,89	9,50
	R	0,91 ± 0,01	5,51 ± 0,00	7,0 ± 0,0	7,19 ± 0,02	24,03	9,83	10,78	101,23
E 4 (6,1m/s,35°C)	IN	0,86 ± 0,01	5,45 ± 0,00	7,0 ± 0,1	7,37 ± 0,03	18,60	9,43	10,00	94,80
	A	0,80 ± 0,01	5,47 ± 0,01	6,9 ± 0,1	6,96 ± 0,08	26,15	11,48	11,68	92,53
	P	0,77 ± 0,00	5,47 ± 0,01	7,0 ± 0,0	6,69 ± 0,12	101,24	0,11	2,83	-0,33
	R	1,09 ± 0,01	5,48 ± 0,01	7,6 ± 0,7	7,45 ± 0,26	6,84	-3,40	2,10	78,75
E 5 (4,3m/s,30°C)	IN	0,94 ± 0,03	5,59 ± 0,01	8,1 ± 0,1	8,30 ± 0,13	22,56	18,52	8,84	96,08
	A	0,85 ± 0,01	5,63 ± 0,01	8,0 ± 0,0	7,92 ± 0,14	22,56	18,19	9,12	95,85
	P	0,74 ± 0,01	5,65 ± 0,00	8,0 ± 0,0	7,89 ± 0,06	100,90	-0,65	3,95	4,15
	R	0,85 ± 0,00	5,63 ± 0,00	8,0 ± 0,0	8,12 ± 0,04	22,61	17,85	9,02	91,80
E 6 (6,4m/s,30°C)	IN	0,90 ± 0,01	5,47 ± 0,00	7,1 ± 0,4	7,51 ± 0,09	25,93	15,59	9,76	90,63
	A	0,85 ± 0,00	5,47 ± 0,01	6,8 ± 0,3	7,03 ± 0,08	25,80	16,44	10,39	94,75
	P	0,82 ± 0,00	5,42 ± 0,01	7,0 ± 0,0	6,82 ± 0,06	103,25	0,00	2,44	0,40
	R	1,17 ± 0,01	5,47 ± 0,00	7,5 ± 0,1	8,31 ± 0,23	3,09	27,60	-1,18	57,55
E 7 (5,4m/s,23°C)	IN	0,91 ± 0,01	5,51 ± 0,03	7,0± 0,1	7,12 ± 0,00	29,79	14,55	8,82	91,65
	A	0,90 ± 0,01	5,51 ± 0,01	7,1 ± 0,0	7,32 ± 0,04	22,85	17,31	9,23	92,50
	P	0,77 ± 0,02	5,51 ± 0,00	6,7 ± 0,0	6,65 ± 0,03	102,39	0,15	2,93	14,38
	R	0,91 ± 0,00	5,52 ± 0,01	7,4 ± 0,1	7,26 ± 0,01	11,57	22,73	7,24	90,70

**Tabela 10:** continuação

E 8 (5,4m/s,37°C)	IN	0,93 ± 0,01	5,61± 0,01	8,3 ± 0,1	3,30 ± 0,00	26,99	13,71	10,44	96,35
	A	0,91 ± 0,01	5,62± 0,00	8,4 ± 0,1	7,69± 0,17	23,59	16,73	9,22	96,23
	P	0,78 ± 0,01	5,64± 0,01	8,0 ± 0,1	3,43± 0,07	101,91	0,16	3,15	2,10
	R	0,93 ± 0,01	5,64± 0,00	8,5 ± 0,1	8,41± 0,04	11,18	24,43	7,04	97,75
E 9 (5,4m/s,30°C)	IN	0,99 ± 0,02	5,42 ± 0,00	7,3 ± 0,1	7,42 ± 0,10	16,88	10,43	8,73	101,28
	A	0,90 ± 0,05	5,43 ± 0,01	6,7 ± 0,1	7,12 ± 0,05	14,75	14,14	8,11	91,80
	P	0,62 ± 0,01	5,47 ± 0,00	5,5 ± 0,1	5,61 ± 0,04	101,74	-0,57	2,49	-2,40
	R	0,93 ± 0,01	5,48 ± 0,00	7,0 ± 0,0	7,16 ± 0,04	11,43	15,30	7,09	94,18
E 10 (5,4m/s,30°C)	IN	0,85 ± 0,01	5,46± 0,00	7,0 ± 0,0	6,54 ± 0,12	20,56	9,08	10,41	90,25
	A	0,83 ± 0,01	5,47± 0,01	6,9 ± 0,1	6,29 ± 0,09	17,81	19,03	9,11	92,55
	P	0,78 ± 0,01	5,46 ± 0,00	7,0 ± 0,0	5,39 ± 0,17	101,56	0,72	2,30	-1,09
	R	0,90 ± 0,01	5,48 ± 0,01	7,5 ± 0,0	7,12 ± 0,33	10,90	22,62	6,66	94,58
E 11 (5,4m/s,30°C)	IN	0,87 ± 0,03	5,61 ± 0,01	8,1± 0,2	7,95± 0,05	31,29	15,11	9,52	93,78
	A	0,83 ± 0,01	5,63 ± 0,01	8,0± 0,1	7,81± 0,13	30,34	16,28	9,65	92,65
	P	0,74 ± 0,01	5,64 ± 0,01	7,8± 0,1	7,77± 0,10	101,48	-0,33	2,80	3,73
	R	0,91 ± 0,01	5,66 ± 0,00	8,3± 0,1	7,91± 0,14	10,42	26,16	6,67	98,18

<sup>1</sup> = valores médios de 3 determinações

Letras iguais, na mesma coluna, são consideradas iguais com significância de 95% pelo teste de Tukey.

IN: Suco *in natura*, A: Alimentação (suco que recirculou por 1 minuto no sistema de membrana); R: Suco retido; P: Permeado.

n.d : não detectado; S.S = sólidos solúveis; S.T = sólidos totais

#### 4.3.4 Avaliação do desempenho do processo de microfiltração

Os resultados obtidos para as respostas fluxo médio de permeado ( $L/hm^2$ ), aumento do teor de licopeno (%) e aumento da capacidade antioxidante (%) sob as condições de velocidade de circulação e temperatura especificadas pelo planejamento experimental estão apresentados na Tabela 11.

**Tabela 11:** Resultados experimentais obtidos após os processos de microfiltração <sup>1</sup>

Ensaio	Velocidade tangencial (m/s)	Temperatura (°C)	Fluxo de permeado ( $L/hm^2$ )	Aumento do teor de licopeno na fração retida(%)	Aumento da capacidade antioxidante na fração retida(%)
1	4,6	25	16,4	37,26	27,27
2	6,1	25	53,2	251,57	200,00
3	4,6	35	18,5	29,58	22,22
4	6,1	35	71,2	271,76	270,27
5	4,3	30	13,0	39,19	-4,95
6	6,4	30	92,4	402,79	416,28
7	5,4	23	23,8	49,75	32,61
8	5,4	37	37,7	67,4	57,14
9	5,4	30	38,7	56,66	52,50
10	5,4	30	33,2	50,55	34,88
11	5,4	30	36,2	55,94	48,15

<sup>1</sup> = resultados analíticos representam os valores médios de 3 determinações valores reais de velocidade tangencial e temperatura do planejamento experimental

Conforme as condições utilizadas nos processos, houve um aumento nos valores das três respostas analisadas quando se utilizou a condição de maior velocidade tangencial (6,4 m/s), como se verifica no ensaio 6. Por outro lado, o ensaio 5, realizado com a velocidade tangencial mais baixa (4,3 m/s), resultou em menores valores de fluxo permeado e concentração de licopeno, com uma redução em torno de 5% da capacidade antioxidante do suco concentrado. Avaliando-se os pontos centrais, verifica-se uma pequena variação entre os resultados encontrados para fluxo permeado médio e para o teor de licopeno, sendo estas, respectivamente, 8 e 6%. Para a resposta capacidade antioxidante a variação entre as amostras foi de 23,8 %, o que pode ser explicado em função dos erros associados à metodologia analítica. De um modo geral, esses resultados representam uma boa repetibilidade do processo.

##### 4.3.4.1 Fluxo permeado médio ( $J_m$ )

Os resultados obtidos no planejamento experimental resultaram na determinação dos coeficientes de regressão para a resposta  $J_m$  (fluxo médio de permeado em  $L/hm^2$ ), que estão apresentados na Tabela 12.

**Tabela 12:** Coeficientes de regressão para a resposta fluxo permeado.

Fator	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (5)	p-valor	Lim. conf.	Lim. conf.
					-95%	+95%
Média	36,05	2,40	14,99	0,0000	29,87	42,23
Velocidade tangencial (L)	25,24	1,47	17,14	0,0000	21,45	29,02
Velocidade tangencial (Q)	7,85	1,75	4,48	0,0065	3,34	12,35
Temperatura (L)	4,98	1,47	3,38	0,0196	1,19	8,76
Temperatura (Q)	-3,13	1,75	-1,79	0,1339	-7,64	1,37
Velocidade tangencial (L) x Temperatura (L)	3,97	2,08	1,91	0,1148	-1,38	9,33

Avaliando-se os resultados obtidos, foi possível constatar que o termo quadrático da temperatura assim como a interação entre velocidade tangencial e temperatura não foram considerados estatisticamente significativos ( $p > 0,05$ ). Deste modo, estes termos foram descartados e os novos coeficientes de regressão, que apresentaram efeito significativo sobre  $J_m$ , estão apresentados na Tabela 13.

**Tabela 13:** Coeficientes de regressão para a resposta fluxo médio de permeado <sup>1</sup>

Fator	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (5)	p-valor	Lim. conf.	Lim. conf.
					-95%	+95%
Média	33,10	2,28	14,55	0,0000	27,72	38,48
Velocidade tangencial (L)	25,24	1,92	13,18	0,0000	20,71	29,77
Velocidade tangencial (Q)	8,77	2,18	4,03	0,0050	3,62	13,92
Temperatura (L)	4,98	1,92	2,60	0,0354	0,45	9,51

<sup>1</sup>= Valores estatisticamente significativos a 95% de significância ( $p < 0,05$ )

A partir dos resultados obtidos na análise de variância foi possível elaborar um modelo quadrático, com as variáveis codificadas, que representasse o fluxo médio de permeado em função da velocidade tangencial e da temperatura, na faixa de valores estudados. O modelo codificado obtido está demonstrado na Equação (11).

$$Y1 = 33,10 + 25,24 * V + 8,77 * V^2 + 4,98 * T \quad \text{Eq. 11}$$

onde:

$Y1$  = Fluxo médio de permeado

$V$  = velocidade tangencial

$T$  = temperatura

A Tabela 14 apresenta a análise de variância (ANOVA) para o fluxo permeado médio ( $J$ ). Analisando-se os resultados, verificou-se que o coeficiente de variação foi 0,9656, indicando que 96,56 % dos dados podem ser explicados pelo modelo proposto. O valor de  $F_{\text{calc}}$  da regressão foi altamente significativo ( $p < 0,0001$ ), sendo o valor obtido 15 vezes

maior que o  $F_{\text{tabelado}}$  indicando a existência de uma boa concordância entre os valores previstos pelo modelo e os dados experimentais obtidos, ao nível de 95% de confiança.

**Tabela 14:** ANOVA para a resposta fluxo médio de permeado

Fonte de variação	Soma dos Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	$F_{\text{calc}}$	p-valor
Regressão	5769,64	3	1923,21	65,57	0,000017
Resíduos	205,31	7	29,33		
Falta de ajuste	190,30	5	38,06	5,07	0,0626
Erro puro	15,01	2	7,51		
Total	5974,95	10			

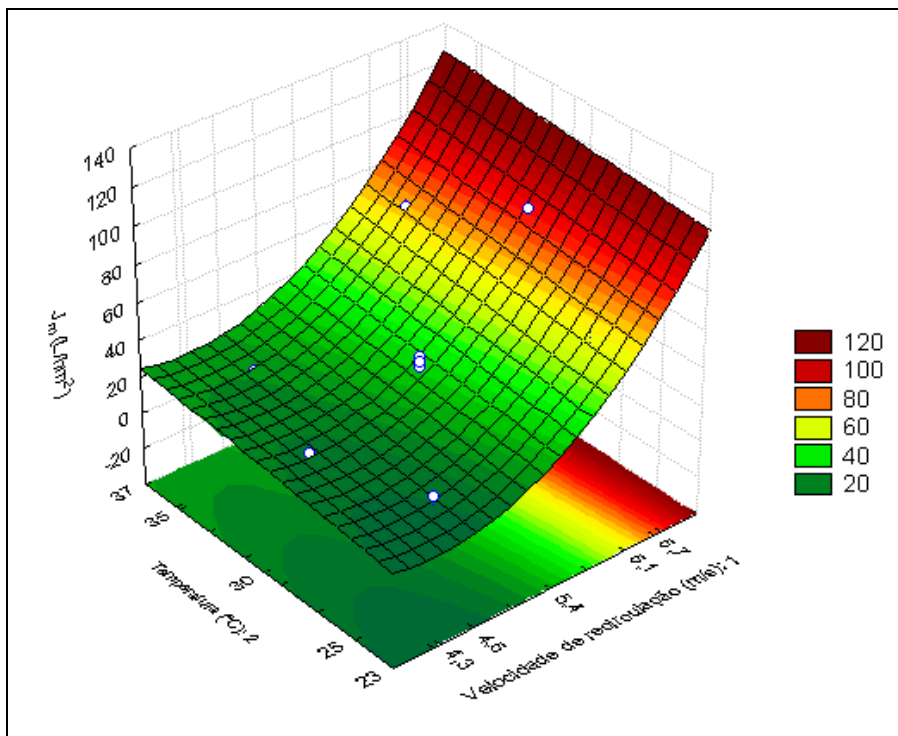
% de variação explicada ( $R^2$ ) = 96,56%  $F_{3,7,0,05} = 4,35$

A análise da superfície de resposta e as curvas de contorno, Figuras 26 e 27, geradas pelo modelo proposto, permite que seja selecionada a melhor condição de processo em relação à velocidade tangencial e à temperatura, ou seja, a condição que resultou no maior fluxo permeado médio, mantendo o maior teor de licopeno. É possível verificar que a resposta  $J_m$  é maximizada quando se utiliza o nível mais alto (+1,41) para velocidade tangencial, ou seja, 6,4 m/s. Na faixa de velocidade tangencial avaliada o fator temperatura afeta discretamente o fluxo permeado.

