

APLICAÇÃO DE MICRO E ULTRAFILTRAÇÃO NO PROCESSAMENTO DE SUCOS DE FRUTA: REVISÃO

FERNANDA STOFFEL *
ANGELITA DA SILVEIRA MOREIRA **

Esta revisão teve como objetivo relatar as pesquisas que têm sido realizadas sobre a aplicação da tecnologia de separação por membranas, mais especificamente a micro e a ultrafiltração, incluindo o pré-tratamento enzimático no processamento de sucos de frutas. Foi dada ênfase à utilização desses processos na etapa de clarificação e na conservação dos sucos. Estudos sobre a preservação de compostos bioativos durante o processamento de sucos por membranas também foram abordados. Concluiu-se que a utilização de enzimas no pré-tratamento para os processos de separação por membranas apresenta, de maneira geral, resposta positiva nos fluxos de permeado. A aplicação dos processos de micro e ultrafiltração são eficazes na clarificação e na conservação dos sucos de fruta, sendo utilizados com sucesso na retenção de compostos responsáveis pela turbidez dos sucos e resultam em produtos com elevada qualidade sanitária. Na expectativa de preservar nutrientes e compostos bioativos, o processo através de membranas apresenta-se altamente viável, devido ao aproveitamento dos coprodutos (retentado) para a elaboração de produtos com propriedades funcionais. O processamento de sucos mediante membranas, efetivado em baixas temperaturas e com eliminação de diversas etapas frente aos métodos convencionais, apresenta-se como alternativa promissora, refletindo a tendência mundial por processos mais eficazes e tecnologicamente mais avançados.

PALAVRAS-CHAVE: *SUCO DE FRUTAS; CLARIFICAÇÃO; MICROFILTRAÇÃO; ULTRAFILTRAÇÃO; ENZIMAS.*

* Engenheira de Alimentos, Especialista em Tecnologia de Frutas e Hortaliças, Universidade Federal de Pelotas (UFPel), Pelotas, RS (e-mail: fernanda.stoffel@hotmail.com).

** Farmacêutica e Bioquímica, Mestre em Ciências Farmacêuticas, Doutora em Biotecnologia Agrícola, Professora Adjunta, UFPel, Pelotas, RS (e-mail: angelitadasilveiramoreira@gmail.com).

1 INTRODUÇÃO

Os sucos são os derivados mais importantes de várias frutas, sendo bem aceitos pelo seu sabor e propriedades nutritivas. O consumo de sucos de frutas no Brasil mostrou crescimento de 21 % no período de 2002 a 2009 (SEBRAE, 2012).

A preocupação dos consumidores com a alimentação saudável, em virtude do ritmo de vida intenso e consequente redução no tempo dispensado às refeições, têm levado a indústria de alimentos a desenvolver e aprimorar produtos nutritivos, sem conservantes químicos e atributos sensoriais agradáveis. Uma opção existente no mercado são os sucos de frutas, ricos em vitaminas, sais minerais, açúcares e substâncias antioxidantes. Porém, alguns processos de conservação dos sucos podem reduzir substancialmente algumas das características originais das frutas (KASTER, 2009).

A tecnologia de membranas tem sido avaliada como alternativa para reduzir as perdas sensoriais, funcionais e nutricionais que podem ocorrer nos processos comumente utilizados para conservação, clarificação e concentração de sucos de frutas (SÁ, CABRAL e MATTA, 2003; MONTEIRO, 2011; FERREIRA, 2011).

A microfiltração, mais especificamente, vem sendo aplicada na clarificação e redução da carga microbiana de sucos de frutas e bebidas (CARNEIRO *et al.*, 2000; MATTA, CABRAL e SILVA, 2004). A ultrafiltração, além da clarificação de sucos de frutas, tem sido empregada na redução da atividade enzimática em sucos e água de coco (MERÇON *et al.*, 2003; MAGALHÃES *et al.*, 2005).