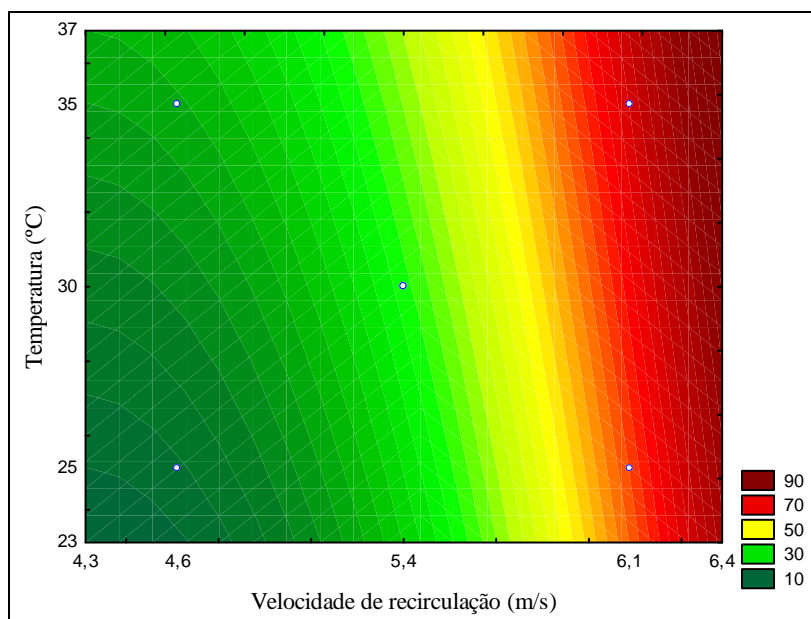
Conforme já discutido no item 1.2 deste trabalho, altas velocidades não favorecem a ocorrência dos fenômenos de polarização de concentração e *fouling*.

Miranda (2005) avaliou por metodologia de superfície de resposta, a influência da temperatura e pressão aplicada à membrana na formação do *fouling* durante a ultrafiltração de suco de melancia com membrana cerâmica. Os resultados obtidos mostraram um efeito negativo da pressão e que a temperatura, na faixa estudada, não influenciava o *fouling*.

Embora as superfícies obtidas mostrem uma maximização do fluxo permeado em função do aumento da velocidade tangencial, vale a pena ressaltar que operar em condições de alta velocidade tangencial não é comum aos processos de microfiltração realizados com alimentos, principalmente por exigir uma bomba de maior potência e, conseqüentemente, um maior consumo de energia.



**Figura 26:** Superfície de resposta em função da velocidade tangencial e temperatura para o fluxo médio de permeado



**Figura 27:** Superfície de contorno em função da velocidade tangencial e temperatura para o fluxo médio de permeado

#### 4.3.4.2 Aumento do teor de licopeno na fração retida

Os coeficientes de regressão para a resposta concentração de licopeno na fração retida estão apresentados na Tabela 15.



**Tabela 15:** Coeficientes de regressão para a resposta aumento do teor licopeno no retido

Fator	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (5)	p-valor	Lim. conf.	Lim. conf.
					-95%	+95%
Média	54,38	6,21	8,76	0,0003	38,42	70,35
Velocidade tangencial (L)	121,34	3,80	31,91	0,0000	111,56	131,11
Velocidade tangencial (Q)	85,24	4,53	18,83	0,0000	73,61	96,88
Temperatura (L)	4,68	3,80	1,23	0,2729	-5,09	14,46
Temperatura (Q)	4,04	4,53	0,89	0,4135	-7,60	15,67
Velocidade tangencial (L) x Temperatura (L)	6,97	5,38	1,30	0,2517	-6,86	20,79

A Tabela 16 mostra os coeficientes de regressão significativos, neste caso, apenas para os termos velocidade tangencial linear e quadrático. Estes parâmetros foram utilizados na elaboração de um modelo codificado de segunda ordem (Equação 12) que representasse o aumento da concentração de licopeno em função da velocidade tangencial, na faixa dos valores utilizados nesse estudo.

$$Y2 = 58,18 + 121,34 * V + 84,06 * V^2 \quad \text{Eq. 12}$$

onde:

Y2 = Aumento do teor de licopeno na fração de suco retida ou suco concentrado

V= velocidade tangencial

**Tabela 16:** Coeficientes de regressão para a resposta aumento do teor de licopeno no retido<sup>1</sup>

Fator	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (5)	p-valor	Lim. conf.	Lim. conf.
					-95%	+95%
Média	58,18	4,79	12,15	0,0000	47,14	69,23
Velocidade tangencial (L)	121,34	4,03	30,10	0,0000	112,04	130,63
Velocidade tangencial (Q)	84,06	4,59	18,33	0,0000	73,48	94,63

<sup>1</sup>= Valores estatisticamente significativos a 95% de significância (p < 0,05)

Pela análise de variância (ANOVA) apresentada na Tabela 17, pode-se concluir que o modelo que descreve a resposta aumento da concentração de licopeno em função da velocidade tangencial, utilizando os parâmetros estatisticamente significativos, é adequado visto que apresentou uma porcentagem de variação explicada de 99,36% e um valor de F<sub>calculado</sub> altamente significativo (p < 0,00001). Esses resultados indicam uma boa concordância entre os valores experimentais e os previstos pelo modelo.

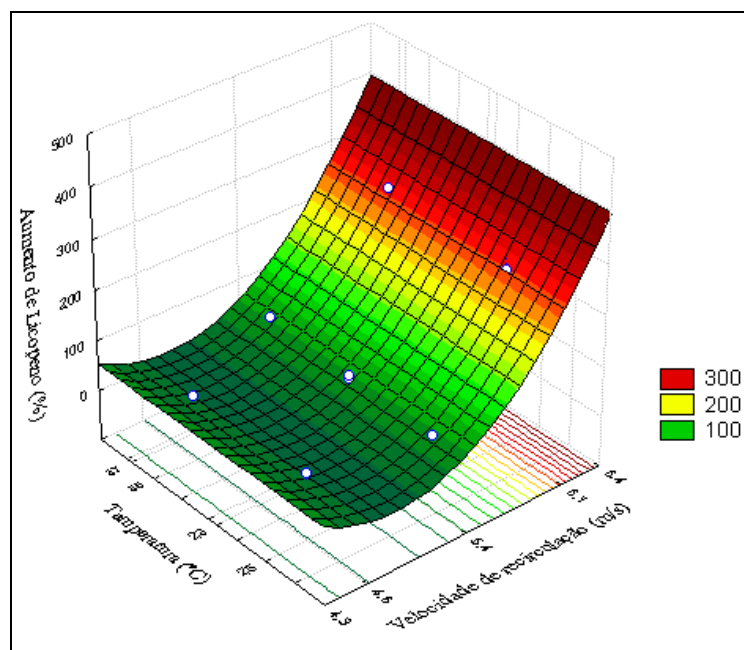
**Tabela 17:** ANOVA para a resposta concentração de licopeno da fração retida

Fonte de variação	Soma dos Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F <sub>calc</sub>	p-valor
Regressão	161459,26	2	80729,63	620,87	0,000000
Resíduos	1040,21	8	130,03		
Falta de ajuste	1017,91	6	169,65	15,21	0,063
Erro puro	22,30	2	11,15		
Total	162499,47	10			

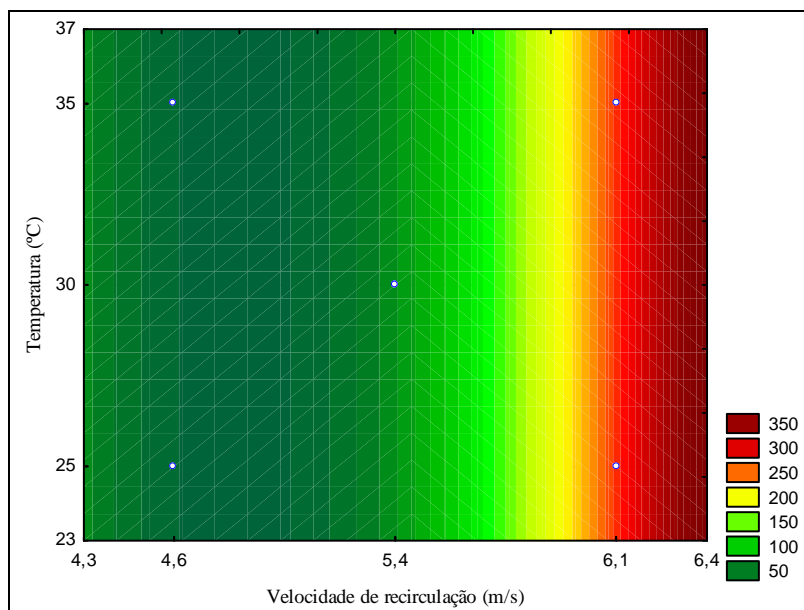
% de variação explicada ( $R^2$ ) = 99,36%  $F_{2,8,0,05} = 4,46$

A avaliação das superfícies de resposta e curvas de contorno para o aumento na concentração de licopeno, Figuras 28 e 29, mostra que, na faixa de valores estudados, a máxima concentração deste composto ocorre quando a velocidade tangencial do processo foi maior do que 6,1 m/s e que a temperatura não foi um fator importante nesse objetivo. Esses resultados demonstram que os efeitos inerciais, representados pela densidade do fluido, velocidade de escoamento e diâmetro característico, foram positivamente afetados pelas velocidades tangenciais utilizadas nesse estudo de modo que estes prevaleceram sobre os efeitos viscosos, ou seja, sobre a viscosidade do suco. O aumento das forças inerciais em relação às forças viscosas proporcionou um aumento do número de Reynolds que, conseqüentemente, favoreceu o aumento da permeabilidade da membrana ao suco.

Clareto (2007) avaliou a concentração de licopeno de polpa de goiaba por microfiltração com membrana cerâmica utilizando velocidade tangencial de escoamento na faixa de 3,3 a 3,9 m/s. O autor utilizou a metodologia de superfície de resposta para avaliar a influência dos fatores pressão e temperatura na concentração de licopeno de polpa. As variáveis significativas foram a temperatura (linear e quadrática) e a pressão (linear), mostrando uma maior influência da viscosidade sobre o processo.



**Figura 28:** Superfície de resposta em função da velocidade tangencial e temperatura para o aumento da concentração de licopeno



**Figura 29:** Curvas de contorno em função da velocidade tangencial e temperatura para o aumento da concentração de licopeno

#### 4.3.4.3 Aumento da capacidade antioxidante na fração retida

Os coeficientes de regressão para a resposta aumento da capacidade antioxidante no suco retido estão apresentados na Tabela 18. Verifica-se que apenas os termos linear e quadrático da velocidade tangencial foram significativos (Tabela 19).

**Tabela 18:** Coeficientes de regressão para a resposta aumento do teor licopeno no retido

Fator	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (5)	p-valor	Lim. conf.	
					-95%	+95%
Média	45,18	16,64	2,71	0,0420	2,40	87,95
Velocidade tangencial (L)	127,06	10,19	12,47	0,0001	100,87	153,26
Velocidade tangencial (Q)	81,41	12,13	6,71	0,0011	50,23	112,59
Temperatura (L)	12,49	10,19	1,23	0,2749	-13,71	38,68
Temperatura (Q)	1,02	12,13	0,08	0,9365	-30,16	32,19
Velocidade tangencial (L) x Temperatura (L)	18,83	14,41	1,31	0,2482	-18,22	55,88

Os parâmetros significativos foram utilizados na construção de um modelo codificado e a Equação 13 representa o aumento da atividade antioxidante em função da velocidade tangencial, na faixa dos valores utilizados no estudo.

$$Y_3 = 46,13 + 127,06 * V + 81,11 * V^2 \quad \text{Eq.13}$$

onde:

$Y_2$  = Aumento da atividade antioxidante na fração de suco retida ou suco concentrado  
 $V$  = velocidade tangencial

**Tabela 19:** Coeficientes de regressão para a resposta aumento da atividade antioxidante no retido<sup>1</sup>

Fator	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (5)	p-valor	Lim. conf. -95%	Lim. conf. +95%
Média	46,13	12,27	3,76	0,0055	17,84	74,43
Velocidade tangencial (L)	127,06	10,33	12,30	0,0000	103,25	150,88
Velocidade tangencial (Q)	81,11	11,75	6,90	0,0001	54,02	108,20

<sup>1</sup>= Valores estatisticamente significativos a 95% de significância ( $p < 0,05$ )

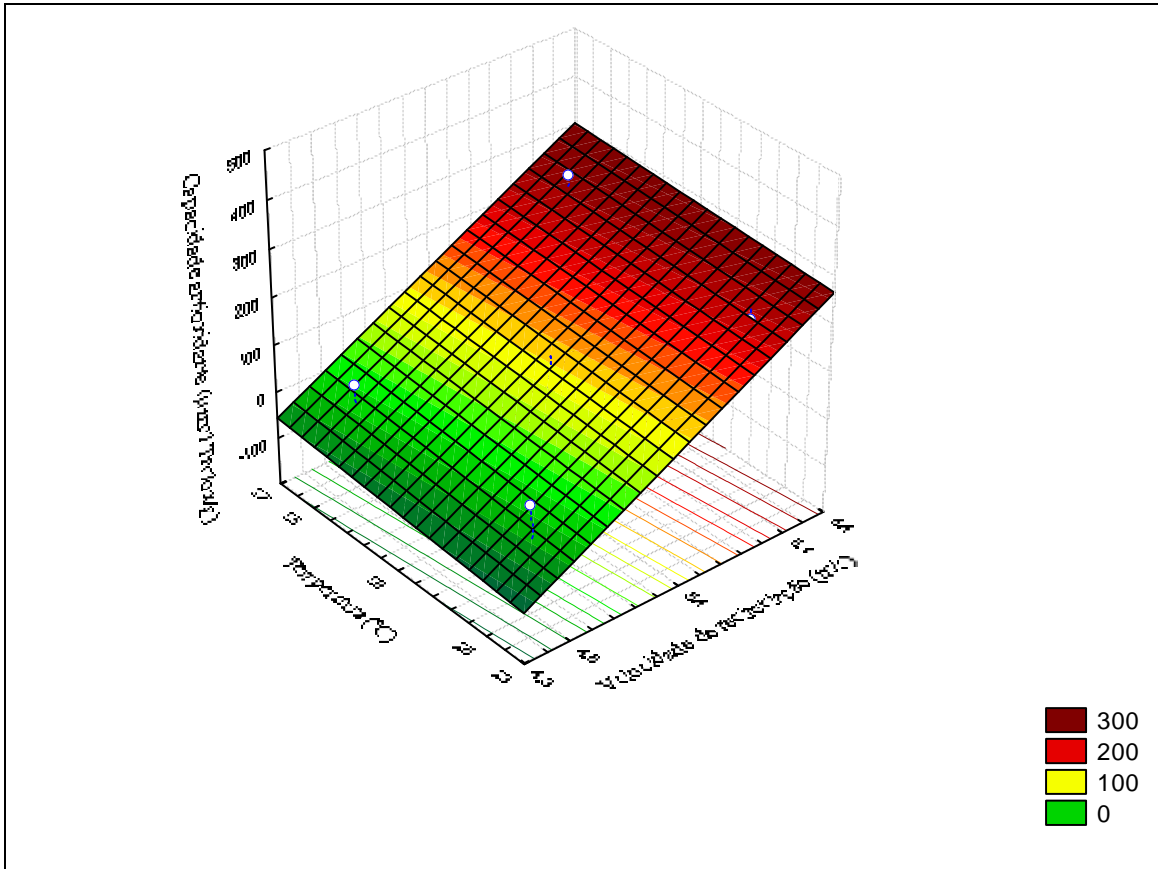
A análise de variância (ANOVA) para aumento de atividade antioxidante do suco concentrado, considerando os termos estatisticamente significativos, está apresentada na Tabela 20. O coeficiente de determinação foi igual a 96,14% e o valor de  $F_{\text{calculado}}$  altamente significativo ( $p < 0,000002$ ), sendo o modelo proposto adequado para descrever a resposta analisada.

**Tabela 20:** ANOVA para a resposta capacidade antioxidante da fração retida

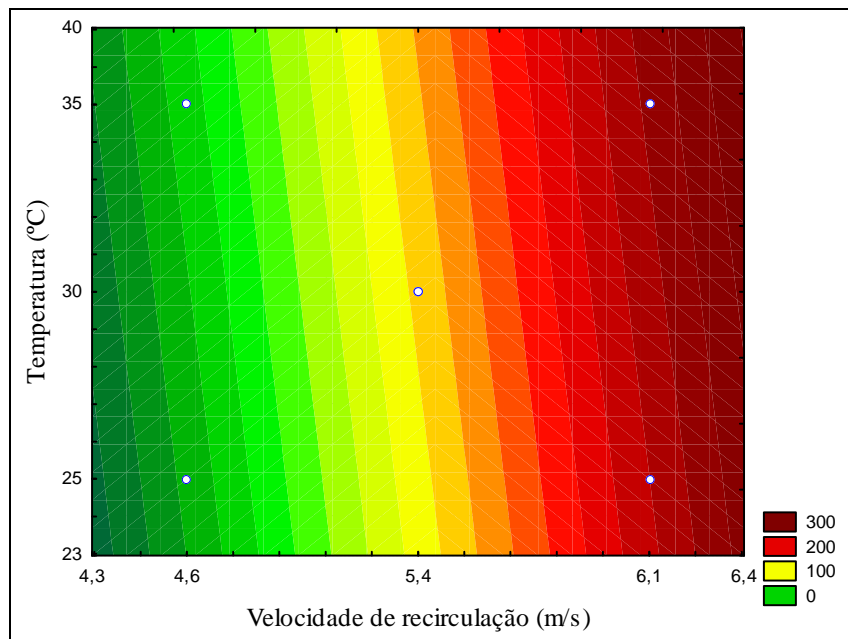
Fonte de variação	Soma dos Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	$F_{\text{calc}}$	p-valor
Regressão	169828,08	2	84914,04	99,53	0,000002
Resíduos	6825,52	8	853,19		
Falta de ajuste	6657,03	6	1109,51	13,17	0,063
Erro puro	168,49	2	84,25		
Total	176653,60	10			

% de variação explicada ( $R^2$ ) = 96,14%  $F_{2,8,0,05} = 4,46$

Pela análise das Figuras 30 e 31, observa-se um comportamento igual ao obtido para concentração de licopeno, ou seja, a máxima capacidade antioxidante obtida nas frações retidas de suco ocorrem em velocidades tangenciais acima de 6,1 m/s e sem a influência da temperatura. Esse resultado aponta o licopeno como o principal agente antioxidante do suco de melancia.



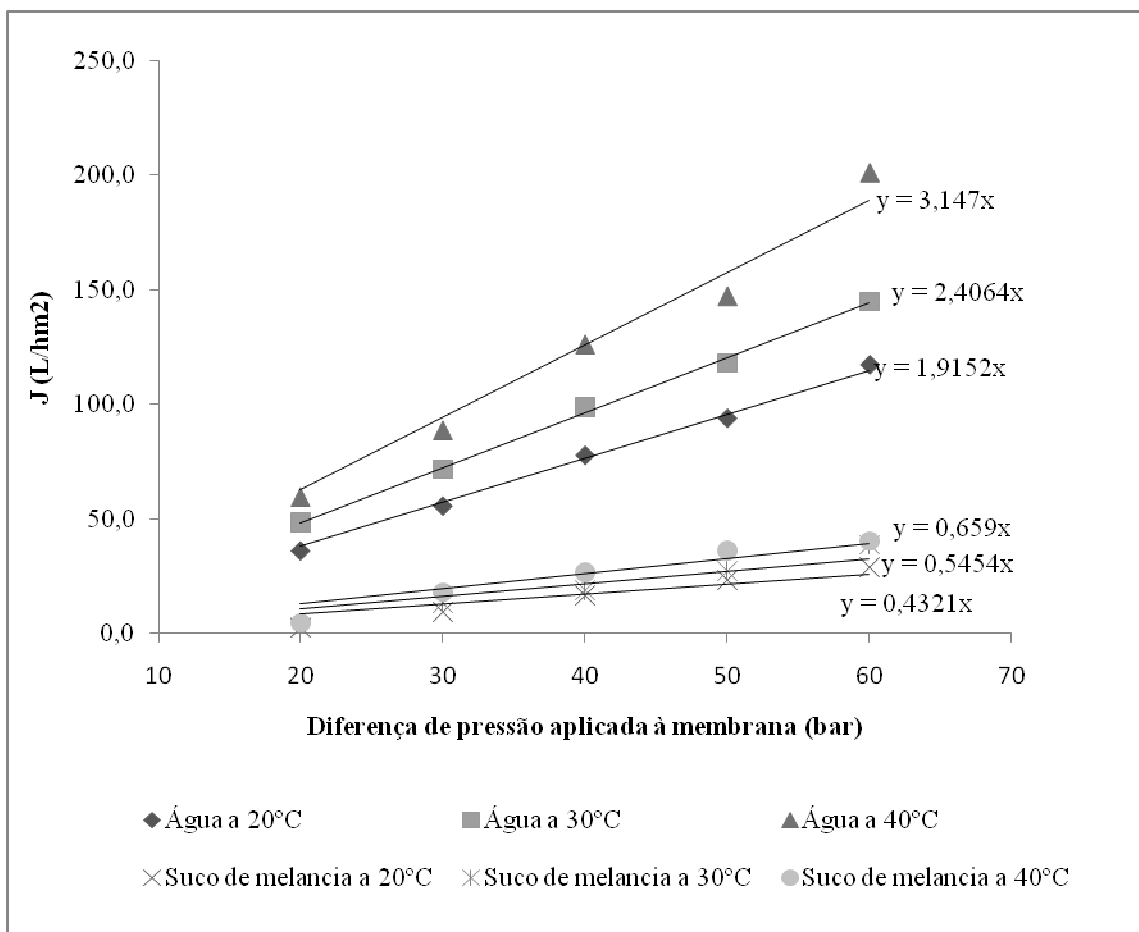
**Figura 30:** Superfície de resposta em função da velocidade tangencial e temperatura para o aumento da capacidade antioxidante



**Figura 31:** Curvas de contorno em função da velocidade tangencial e temperatura para o aumento da capacidade antioxidante

#### 4.4 Concentração do suco de melancia pelo processo de osmose inversa

Inicialmente, foi realizada a avaliação da permeabilidade hidráulica da membrana, assim como a permeabilidade ao suco de melancia nas temperaturas de 20, 30 e 40°C (Figura 32).



**Figura 32:** Permeabilidade hidráulica e com o suco de melancia da membrana de osmose inversa.

Como esperado, o fluxo permeado da água aumentou em função do aumento da temperatura e da pressão aplicadas. De acordo com o que já foi discutido no item 2.3.1 deste trabalho, o aumento da temperatura promove uma diminuição na viscosidade do produto e, conseqüentemente, um aumento no fluxo permeado.

Comportamento semelhante ao da água foi observado para o fluxo permeado com o suco de melancia, porém, a permeabilidade ao suco foi sempre menor que a permeabilidade à água nas mesmas condições de pressão e temperatura, o que pode ser atribuído à presença de sólidos solúveis e em suspensão que resultam em um maior valor de viscosidade e pressão osmótica do suco, diminuindo a força motriz à transferência de massa. O processo de osmose inversa utiliza membrana densa e é diretamente afetado pela diferença de pressão, ou seja, quanto maior o valor de pressão aplicada pela bomba, maior a diferença entre a pressão osmótica do produto e a pressão aplicada, aumentando a força motriz resultante do sistema e, conseqüentemente o fluxo permeado.

Verifica-se também que, na faixa de pressão estudada, o fluxo limite, ou seja, o valor a partir do qual o fluxo permeado torna-se constante e independente da pressão aplicada, não foi atingido.

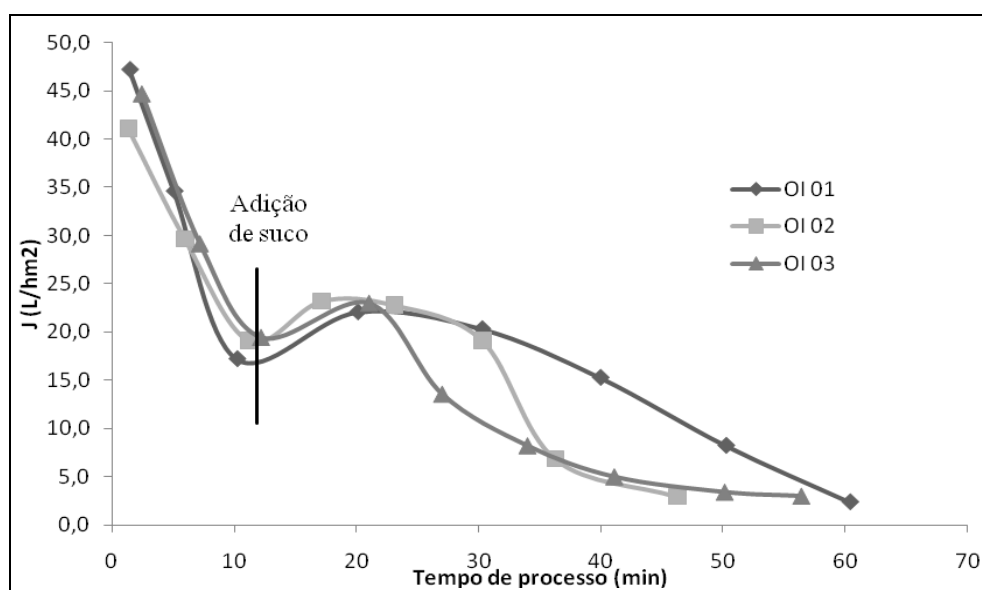
A Figura 33 apresenta o comportamento do fluxo permeado dos processos de osmose inversa realizados à temperatura de 30°C e diferença de pressão aplicada à membrana igual a 60 bar.

O fluxo médio inicial foi de  $44,3 \pm 3,1$  L/hm<sup>2</sup>. Após aproximadamente 10 minutos de processo, os fluxos de permeado foram reduzidos em aproximadamente 58%, atingindo em média  $18,6 \pm 1,2$  L/hm<sup>2</sup>. O pequeno aumento do fluxo permeado observado posteriormente pode ser atribuído à adição de uma nova quantidade de suco de melancia ao tanque de alimentação do sistema, pois estes experimentos foram realizados em regime de batelada alimentada.

Os processos tiveram duração de máxima de 60 minutos e o fluxo médio alcançado ao final foi de  $21,7 \pm 5,1$  L/hm<sup>2</sup>. O fator de concentração volumétrico médio alcançado (FCV) foi de  $4,4 \pm 0,3$ .

Embora as curvas de processo mostrem um aumento do fluxo de permeado em função da adição de mais suco de melancia ao tanque de alimentação, os três ensaios avaliados apresentaram uma diminuição do fluxo ao longo do tempo de processo. O comportamento apresentado é característico de processos de separação por membranas e pode ser explicado devido à contribuição de diferentes fenômenos como a polarização de concentração, nos instantes iniciais da permeação e ao *fouling*, neste caso, somente considerando o aumento de sólidos sobre a superfície da membrana, uma vez que como são utilizadas membranas densas, os fenômenos relacionados à adsorção e entupimento nos poros da mesma não devem ser considerados.

A polarização de concentração é um fenômeno que acontece logo nos primeiros instantes da permeação, porém, devido às condições experimentais não foi possível avaliar esse efeito. Desta forma, foi considerado que as principais resistências à permeação se devem à própria membrana, ao aumento da pressão osmótica e viscosidade do suco ao longo do processo, resultando na diminuição da força motriz e no aumento da resistência à transferência de massa e, conseqüentemente, na diminuição do fluxo permeado.



**Figura 33:** Variação do fluxo de permeado durante a concentração do suco de melancia por osmose inversa em função do tempo de processo.

A Tabela 21 apresenta a caracterização das frações da alimentação e do retido obtidas nos processos de osmose inversa.

Tabela 21: Caracterização das frações da alimentação e suco retido.

<b>Análises</b>	<b>Suco <i>in natura</i></b>	<b>Suco concentrado</b>
pH	5,43 <sup>a</sup> ± 0,13	5,22 <sup>a</sup> ± 0,03
Sólidos solúveis (° Brix)	8,3 <sup>a</sup> ± 0,3	29,9 <sup>b</sup> ± 0,7
Acidez total (g/100g)	1,21 <sup>a</sup> ± 0,26	3,55 <sup>b</sup> ± 0,16
Sólidos totais	7,07 ± 0,01	29,6 ± 2,11
Licopeno (µg/g)	31,43 <sup>a</sup> ± 6,49	100,87 <sup>b</sup> ± 29,77
Capacidade antioxidante (µmol Trolox/g)	0,34 <sup>a</sup> ± 0,06	0,81 <sup>b</sup> ± 0,14

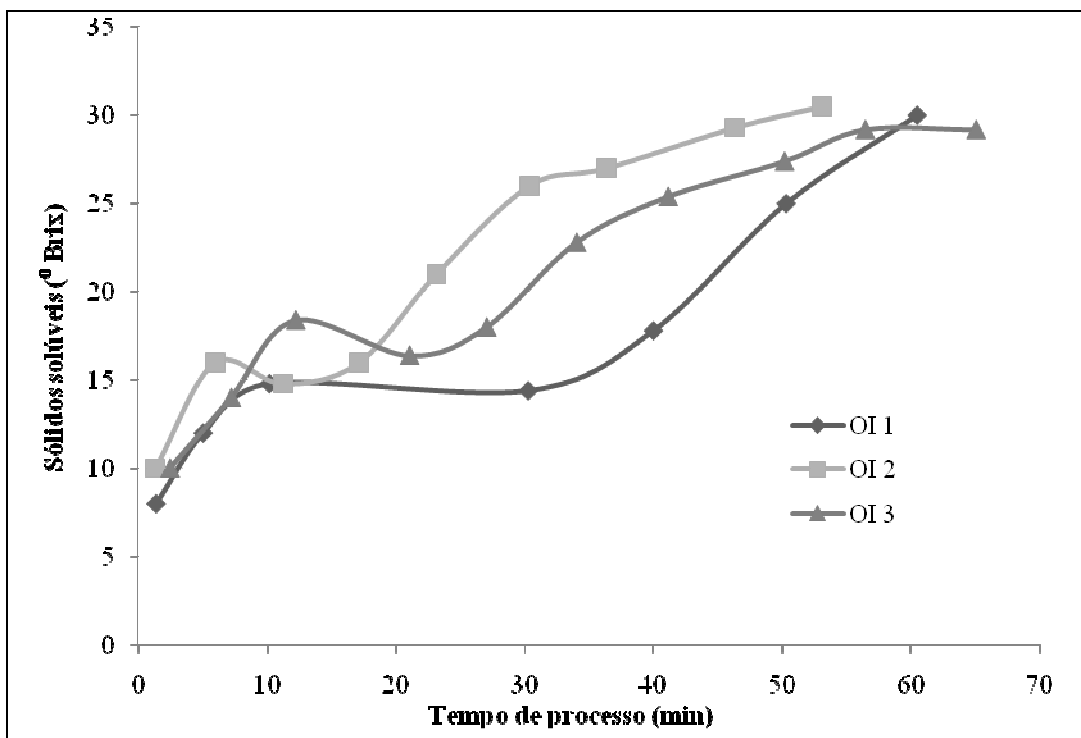
Letras iguais na mesma linha não diferem significativamente ( $p > 0,05$ ) entre si pelo teste de *Tukey*.

<sup>1</sup> = Valores médios de 3 processos.

Os valores do teor de sólidos solúveis e totais e da acidez mostram um aumento significativo após os processos de concentração ( $p < 0,05$ ). Embora não significativa, observou-se uma ligeira diminuição no valor do pH.

O teor médio de sólidos solúveis no suco concentrado foi igual a  $29,9 \pm 0,7^\circ$ , o que representou um aumento de aproximadamente 3,6 vezes em relação ao suco *in natura*. Os teores médios de sólidos solúveis e totais, importantes indicadores industriais de concentração, não aumentaram proporcionalmente ao fator de concentração volumétrica obtido nos processos, isto provavelmente devido à presença de água no sistema de membrana. Porém, verificou-se que o teor de licopeno e a atividade antioxidante aumentaram quando comparados com o suco *in natura* em uma proporção próxima ao aumento do teor de sólidos solúveis, porém menor que o FCV do processo, sendo estas equivalentes a 3,2 para o teor de licopeno e 2,4 vezes para a capacidade antioxidante. Esta perda pode ser explicada em decorrência de possíveis reações de oxidação e isomerização durante o processamento, o que em um processo realizado em nível industrial poderia ser minimizado pelo processamento em regime contínuo e pelo desenho adequado dos equipamentos. A variação da concentração do teor de sólidos solúveis (°Brix) ao longo dos processos está apresentada na Figura 34. A diminuição do teor de sólidos solúveis observada ocorreu devido à diluição do suco de melancia em função da adição de mais suco ao sistema.





**Figura 34:** Evolução do teor de sólidos solúveis ao longo dos processos de osmose inversa

A Tabela 22 apresenta e a avaliação instrumental de cor e turbidez do suco de melancia *in natura* (alimentação) e do suco concentrado obtido pelos processos de osmose inversa.

**Tabela 22:** Análise instrumental de suco de melancia *in natura* e concentrado por osmose inversa.

Análises	Suco <i>in natura</i>	Suco concentrado
Luminosidade (L)	32,74 <sup>a</sup> ± 3,77	4,80 <sup>b</sup> ± 1,15
a	10,56 <sup>a</sup> ± 0,07	19,55 <sup>b</sup> ± 2,42
b	9,80 <sup>a</sup> ± 0,82	0,36 <sup>b</sup> ± 0,13
Turbidez ( <i>Haze</i> )	85,04 <sup>a</sup> ± 0,97	94,30 <sup>b</sup> ± 5,67

L (0=preto e 100 = branco); a (-80 até zero = verde, e do zero ao +100 = vermelho); b (-100 até zero = azul, do zero ao +70 = amarelo). \* médias de três processos e análises em quadruplicata cada. Letras iguais na mesma linha não diferem significativamente ( $p > 0,05$ ) entre si pelo teste de Tukey.

Os resultados obtidos mostram que houve uma variação diferença significativa dos parâmetros de cor entre as amostras analisadas, ou seja, antes e após a concentração.

O parâmetro L, luminosidade, foi menor para o suco concentrado por osmose inversa, indicando que este era mais escuro que o suco *in natura*, resultado esperado pela própria concentração.

O aumento do parâmetro “a” e a diminuição do parâmetro “b” apresentadas pelo suco retido representaram, respectivamente, um aumento na intensidade do vermelho e uma leve inclinação para o amarelo, indicando a concentração do pigmento vermelho devido à remoção da água e concentração do licopeno.

O aumento na turbidez do suco concentrado é explicado pelo aumento do teor de sólidos insolúveis do suco obtido, tornando-o menos límpido.

## **4.5 Aplicações dos concentrados de licopeno obtidos nos processos de separação por membranas.**

### **4.5.1 Microencapsulação do licopeno**

#### **4.5.1.1 Rendimento do processo de microencapsulação**

O rendimento médio obtido para os processos de microencapsulação, nas condições utilizadas neste trabalho, foi de  $36,2 \pm 7,6$  %.

Alguns pesquisadores obtiveram rendimentos maiores quando microencapsularam licopeno puro. Chu e colaboradores (2006) reportaram rendimentos que variaram na faixa de 69 a 91%, utilizando gelatina e sacarose como material de parede. Nesse estudo foram avaliadas a influência da razão gelatina:sacarose, da razão de núcleo: material de parede, da pressão de homogeneização no preparo das emulsões e da temperatura do ar de entrada. A condição ótima de processo, ou seja, a que proporcionou o maior rendimento foi definida como: razão gelatina:sacarose igual 3/7; relação de núcleo: material de parede igual a 1/4, temperatura da alimentação igual a 55°C e temperatura de ar de entrada igual a 190°C.

Nunes e Mercadante (2007) obtiveram um rendimento médio de 51% quando microencapsularam licopeno cristalizado utilizando uma mistura de goma arábica e sacarose (8:2 p/p) como agentes encapsulantes. As condições de operação utilizadas para o *spray drier* foram: temperatura do ar de entrada igual a 170°C e temperatura de saída do ar igual a 113°C, vazão do ar igual 30 mL/min.

O menor rendimento alcançado nesse estudo pode ser explicado pelo fato do suco de melancia apresentar não somente o licopeno em sua matriz, mas ser formado por uma combinação de diferentes componentes, dentre os quais se destacam os açúcares.

Durante os processos com o suco de melancia, observou-se aderência de parte do material encapsulado nas paredes da câmara de secagem e, como consequência disso, a perda de material encapsulado. Essa aderência provavelmente está relacionada à presença de açúcares na matriz, principalmente frutose e glicose, responsáveis pela caramelização do material.

Segundo Magalhães Netto (1997) citado por Valduga e colaboradores (2008), a aderência pode ainda estar relacionada a uma mudança de estado físico do alimento devido à formação de materiais amorfs que acontecem durante a rápida remoção da água em processos de desidratação por *spray drier*.

Em alimentos, a mudança de fase mais importante, que é característica de materiais amorfs, é a transição vítrea, que consiste em uma transição de fase de um estado sólido-vítreo para um estado elastomérico, resultando em um material de propriedades indesejáveis, pegajoso e aderente. A temperatura, a uma dada umidade, a qual é atribuída essa transição é denominada temperatura de transição vítrea – Tg. (Leite *et al.*, 2005).

#### 4.5.1.2 Teor de licopeno e capacidade antioxidante do pó encapsulado por *spray drier*

A Tabela 23 mostra o teor de licopeno e a capacidade antioxidante do material microencapsulado. Os resultados representam um aumento de 216% no teor de licopeno e de 192,5% na atividade antioxidante das microcápsulas quando comparados ao suco de melancia concentrado usado como alimentação.

Em estudo semelhante, Quek e colaboradores (2006) microencapsularam licopeno a partir de suco de melancia por *spray drier*. Foram utilizados 5% de maltodextrina como material encapsulante e temperaturas de entrada e saída do ar nas faixas de 145 a 175°C e 95,4 a 112,7°C, respectivamente. Os autores reportaram alcançar teores médios de licopeno que variaram na faixa de 724,5 a 954,02 µg/g, representando um rendimento médio de 1669%. Nesse estudo também foi verificado que o aumento da temperatura do ar de entrada influenciava negativamente o teor de licopeno das microcápsulas.

**Tabela 23:** Conteúdo de licopeno e capacidade antioxidante do suco concentrado em licopeno e do pó encapsulado obtido por *spray drier*.<sup>1</sup>

Amostra	Teor de licopeno (µg/g)	Capacidade antioxidante (µmol Trolox/g)
Suco concentrado de melancia	72,45 <sup>a</sup> ± 0,44	2,20 <sup>a</sup> ± 0,01
Microcápsulas	228,97 <sup>b</sup> ± 13,22	6,43 <sup>b</sup> ± 0,90

<sup>1</sup> = resultados analíticos representam os valores médios de 3 determinações

Letras iguais, na mesma coluna, são consideradas iguais com grau de certeza de 95% (p<0,05) pelo teste de Tukey.

#### 4.5.1.3 Avaliação da estabilidade das microcápsulas

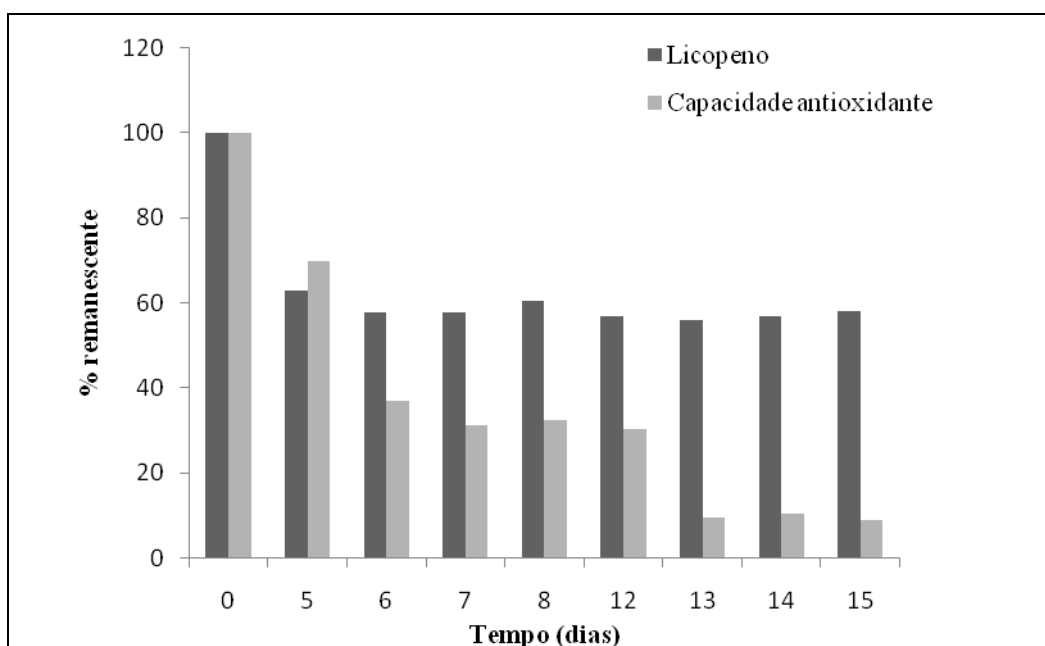
A Tabela 24 apresenta os resultados obtidos nas determinações de licopeno e capacidade antioxidante das microcápsulas, assim como a retenção do licopeno e a capacidade antioxidante remanescente durante os 15 dias de armazenamento.

**Tabela 24:** Teor de licopeno e capacidade antioxidante das microcápsulas ao longo do armazenamento

Tempo (dias)	Teor de licopeno (µg/g)	% remanescente de licopeno	Capacidade antioxidante (µmol Trolox/g)	% remanescente da capacidade antioxidante
0	228,97 <sup>a</sup>	100	6,43 <sup>a</sup>	100
5	143,97 <sup>b</sup>	62,9	4,48 <sup>b</sup>	69,7
6	132,45 <sup>b</sup>	57,8	2,38 <sup>c</sup>	36,9
7	132,20 <sup>b</sup>	57,7	2,00 <sup>c</sup>	31,1
8	138,63 <sup>b</sup>	60,5	2,08 <sup>c</sup>	32,4
12	130,02 <sup>b</sup>	56,8	1,96 <sup>c</sup>	30,4
13	128,33 <sup>b</sup>	56,0	0,61 <sup>d</sup>	9,5
14	129,82 <sup>b</sup>	56,7	0,66 <sup>d</sup>	10,3
15	133,02 <sup>b</sup>	58,1	0,57 <sup>d</sup>	8,8

Com relação ao licopeno, este resultado foi pior do que o obtido por Matioli e Amaya (2002) quando microencapsularam licopeno com goma arábica como material de parede e constataram uma perda de 50% do licopeno após 18 dias de armazenamento na ausência de luz e à temperatura ambiente.

Neste trabalho observou-se uma acentuada diminuição do teor de licopeno nos primeiros cinco dias de armazenamento, o qual se manteve estável até o final do experimento (Figura 19). Com relação à capacidade antioxidante, houve uma redução proporcional ao decaimento do teor de licopeno nos primeiros cinco dias e, a partir do oitavo dia, houve uma redução maior do que a verificada para o licopeno, mantendo-se estável até o décimo segundo dia e, após esse período, uma drástica redução foi observada.



**Figura 35.** Teor de licopeno e capacidade antioxidante das microcápsulas ao longo do armazenamento

Os resultados obtidos durante o armazenamento das microcápsulas indicam uma perda de licopeno que pode ser explicada em duas etapas.

Inicialmente, pode ter ocorrido uma degradação real do licopeno, o que se reflete na diminuição da capacidade antioxidante proporcional à do licopeno. Esta degradação foi verificada por Goula e Adamopoulos (2005) quando estudaram a influência da temperatura do ar de entrada, da vazão de ar e da vazão de alimentação na degradação do licopeno da polpa de tomate desidratada por *spray drying*.

Em um segundo momento, os resultados indicam o início do processo de isomerização provocado pelo aquecimento sofrido durante a atomização, resultando na formação contínua de compostos, principalmente isômeros de configuração *cis* ou outros compostos de menor capacidade antioxidante. A formação de isômeros *cis* de licopeno foi reportada por outros autores durante o tratamento térmico de diferentes matrizes (SHU *et al*, 2006; MIEBACH *et al.*, 2005).

Os resultados apresentados mostram que as condições utilizadas não foram adequadas para o microencapsulamento do licopeno e que novos testes devem ser realizados.

## 4.5.2 Avaliação sensorial

### 4.5.2.1 Teste pareado de preferência com suco de melancia

A Tabela 25 mostra a frequência da preferência dos consumidores entre a amostra de suco de melancia *in natura* e suco concentrado por osmose inversa, o qual foi rediluído à mesma concentração de sólidos solúveis do suco *in natura*. Verificou-se que dos 80 consumidores, 46 preferiram a amostra de suco *in natura* enquanto 34 preferiram o suco processado.

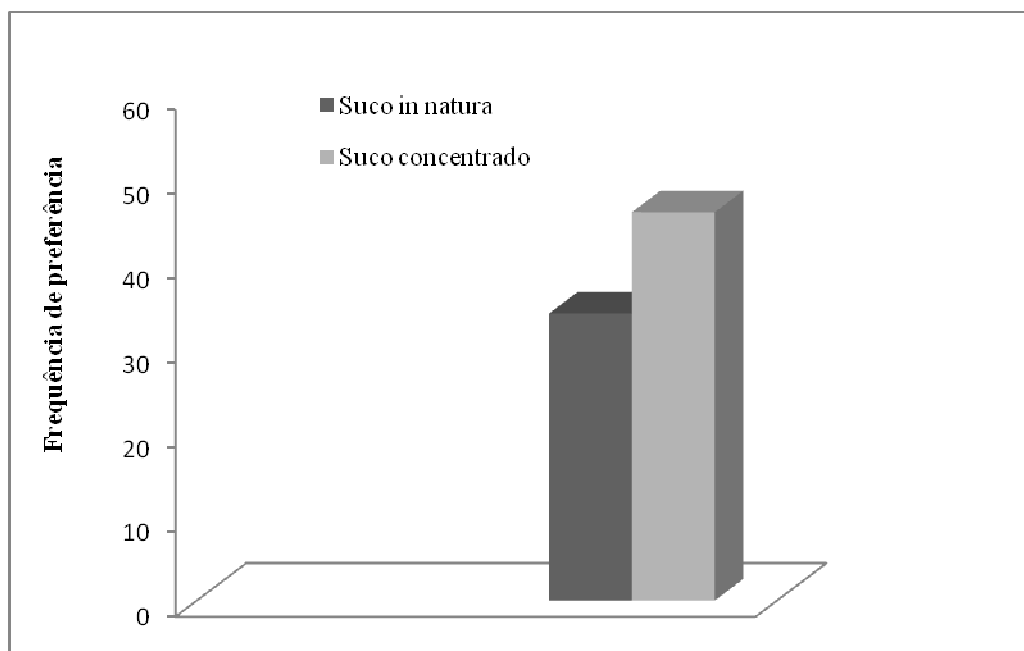
Segundo Rosler e colaboradores (1978), o número mínimo de julgamentos concordantes, ao nível de 5% de significância, correspondente a 80 julgamentos deve ser igual a 48. Desta forma, foi possível concluir que não houve preferência por uma ou outra amostra. Este resultado, na prática, representa que os consumidores não foram capazes de perceber o processo de osmose inversa ao qual o suco de melancia foi submetido.

A Figura 36 mostra a frequência da preferência dos consumidores entre as amostras de suco de melancia apresentadas.

**Tabela 25:** Frequência da preferência entre o suco de melancia *in natura* e o suco concentrado por osmose inversa.

Suco <i>in natura</i> Vs Suco concentrado	
Total de testes	80
Frequência	46 <sup>ns</sup> Vs 34

Segundo Roesler et al., 1978: ns – não significativo ao nível de 95% de confiança.



**Figura 36:** Frequência da preferência entre as amostras de suco de melancia *in natura* e concentrado pelo processo de osmose inversa.

#### 4.5.2.2 Teste de aceitação e intenção de compra da bebida láctea *light* sabor melancia.

O teste de aceitação e intenção de compra foi realizado com 60 consumidores, dos quais 58,3% foram mulheres e 41,7 % homens, com idades entre 15 a 65 anos, sendo 45% destes pertencentes à faixa etária de 15 a 25 anos, todos estudantes e/ou funcionários do *Colégio Estadual Marechal Alcides Etchgoyen*.

As médias das notas atribuídas aos atributos cor, aroma e sabor da bebida láctea, formulado a partir do suco concentrado de melancia estão apresentadas na Tabela 26.

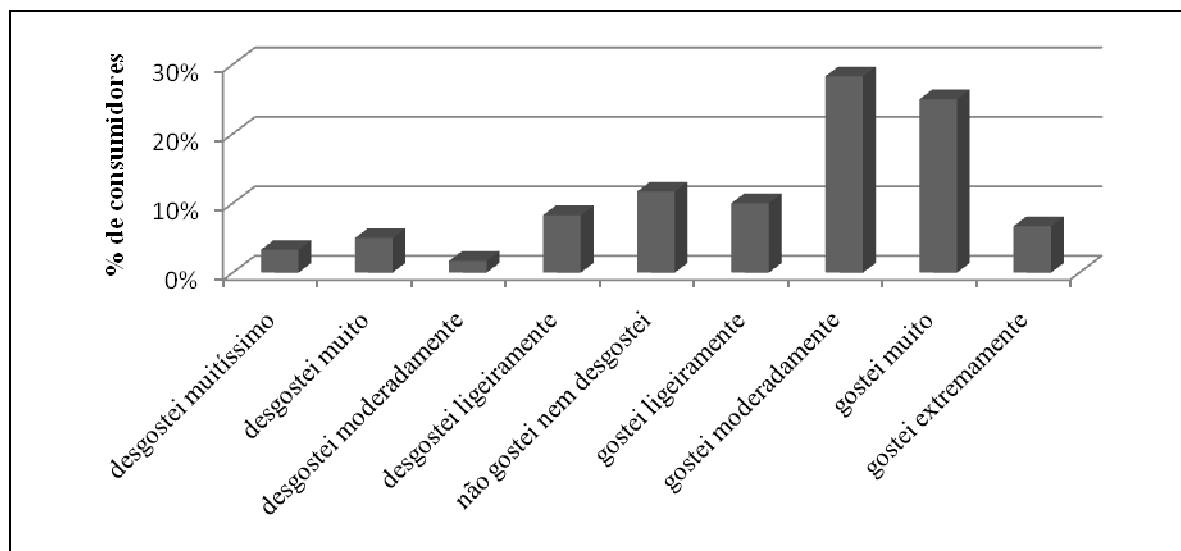
**Tabela 26:** Médias<sup>1</sup> da aceitabilidade<sup>2</sup> para cada um dos atributos avaliados

	Cor	Aroma	Sabor
<b>Aceitação (média ± desvio padrão)</b>	6,9 ± 2,0	6,3 ± 1,4	7,0 ± 1,9

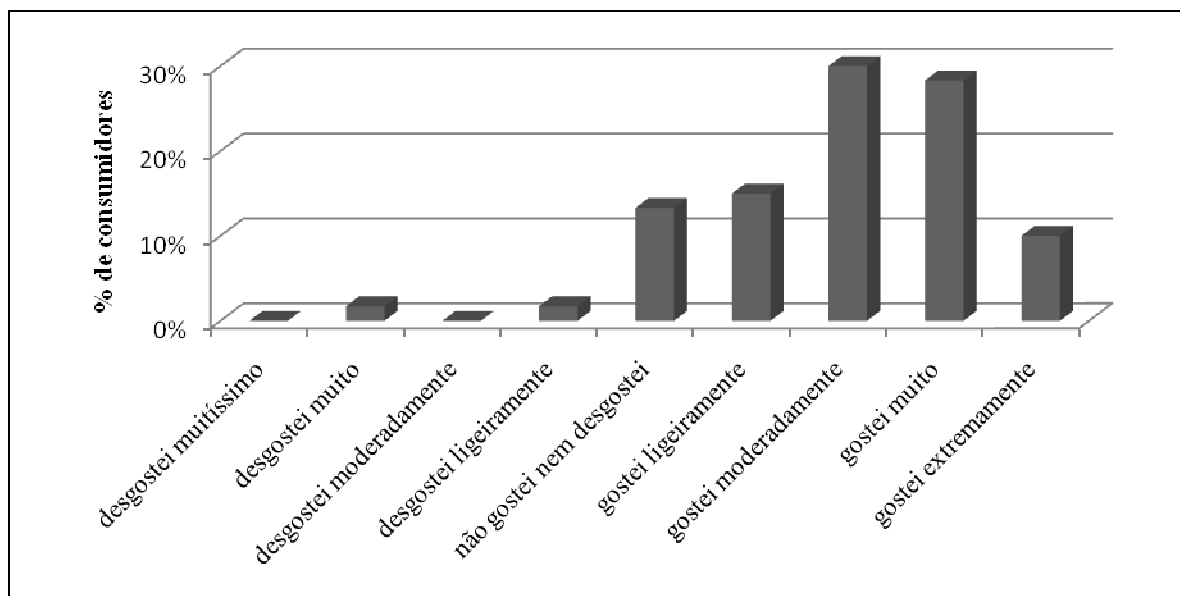
<sup>1</sup> Médias das respostas de 60 provadores; <sup>2</sup> Escala hedônica estruturada de 9 pontos, onde: (1) desgostei extremamente, (2) desgostei muito, (3) desgostei regularmente, (4) desgostei ligeiramente, (5) nem gostei nem desgostei, (6) gostei ligeiramente, (7) gostei regularmente, (8) gostei moderadamente, (9) gostei extremamente.

A média geral não é um bom parâmetro para representar os resultados obtidos, porque notas discrepantes podem diminuir ou aumentar a média global. A distribuição das notas também pode explicar melhor porque as médias obtidas não foram tão altas, mesmo com uma alta frequência de notas altas, posto que houve uma pequena porcentagem de notas baixas.

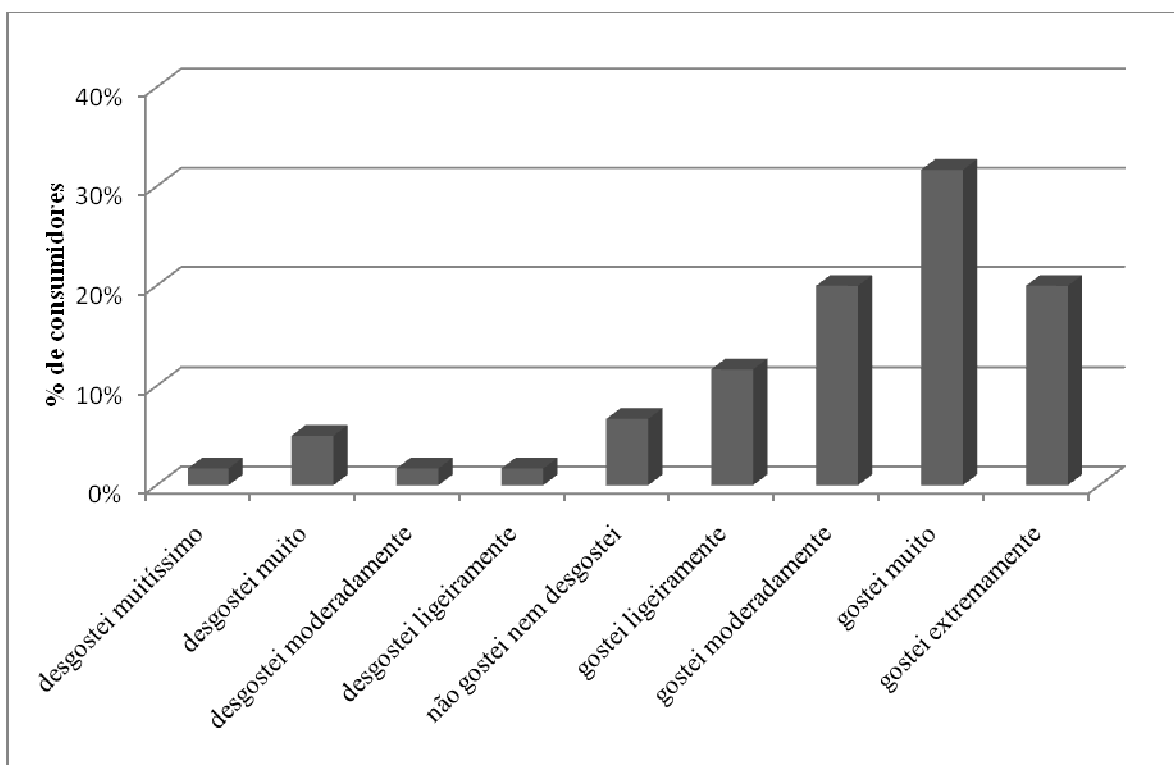
Os histogramas apresentados nas Figuras 36, 37 e 38 evidenciam o percentual de cada um dos nove pontos da escala de aceitação para cada um dos atributos avaliados.



**Figura 36:** Aceitabilidade da bebida láctea *light* com relação ao aroma

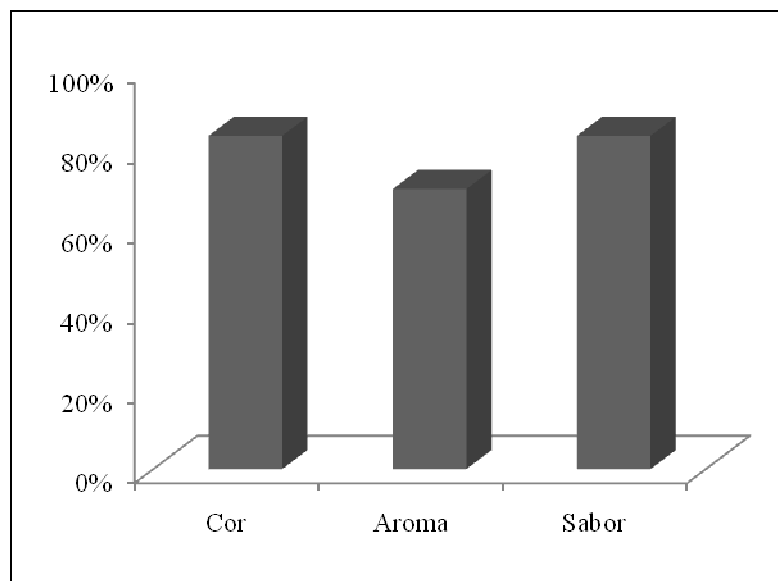


**Figura 37:** Aceitabilidade da bebida láctea *light* com relação à cor



**Figura 38:** Aceitabilidade da bebida láctea *light* com relação ao sabor

Os resultados verificados nos testes de aceitabilidade indicaram uma boa aceitabilidade da bebida láctea em relação a todos os atributos avaliados, conforme pode ser observado na Figura 39.



**Figura 39:** Aceitação global por atributo da bebida láctea *light*

Com relação ao aroma, 70% dos consumidores gostaram do produto, dentre os quais 28,3% gostaram moderadamente, 25% gostaram muito, 10% gostaram ligeiramente e 6,7% gostaram extremamente; 11,7% dos consumidores não gostaram nem desgostaram; entre os 18,3% dos provadores que não gostaram do iogurte, 8,3% desgostaram ligeiramente, 5,0% desgostaram muito, 3,3% desgostaram extremamente e 1,7% desgostaram moderadamente (Figura 22).

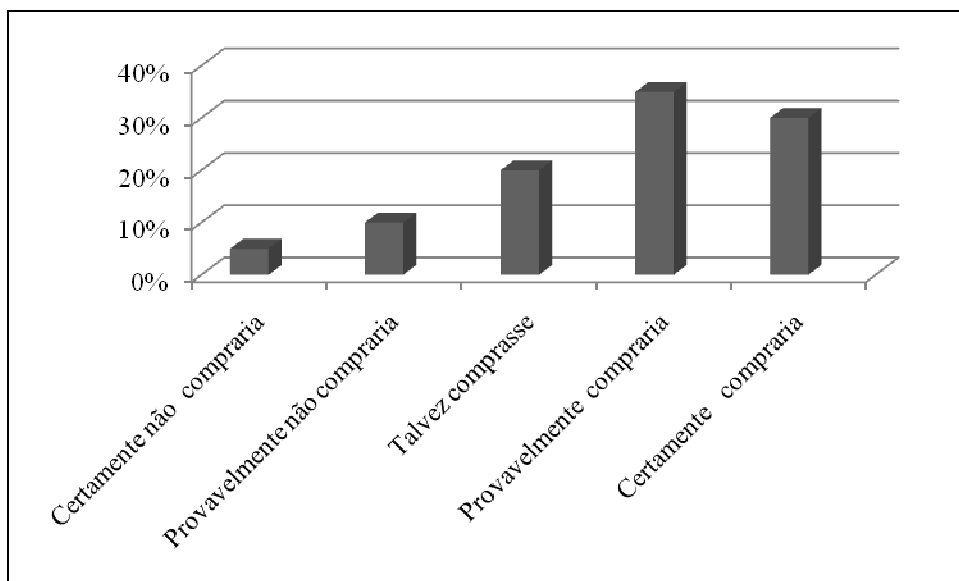
O atributo cor teve uma aceitação global de 83,3%, de forma que 30% dos consumidores gostaram moderadamente, 28,3% gostaram muito, 15% gostaram ligeiramente e 10% gostaram extremamente; 13,3% dos consumidores enquadraram-se na categoria não gostei nem desgostei e somente 3,3% dos provadores não gostaram do produto, sendo que 1,7% desgostaram ligeiramente e 1,7% desgostaram muito.

E finalmente em relação ao sabor, 83,4% dos consumidores gostaram do produto, destes 31,7% gostaram muito, 20% gostaram extremamente, 20% gostaram moderadamente e 11,7% gostaram ligeiramente; apenas 6,7% dos provadores não gostaram nem desgostaram enquanto que 10,1% dos consumidores não gostaram da bebida láctea *light*, destes, 5% desgostaram muito e nas categorias desgostei ligeiramente, desgostei moderadamente e desgostei extremamente enquadraram-se 1,7% dos consumidores, em cada categoria.

A média obtida no teste de intenção de compra para a amostra de bebida láctea *light* foi igual a  $3,8 \pm 1,1$ .

O histograma apresentado na Figuras 40 evidencia o percentual de cada um dos cinco pontos da escala de intenção de compra para a amostra avaliada.





**Figura 40:** Intenção de compra dos consumidores em relação à bebida láctea

Conforme amplamente discutido neste trabalho, os consumidores estão mais preocupados em comprar alimentos para necessidades específicas de saúde, dentre as quais se pode citar a redução do risco de doenças, melhorar a imunidade e controlar o nível de consumo de energia.

O aumento da preocupação com o excesso de peso tem sido relacionado com o aumento da demanda de lácteos para esse fim (BRANDÃO E FONTES, 2009).

Com a adição de 20% de suco concentrado de melancia (31° Brix) ao iogurte *light*, obteve-se um produto final rico em licopeno, com aproximadamente 3,4 mg por porção. Com base nos teores de carboidratos encontrados na literatura para o suco de melancia *in natura*, pode-se estimar um acréscimo aproximado de 6 g de açúcares por porção, provenientes do suco concentrado. As porções referem-se a 170g de iogurte.

De acordo com a legislação, produtos *lights* são aqueles que apresentam redução de, no mínimo, 25% de um de seus ingredientes, como açúcar, gordura, etc. Mesmo com um acréscimo no conteúdo de carboidratos, o produto obtido ainda tem quantidade reduzida de gordura, podendo, portanto, ainda ser classificado como *light*.

Além disso, em função da quantidade final de licopeno, o produto também pode ter um “apelo de funcional”, embora não possa ser classificado como alimento funcional por não ter sido avaliado conforme a legislação da ANVISA sobre alimentos funcionais (Resolução nº 18, de 30 de abril de 1999).

## 5 CONCLUSÕES

- É possível concentrar o licopeno de suco de melancia através dos processos de microfiltração e osmose inversa, aumentando a capacidade antioxidante do suco concentrado obtido.
- Foi observado que o processo de microfiltração com membrana cerâmica apresentou um fluxo médio aproximadamente 2,5 vezes maior do que o processo realizado com uma membrana polimérica. Em relação à geometria do módulo, a configuração tubular apresentou resultados de fluxo permeado e concentração de licopeno superiores aos obtidos na microfiltração com membrana plana do mesmo material.
- A velocidade tangencial e a temperatura exerceram influência positiva no fluxo permeado médio nos processos de microfiltração. A variável que exerceu influência no aumento da concentração de licopeno e da atividade antioxidante do suco retido foi a velocidade tangencial.
- Foi possível concentrar suco de melancia por osmose inversa. O teor de licopeno e a atividade antioxidante aumentaram, porém, em menor proporção que o fator de concentração de sólidos solúveis.
- O encapsulamento do suco retido no processo de microfiltração resultou em um aumento no teor de licopeno e na atividade antioxidante das microcápsulas. Porém, as condições estudadas não foram eficientes em proteger o licopeno e manter a capacidade antioxidante durante o período de armazenamento.
- O suco concentrado por osmose inversa e reconstituído não apresentou diferença sensorial significativa quando comparado com o suco integral, o que mostra que os avaliadores não perceberam que o suco de melancia tinha sido submetido ao processo de concentração.
- A bebida formulada com iogurte e suco concentrado de melancia por osmose inversa teve boa aceitação pelos consumidores em relação aos atributos cor, aroma e sabor.

## 6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Realizar um teste de consumidores com o suco retido pela microfiltração do suco de melancia.
- Identificar por HPLC-MS o perfil de carotenóides dos produtos obtidos nos processos de microfiltração, osmose inversa e microencapsulamento do suco de melancia, os comparado com o do suco fresco integral.
- Testar a eficiência de membranas de menor de porosidade (ultrafiltração e nanofiltração) na concentração do licopeno do suco de melancia.
- Acoplar a osmose inversa ao processo de evaporação osmótica para obtenção de um produto mais concentrado.
- Avaliar outras condições de microencapsulamento em função do tipo e quantidade de material de parede e temperaturas de entrada e saída do ar de secagem visando melhorar a retenção do licopeno, assim como, a capacidade antioxidante do produto durante o armazenamento.
- Caracterizar a bebida láctea formulada com suco de melancia concentrado quanto a sua composição química.
- Testar novas concentrações de suco concentrado na elaboração da bebida láctea, assim como realizar o acompanhamento da estabilidade do licopeno e a manutenção da capacidade antioxidante neste produto mantido sob refrigeração.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABURTO, L. C.; TAVARES, D. Q.; MARTUCCI, E. T. Microencapsulação de óleo essencial de laranja. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.18, n. 1, 1998.

AGARWAL, S.; RAO, A. V. Tomato lycopene and its role in human health and chronic diseases. **Canadian Medical Association Journal**, v. 163, n. 6, 2000.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA.ANVISA. (Brasil). Resolução nº 18, de 30 de abril de 1999. Aprova o Regulamento Técnico que estabelece as diretrizes básicas para análise e comprovação de propriedades funcionais e ou de saúde alegadas em rotulagem de alimentos, constante do anexo desta portaria. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*. Brasília, 03 maio. 1999. **Disponível em:** <<http://e-legis.anvisa.gov.br/leisref/public/showAct.php?id=109&modeword=>>. **Acesso em: 22 jun.2008. 1999a.**

\_\_\_\_\_. Portaria nº 398, de 30 de abril de 1999. Regulamento Técnico que Estabelece as Diretrizes Básicas para Análise e Comprovação de Propriedades Funcionais e ou de Saúde Alegadas em Rotulagem de Alimentos. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*. Brasília, 03 maio. 1999. **Disponível em:** <[http://e-legis.bvs.br/leisref/public/showAct.php?id=11297&mode=PRINT\\_VERSION](http://e-legis.bvs.br/leisref/public/showAct.php?id=11297&mode=PRINT_VERSION)>. **Acesso em: 24 jun.2008. 1999b.**

\_\_\_\_\_. Alimentos. Comissões e Grupos de Trabalho. Comissão Tecnocientífica de Assessoramento em Alimentos Funcionais e Novos Alimentos. Alimentos com Alegações de Propriedades Funcionais e ou de Saúde, Novos Alimentos/Ingredientes, Substâncias Bioativas e Probióticos. Atualizado em julho de 2008. IX-Lista das Alegações de Propriedades Funcionais Aprovadas. **Disponível em:** <[http://www.anvisa.gov.br/alimentos/comissoes/tecno\\_lista\\_alega.htm](http://www.anvisa.gov.br/alimentos/comissoes/tecno_lista_alega.htm)>. **Acesso em: 1 dezembro de 2008.**

ALMEIDA, D. P. F. A Cultura da melancia. Porto: Universidade do Porto, 2003. **Disponível em:** <<http://dalmeida.com/hortnet/melancia.pdf>>. **Acesso em: 10 de abril de 2007.**

AMBRÓSIO, C. L. B.; CAMPOS, F. A. C. S.; FARO, Z. P. Carotenóides como alternativa contra a hipovitaminose A. **Revista de Nutrição**, v. 19, n. 2, p.:233-243, 2006.

AMERINE, M.A.; PANGBORN, R.M.; ROESSLER, E.B. **Principles of sensory evaluation of food**. Academic Press, Orlando, Florida. 1965. 602 p.

ANDRADE, J. S.; ARAGÃO, C. G.; GALEAZZI, M. A. M.; FERREIRA, S. A. N.; Changes in concentration of total vitamin C during maturation and ripening of camu-camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K) Mc Vaugh). Fruits cultivated in the upland of Brazilian (Central Amazon), **Acta Horticulturae**, v. 370, p. 177-180, 1995.

A.O.A.C ( Association of Official Analytical Chemists ). **Official methods of analysis**, 17 ed. Washington D.C.: AOAC, 2000.

ARAÚJO, J. L. P.; CORREIA, R. C., MARINHO, L. M.; RAMALHO, P. J. P. **Estudo da composição dos custos e da viabilidade econômica do sistema de produção de melancia na região do submédio São Francisco**. Disponível em: < [http://www.cnpat.embrapa.br/sbsp/anais/Trab\\_Format\\_PDF/32.PDF](http://www.cnpat.embrapa.br/sbsp/anais/Trab_Format_PDF/32.PDF)>. Acesso em fevereiro de 2009.

BÁRCEMAS, M. E.; ROSELL, C. M. Different approaches for improving the quality and extending the shelf life of the partially baked bread: low temperature and HPMC addition. **Journal of Food Engineering**, v. 72, p. 92-99, 2006.

BECKER, E. M.; NISSEN, L. R. & SKIBSTED, L. H. **Antioxidant evaluation protocols: Food quality or health effects review**. **European Food Research and Technology**, v. 219, p. 561-571, 2004.

BIANCHI, M. L. P.; ANTUNES, L. M. G. Radicais livres e os principais antioxidantes da dieta. **Revista de Nutrição**, v. 12, n. 2, p. 123-130, 1999.

BINDL, E.; LANG, W.; RAU, W. **Planta** 94, p. 156-174, 1970.

BOILEAU, T. W.; BOILEAU, A.M.; ERDMAN JR, J. W. Bioavailability of all-trans and cis-isomers of lycopene. **Experimental Biology and Medicine**. 2002; 227(10):914-9.

BRAMLEY, P. M. Is lycopene beneficial to human health? **Phytochemistry**, v. 54, n. 3, p. 233-236, 2000.

BRANDÃO,S. C. C; FONTES, A. C. L. Tendências na fabricação de lácteos light e diet. Disponível em: [www.fepale.org/lechesalud/documentos/5SebastiaoBrandao.pdf](http://www.fepale.org/lechesalud/documentos/5SebastiaoBrandao.pdf). Acesso em julho 2009.

BRUM, L. **Melancia amarela, abóbora verde-e-amarela, batata-doce laranja: saiba como pesquisadores brasileiros deram cores tão diferentes a essas frutas e legumes**. Ciência hoje das crianças, 10 de março de 2006. Disponível em: < <http://cienciahoje.uol.com.br/4261> >. Acesso em: 8 de junho de 2009.

CARNEIRO, L. C. **Utilização da microfiltração no processamento de suco de abacaxi (ananás comosus L., Merr cv. Smooth Cayenne)**. 2002. 119 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). DTA/UFRRJ, Seropédica, 2002.

CASTELLANE, P. D.; CORTEZ, G. E. P.. **A cultura da melancia**. Jaboticabal. Funep, 1995. 64 p.

CLARETO, S. S. **Estudo da concentração de licopeno de polpa de goiaba utilizando o processo de microfiltração**. 2007. 173 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Unicamp, Campinas. 2007.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-Colheita de Frutas e Hortaliças: glossário**. 1. ed. Lavras: Editora de UFLA, 2006. v. 1000. 256 p.

CHEN, H.; TAPPEL, A. L. Protection of multiple antioxidants against heme protein oxidation and lipidic peroxidation induced by CBrCl<sub>3</sub> in liver, lung, heart, and spleen. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v.44, p.854-858, 1996.

CHERYAN, M. **Ultrafiltration and microfiltration handbook**. USA: Technomic Publishing. 1998. 517 p.

CHU, B.; YU, W.; ZHAO, Y.; LIU, X. Study on microencapsulation of lycopene by spray drying. **Journal of food engineering**, n.76, p. 664-669, 2006.

CLINTON, S. K. Lycopene: chemistry, biology, and implications for human health and disease. **Nutrition Reviews**, v. 56, p. 35-51, 1998.

COCERO, M. J. MARTÍN, A.; MATEA, F. VARONA, S. Encapsulation and co-precipitation processes with supercritical fluids: fundamentals and applications. **The Journal of Supercritical Fluids**, v.47, p. 546-555, 2009.

COLLINS, J. K.; WU, G.; PERKINS-VEAZIE, P; SPEARS, K.; CLAYPOOL, P. L.; BAKER, R. A.; CLEVIDENCE, B. A. Watermelon consumption increases plasma arginine concentrations. **Nutrition**, v. 23, p. 261-266, 2007.

COUTO, D. S. **Avaliação da qualidade de suco de abacaxi (Ananas comosus L. merr cv Smooth Cayenne) concentrado por osmose inversa**. 2008. 60 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). DTA/UFRRJ, Seropédica, 2008.

CRUZ, A. P. G. **Avaliação da influência da extração e microfiltração do açaí sobre sua composição e atividade antioxidante**. 2008. 88 f. Dissertação (Mestrado em Bioquímica) – IQ/UFRJ, Rio de Janeiro, 2008.

DEGÁSPARI, C. H.; WASZCZYNSKYJ, N. Propriedades Antioxidantes de compostos fenólicos. **Revista Visão Acadêmica**. v.5, p.33-40, 2004.

DJURIC, Z.; POWELL, L. C. Antioxidant capacity of lycopene-containing foods. **International Journal of Food Science and Nutrition**, v. 52, p. 143-149, 2001.

DI MASCIO, P.; KAISER, S.; SIES, H. Lycopene as the most efficient biological carotenoid singlet oxygen quencher. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v.274, n.2, p.532-538, 1989.

DEGASPARI, C. H.; WASZCZYNSKYJ, N. Propriedades antioxidantes de compostos fenólicos. **Visão Acadêmica**, Curitiba, v. 5, n. 1, p. 33-40, 2004.

DUTCOSKY, S. D. **Análise Sensorial de Alimentos**. 1ª Ed. Curitiba: Champagnat. 1996.

EDWARDS, A. J.; VINYARD, B. T.; WILEY, E. R.; BROWN, E. D.; COLLINS, J. K.; PERKINS-VEAZIE, P.; BAKER, R. A.; CLEVIDENCE, B. A. Consumption of watermelon juice increases plasma concentrations of lycopene and  $\beta$ -carotene in humans. **The Journal of Nutrition**, v. 133, p.1043-1050, 2003.

EMBRAPA. (1998). **A cultura da melancia**. 2. ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007, 85 p. (Coleção Plantar, v.57)

EMBRAPA. Disponível em: < <http://www.embrapa.br/imprensa/noticias/2005/folder.2005-06-01.2796884275/foldernoticia.2005-06-06.1008808158/noticia.2005-06-07.2689408222> >. Acesso em 25 de novembro de 2008.

EMBRAPA (2006). **Cultivo da melancia**: composição química. Embrapa Semi-Árido. Disponível em: < [http://www.cpatas.embrapa.br/sistema\\_producao/spmelancia/quimica.htm](http://www.cpatas.embrapa.br/sistema_producao/spmelancia/quimica.htm). Acesso em 20 de maio de 2009.

ERDMAN JR, J. W.; FORD, N. A.; LINDSHIELD, B. L. Are the health attributes of lycopene related to its antioxidant function? **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 483, n. 2, p. 229-235, 2009.

FAO faostat. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/> faostat/servlet/XteServle3>. Acesso em: julho de 2007.

FARIA, E. V.; YOTSUYANAGI, K. **Técnicas de análise sensorial**. Campinas: ITAL/LAFISE, 2002, 116 p.

FAVARO-TRINDADE, C. S.; PINHO, S. C.; ROCHA, G. A. Revisão: Microencapsulação de ingredientes alimentícios. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 11, n. 2, p. 103-112, 2008.

FISH, W. W.; PERKINS-VEAZIE, P.; COLLINS, J.K. A quantitative assay for lycopene that utilizes reduced volumes of organic solvents. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 15, p. 309-317, 2002.

FERREIRA, A. L. A.; MATSUBARA, L. S. Radicais livres: conceitos, doenças relacionadas, sistema de defesa e estresse oxidativo. **Revista da Associação Médica Brasileira**, v.43, n.1, p.61-68, 1997.

FRANCO, R. C. **Análise comparativa de legislações referentes aos alimentos funcionais**. 2007. 157 f. Dissertação (Mestrado em Nutrição Humana e Aplicada). USP, São Paulo, 2007.

FUCHS, M.; TURCHIULI, C., BOHIN, M.; CUVELIER, M. E.; ORDONNAUD, C.; PEYRAT-MAILLARD, M.N.; DUMOULIN, E. [Encapsulation of oil in powder using spray drying and fluidised bed agglomeration](#). **Journal of Food Engineering**, v. 75, n. 1, p. 27-35, 2006.

GALAVERNA, G.; SILVESTRO, G. D.; CASSANO, A.; SFORZA, S.; DOSSENA, A.; DRIOLI, E.; MARCHELLI, R. A new integrated membrane processes for the production of concentrated blood orange juice: Effect on bioactive compounds and antioxidant activity. **Food Chemistry**, v.106, p. 1021-1030, 2008.

GARCÍA, A.; ÁLVAREZ, S.; RIERA, F.; ÁLVAREZ, R.; COCA, J. Water and hexane permeate flux through organic and ceramic membranes. Effect of pretreatment on hexane permeate flux. **Journal of membrane science**, v. 253, p. 139-147, 2005.

GEORGÉ, S.; BRAT, P; ALTER, P. & AMIOT, M.J. Rapid determination of polyphenols and vitamin C in plant-derived products **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, p. 1370-1373, 2005.

GEY, K. F. Vitamins E plus C and interacting conutrients required for optimal health. **Biofactors**, v.7, n. ½, p. 113-174, 1998.

GIRARD, B.; FUKUMOTO, L. R. Membrane processing of fruit juice and beverages: a review. **Critical Reviews and Food Science and Nutrition**, v. 40, n. 2, p. 91-157, 2000.



GHARSALLAOUI, A.; ROUDAUT, G.; CHAMBIN, O.; VOILLEY A.; SAUREL, R. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. **Food Research International**, v.40, p. 1107–1121, 2007

GOODWIN, T. W. **Chemistry and biochemistry of plant pigments**. 2<sup>a</sup> ed. Inglaterra: Academic Press, v.1. 1976a.

GOODWIN, T. W. **Chemistry and biochemistry of plant pigments**. 2<sup>a</sup> ed. Inglaterra: Academic Press, v.2. 1976b.

GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G. Stability of lycopene during spray drying of tomato pulp. **LWT - Food Science and Technology**, v.38, n.5, p. 479-487, 2005.

GROSS, J. **Pigments in fruits**. Inglaterra: Academic Press, 1987. 303 p.

HABERT, A. C.; BORGES, C. P.; NÓBREGA, R. **Processos de separação por membranas**. Rio de Janeiro, e-papers, 2006.

GUARATINI, T.; MEDEIROS, M. H. G.; COLEPICOLO, P. Antioxidantes na manutenção do equilíbrio redox. **Química Nova**, v.30, n.1, p. 206-213, 2007.

HOLDEN, J. M.; ELDRIDGE, A. L.; BEECHER, G. R.; BUZZARD, I. M.; BHAGWAT, S. A.; DAVIS, C. S.; DOUGLASS, L.W.; GEBHARDT, S. E. HAYTOWITZ, D. B.; SCHAKEL, S. Carotenoid content of U.S. foods: an update of the database. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.12, p. 169-196, 1999.

HUANG, D.; OU, B.; PRIOR, R. L. The chemistry behind antioxidant capacity assays – review. **Journal Agriculture and Food Chemistry**, v. 53, p. 1841-1856, 2005.

HURST, W. J. **Methods of analysis for functional foods and nutraceuticals**. EUA: CRC, 2002.

IBGE. **Produção agrícola municipal – Rio de Janeiro** – Sistema IBGE de recuperação automática – SIDRA. Disponível em: <<http://sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em 06 de maio de 2008.

JACKSON, L. S.; LEE, K. Microencapsulation and the food industry. **Lebensmittel-Wissenschaft Technologie Food Science**, v. 24, n. 4, p. 289-297, 1991.

KALIORA, A. C.; DEDOISSIS, G. V. Z.; SCHMIDT, H. Dietary antioxidants in preventing atherogenesis. **Atherosclerosis**, v. 187, n. 1, p.1-17, 2006.

KLAYPRADIT, W.; HUANG, Y. Fish oil encapsulation with chitosan using ultrasonic atomizer. **LWT**, v. 41, p. 1133-1139, 2008.

KOROKNAI, B.; CSANÁDI, Z.; GUBICZA, L.; BÉLAFI-BAKÓ, Preservation of antioxidant capacity and flux enhancement in concentration of red fruit juices by membrane processes. **Desalination**, v. 228, p. 295-301, 2008.

KRINSKY, N. I; JOHNSON, E. J. Carotenoid actions and their relation to health and disease, **Molecular Aspects of Medicine**, v. 26, p. 459–516, 2005.

KRIS-ETHERTON, P.M.; HECKER, K.D.; BONANOME, A.; COVAL, S.M.; BINKOSKI, A. E.; HILPERT, K.F. Bioactive compounds in foods: heir role in prevention of cardiovascular disease and cancer. **American Journal of Medicine**, v. 113 (9B), p. 71S – 88 S, 2002.

KUSKOSK, E. M. et al, Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidant en pulpa de frutos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 4, p. 726-732, 2005.

LAGUERRE, M.; LECOMTE, J.; VILLENEUVE, P. Evaluation of the ability of antioxidants to counteract lipid oxidation: Existing methods, new trends and challenges. **Progress in Lipid Research**, v. 46, p.244–282, 2007.

LAJOLO, F. M. **Alimentos funcionais: uma visão geral**. In: DE ANGELIS, R.C. Importância de alimentos vegetais na produção da saúde: fisiologia da nutrição protetora e preventiva de enfermidades degenerativas. São Paulo: Atheneu, 2001.

LEITE, J. T.C.; MURR, F.E.X.; PARK, K.J. Transições de fases em alimentos: influência no processamento e armazenagem. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**. Campina Grande, v. 7, n.1, p.83-96, 2005.

MAGALHÃES NETO, F. Influência da atividade de água na temperatura vítrea. In; JARDIM, D.C.P; GERMER, S.P.M. **Atividade de água em alimentos**. Campinas. Ital, 1997, pag. 4-14.

MARTINS, M. J.; NEGRÃO, M. R. Watermelon: the value of higher plasma arginine concentrations. **Nutrition**, v. 23, p. 517, 2007.

MATIOLI, G.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Licopeno encapsulado em goma arábica e maltodextrina: estudo da estabilidade. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 5, p. 197-203, 2002.

MATIOLI, G.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Microencapsulação do licopeno com ciclodextrinas. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, v. 23, p. 102-105, 2003.

MATSUURA, T.; BAXTER, A. G.; SOURIRAJAN, S. Studies on reverse osmosis for concentration of fruit juices. **Journal of Food Science**, v. 39, 1974.

MATSUURA, F.C.A.U.; CARDOSO, R.L.; FOLEGATTI, M.I.S.; OLIVEIRA, J.R.P.; OLIVEIRA, J. A. B.; SANTOS, D. B. Avaliações físico-químicas em frutos de diferentes genótipos de acerola (*Malpighia punicifolia* L.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 23, n. 3, p. 602-606, 2001.

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

MEILGAARD, M.; CIVILLE, G.V.; CARR, B. T. **Sensory Evaluation Techniques**, 3<sup>rd</sup> edition, CRC Press Inc, Boca Raton, FL, 1999. 387 p.

MEIO FILTRANTE. Membranas: meio filtrante de tecnologia avançada. Disponível em: <<http://www.meiofiltrante.com.br/materias.asp?action=detalhe&id=265>>. Acesso em 03 de julho de 2009.

MELÉNDEZ-MARTÍNEZ, A.; VICARIO, I. M.; HEREDIA, F. J. Pigmentos carotenoides: consideraciones estructurales y fisicoquímicas. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v. 57, n. 2, p. 109-117, 2007.

MICHAUD, D. S.; FESKANICH, D.; RIMM, E. B.; COLDITZ, G. A.; SPEIZER, F. E.; WILLETT, W. C.; GIOVANNUCCI, E.. Intake of specific carotenoids and risk of lung cancer in 2 prospective US cohorts. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 72, n. 4, p. 990-997, 2000.

MIEBACH, M. E.; BEHSNILIAN, D.; REGIER, M.; SCHUCHMANN, H. P. Thermal processing of carrots: lycopene stability and isomerisation with regard to antioxidant potential. **Food Research International**, v. 38, p. 1103-1108, 2005.

MIGUEL, A. C. A.; DIAS, J. R. P. S.; SPOTO, M. H. F. Efeito do cloreto de cálcio na qualidade de melancias minimamente processadas. **Horticultura Brasileira**, v.. 25, p. 442-446, 2007.

MIRANDA, K. F. **Estudo da concentração de licopeno por ultrafiltração a partir de suco de melancia**. 2005. 149 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Unicamp, Campinas. 2005.

MORAES, V.H.F. **Alegações sobre as propriedades funcionais do licopeno: um estudo com consumidores do município de Campinas/SP**. 2007. 118p. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

MORITZ, B.; TRAMONTE, V. L. C. Biodisponibilidade do licopeno. **Revista de Nutrição**, v. 19, n. 2, p. 265-273, 2006.

MORGAN, R. C. The Carotenoids of Queensland Fruits -Carotenes of the Watermelon (*Citrullus vulgaris*). **Journal of food science**, v.32, n.3, p. 275-278, 2006.

MULDER, M. **Basic principles of membrane technology**. Kluwer Academic Publishers, 1991. 363 p.

MUÑOZ, A. M.; CIVILLE, G. V.; CARR, B. T. **Sensory evaluation in quality control**. New York: Von Nostrand Reinhold, 1992 p. 240.

NGUYEN, M. L.; SCHWARTZ, S. L. Lycopene: chemical and biological properties. **Food Technology**, v. 53, n. 2, p. 38-45, 1999.

NIIZU, P. Y.; RODRIGUEZ- AMAYA, D. B. A melancia como fonte de licopeno. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 62, n. 3, p. 195-199, 2003.

NUNES, I. L; MERCADANTE, A. Z. Encapsulation of lycopene using spray drier and molecular inclusions processes. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 50, n. 5, p. 893-900, 2007.

OLSON, J. A. Carotenoids and human health. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v. 49, n. 1-S, p. 7-11, 1999.

PALOZZA, P.; KRINSKY, N.I. Antioxidant effects of carotenoids in vivo and in vitro: An overview. **Methods in Enzymology**, v. 213, p. 403-420, 1992.

PERKINS-VEAZIE, P.; COLLINS, J.K.; PAIR, S.D.; ROBERTS, W. Lycopene content differs among red-fleshed watermelon cultivars. **Journal of Science and Food Agriculture**, v.81, n.10, p. 983-987, 2001.

PERKINS-VEAZIE, P.; COLLINS, J.K.; PAIR, S.D. Watermelon packs a powerful lycopene punch, **Agricultural Research magazine**, 2002. Disponível em: <<http://ars.usda.gov/IS/AR/archive/jun02/lyco0602.htm>>. Acesso em: 05 de abril de 2007.

PORTER, M. C. Microfiltration In: PORTER, M. C (Ed) **Handbook of industrial membrane technology**. New Jersey, Noyes Publications, 1990, p. 62 – 135.

QUEK, S. Y.; CHOK, N.K.; SWEDLUND, P. The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. **Chemical Engineering and Processing**, v. 46, p. 386-392, 2006.

QUIRÓS, A.R.B.; COSTA, H.S. Analysis of carotenoids in vegetable and plasma samples: a review. **Journal of Food and Composition Analysis**, v.19, p.97-111, 2006.

RAO, A. V. and AGARWAL, S. Role of lycopene as anti-oxidant carotenoid in the prevention of chronic diseases: a review. **Nutrition Research**, v. 19, p. 305-323, 1999.

RAO, A. V.; AGARWAL, S. Role of antioxidant lycopene in cancer and heart disease. **Journal of the American College of Nutrition**, v. 19, n. 5, p. 563-569, 2000.

RAO, A. V.; SHEN, H. Effect of low dose lycopene intake on lycopene bioavailability and oxidative stress. **Nutrition Research**.; v. 22, p.1125-1131, 2002.

RE, R.; PELLEGRINI, N.; PROTEGGENTE, A.; PANNALA, A.; YANG, M.; RICE-EVANS, C. Antioxidant activity applying an improved abts radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology & Medicine**, v. 26, n. 9/10, p. 1231–1237, 1999.

RESENDE, G. M.; DIAS, R. C. S. Cultivo da melancia: composição química. Disponível em: [http://www.cpatsa.embrapa.br/sistema\\_producao/spmelancia/quimica.htm](http://www.cpatsa.embrapa.br/sistema_producao/spmelancia/quimica.htm). Acesso em 21 de janeiro de 2009.

RIBEIRO, S. M. R.; QUEIROZ, J. H.; PELÚZO, M. C. G.; COSTA, N. M. B.; MATTA, S. L. P.; QUEIROZ, M. E. L. R. A formação e os efeitos das espécies reativas de oxigênio no meio biológico. **Bioscience Journal**, v. 21, n. 3, p. 133-149, 2005.

RIMANDO, A. M.; PERKINS-VEAZIE, P. M. Determination of citrulline in watermelon

rind. **Journal of Chromatography A**, v. 1078, p. 196-200, 2005.

ROCHA, G. A. **Produção, caracterização, estabilidade e aplicação de microcápsulas de licopeno**. 2009. 93 f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição). Faculdade de Engenharia de Alimentos, Unicamp, Campinas, 2009.

RODRIGUES, R. B. **Aplicação dos processos de separação por membranas para produção de suco clarificado e concentrado de camu camu (*Myrciaria dubia*)**. 2002. 145 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos), FEA, UNICAMP, Campinas 2002.

RODRIGUES, R. B.; CABRAL, L. M. C.; MENEZES, H. C.; RIOS, G. REYNES, M., DORNIER, M. Evaluation of reverse osmosis and osmotic evaporation to concentrate camu-camu juice (*Myrciaria dubia*). **Journal of Food Engineering**, v.63, n.1, p.97-102, 2004

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. **A guide to carotenoid analysis in foods**. EUA: OMNI Reseach, 2001. 64 p.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. **Brazil: A boundy of carotenoid source**, Campinas: Newsletter/ Sight and Life, v. 4, p. 3-9, 2002.

ROESLLER, E. B.; PANGBORN, R. M.; SIDEL, J. L.; STONE, H. Expanded statistical tables for estimating significance in paired-preferences, duo-trio and triangular test. **Journal of Food Science**, v. 43, n. 3, p. 940-943, 1978.

RUFINO, M.S.M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; SAMPAIO, C. G., JIMÉNEZ, J. P.; SAURA-CALIXTO, F. D. Determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical ABTS<sup>+</sup>. **Comunicado Técnico (Embrapa Agroindústria Tropical)**, 2007

SÁ, F.V.; BARBOSA, M. **O leite e os seus produtos**. 5.ed., Clássica, 1990. 520p.

SÁ, I. S.; MATTA, V.M.; CABRAL, L.M.C. Concentração de suco de abacaxi através dos processos com membranas. **Brazilian Journal of Food Techology**, v., p. 53-62, 2003.

SALDANHA, P. H. Mistura de raças mistura de genes. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 50, p. 48-53,1989.

SADLER, G.; DAVIS, J.; DEZMAN, D. Rapid extraction of lycopene and  $\beta$ -carotene from reconstituted tomato paste and pink grapefruit homogenates. **Journal of Food Science**, v. 55, n.5, 1990.

SANTANA, I. **Avaliação do efeito da temperatura no processo de concentração por osmose inversa na qualidade do suco de uva (*Vitis labrusca* L.)**. 2009. 133 f. Dissertação (Mestrado em Ciências de Alimentos) – Instituto de Química – UFRJ.

SCHNEIDER, C. D.; OLIVEIRA, A. R. Radicais livres de oxigênio e exercício: mecanismos de formação e adaptação ao treinamento físico. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 10, n. 4, p. 308-313, 2004.

SHAMI, N. J. I. E.; MOREIRA, E. A. M. Licopeno como agente antioxidante. **Revista de Nutrição**, v. 17, p. 227-236, 2004.

SHI, J.; LE MAGUER, M. Lycopene in tomatoes: chemical and physical properties affected by food processing. **Critical Reviews in Biotechnology**, v. 4, n. 20, p. 293-334, 2000.

SHU, B.; YU, W.; ZHAO, Y.; LIU, X. Study on microencapsulation of lycopene by spray-drying. **Journal of Food Engineering**, v. 76, p. 664-669, 2006.

SILVA, M. F. V. **Efeito de diferentes tratamentos e embalagens nas características da polpa e na determinação dos teores de ácido ascórbico e das antocianinas durante o armazenamento**. 1999. 224 f. Tese (Doutorado). FEA, UNICAMP, Campinas. 1999.

SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, vol 16, p. 144-168, 1965.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE ALIMENTOS FUNCIONAIS. Muito mais que comida. Disponível em: < [http://www.sba.org.br/\\_noticias/200703\\_MaisqueAlimento.htm](http://www.sba.org.br/_noticias/200703_MaisqueAlimento.htm)>. Acesso em 10 de junho de 2009.

STACEWICZ-SAPUNTZAKIS, M.; BOWEN, P. E. Role of lycopene and tomato products in prostate health. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1740, p. 202-205, 2005.

STAHL, W.; SIES, H. Lycopene: a biologically important carotenoid for humans? **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 336, n.1, p. 1-9, 1996.

STAHL, W.; SIES, H. **Carotenoids**: occurrence, biochemical activities, and bioavailability. In: Packer L, Hiramatsu M, Yoshikawa T. Antioxidant food supplements in human health. San Diego: Academic Press; 1999. p. 183-98.

STONE, H.; SIDEL, J. **Sensory evaluation practices**. New York: Academic Press, 1993, p.338.

STRINGHETA, P. C.; OLIVEIRA, T. T.; GOMES, R. C.; AMARAL, M. P. H.; CARVALHO, A. F.; VILELA, M. A. P. Políticas de saúde e alegações de propriedades funcionais e de saúde para alimentos no Brasil. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v.43, n.2, 2007.

TAMINE, A. Y.; ROBINSON, R. K. **Yogurt: science and technology**. Oxford: Pergamon, 1985, 431 p.

UENOJO, M.; JUNIOR, M. R. M.; PASTORE, G. M. Carotenóides: propriedades, aplicações e biotransformação para formação de compostos de aroma. **Química Nova**, v. 30, n. 3, p. 616-622, 2007.

USHIBUKO, F. Y.; WATANABE, A. P.; VIOTTO, L. A. Microfiltration of umbu (*Spondias tuberosa* Arr. Cam.) juice. **Journal of Membrane Science**, v. 288, p. 61-66, 2007.

VAILLANT, F.; MILLAN, P.; O'BRIEN, G.; DORNIER, M.; DECLoux, M.; REYNES, M. Crossflow microfiltration of passion fruit juice after partial enzymatic liquefaction. **Journal of Food Engineering**, v. 42, p. 215-224, 1999.

VALDUGA, E.; LIMA, L.; PRADO, R.; PADILHA, F. F.; TREICHEL, H. Extração, secagem por atomização e microencapsulamento de antocianinas do bagaço da uva "Isabel" (*Vitis labrusca*). **Ciência Agrotécnica**. Lavras, v. 32, p. 1568-154, 2008.

VAN DER BRUGGEN, B.; GEENS, J.; VANDECASTEELE, C. Fluxes and rejections for nanofiltration with solvent stable polymeric membranes in water, ethanol and *n*-hexane. **Chemical Engineering Science**, v.57, n.13, 2002.

VASCONCELOS, S. M. L.; GOULART, M. O. F.; MOURA, J. B. F.; MANFREDINI, V.; BENFATO, M. S.; KUBOTA, L. T. Espécies reativas de oxigênio e de nitrogênio, antioxidantes e marcadores de dano oxidativo em sangue humano: principais métodos analíticos para sua determinação. **Química Nova**, v.30, n. 5, p. 1323-1338, 2007.

XIE, J.; WEI, NG, W. J.; LEE, L. Y.; WANG, C. Encapsulation of protein drugs in biodegradable microparticles by co-axial electrospray. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 317, n. 2, p. 469-476, 2008.



ZAPATA, S. M.; DUFOUR, J. B. Camu-camu *Myrciaria dúbia* (H. B. K. ) Mc. Vaugh: Chemical composition of fruit. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 61, p. 349-351, 1993.

ZECHMEISTER, L.; LERSEN, A. L.; SCHROEDER, W. A.; POLGAR, A.; PAULING, L. Spectral characteristics and configuration of some stereo isomeric carotenoids including prolycopene and pro- $\gamma$ -carotene. **Journal of the American Chemical Society**. v. 65, p. 1940-1941, 1943.

ZULUETA, A.; ESTEVE, M. J.; FRÍGOLA, A. Orac and teac assays comparison to measure the antioxidant capacity of food products. **Food Chemistry**, v.114, n.1, p. 310-316, 2009.