A clarificação de sucos por microfiltração e ultrafiltração apresenta como fator negativo a diminuição do fluxo de permeado, ao longo do processamento, como decorrência do *fouling*, polarização de concentração e formação da camada de gel (PETRUS, 1997; CHERYAN, 1998). O uso de pré-tratamento da polpa e sucos de frutas com enzimas vem se mostrando método eficaz, uma vez que a hidrólise enzimática eleva significativamente o fluxo de permeado (WHITEHURST e LAW, 2002; SANTIN, 2004; USHIKUBO, 2006).

O objetivo desta revisão foi demonstrar o potencial da tecnologia de filtração por membranas, especialmente a micro e a ultrafiltração, com destaque para os parâmetros de desempenho e o efeito do pré-tratamento com enzimas.

2 SUCOS DE FRUTAS E SEU PROCESSAMENTO

A legislação brasileira define suco ou sumo de frutas como a bebida não fermentada, não concentrada e não diluída, obtida da fruta madura e sã, ou parte do vegetal de origem, por processamento tecnológico adequado, submetida a tratamento que assegure a sua apresentação e conservação até o momento do consumo. O suco não pode conter substâncias estranhas à fruta ou parte do vegetal de sua origem, excetuadas as previstas em legislação específica. É proibida a adição de corantes e aromas artificiais. Os produtos poderão ser adicionados de açúcares na quantidade máxima fixada para cada tipo de suco, observando-se o percentual máximo de dez por cento em peso, calculado em gramas de açúcar por cem gramas de suco, tendo sua denominação acrescida pela designação adoçado (BRASIL, 2009).

O suco poderá ser parcialmente desidratado ou concentrado, devendo ser denominado de suco concentrado. Quando reconstituído, deverá apresentar os teores de sólidos solúveis originais do suco integral, ou o teor de sólidos solúveis mínimo estabelecido nos respectivos padrões de identidade e qualidade para cada tipo de suco. É obrigatório constar a origem do suco utilizado para sua elaboração na rotulagem e se concentrado ou desidratado, sendo opcional o uso da expressão reconstituído (BRASIL, 2009).

Define-se suco tropical como a bebida não fermentada, obtida pela dissolução em água potável ou em suco clarificado de fruta tropical, da polpa de fruta de origem tropical, por meio de processo tecnológico adequado, que deve apresentar cor, aroma e sabor característicos da fruta,

submetida a tratamento que assegure sua apresentação e conservação até o momento do consumo (BRASIL, 2009).

Dependendo das características físico-químicas de cada fruta, seus sucos apresentam diferentes graus de turvação natural. A turbidez e os sedimentos dos sucos são devidos à presença de materiais insolúveis, como fragmentos celulares, provenientes diretamente do tecido polposos, pectinas, amidos ou compostos não perfeitamente dissolvidos. Dependendo do tipo e das exigências do mercado consumidor, a obtenção de sucos de frutas clarificados e totalmente isentos de depósitos se torna necessária (LEA, 1995). No Brasil, o suco de maçã já foi o representante clássico dos sucos clarificados, mas perdeu espaço para produtos menos nobres e de processamento mais simples, como o néctar. Vários novos produtos, baseados em sucos de frutas clarificados, estão sendo lançados no mercado, cuja transparência e homogeneidade são atributos essenciais a serem alcançados apenas mediante a remoção dos sólidos em suspensão. Alguns desses produtos são bebidas, como licor de acerola (NOGUEIRA e VENTURINI FILHO, 2005), águas aromatizadas ou mineralizadas, chás frios com suco clarificado, guloseimas (caldas para sorvetes), essências naturais, molhos de frutas translúcidos, misturas homogeneizadas de polpas de frutas, geleias de frutas e gelatinas (VAILLANT *et al.*, 2001).

O processamento de frutas para a obtenção de polpas, sucos, doces, geleias, frutas desidratadas ou secas representa atividade agroindustrial importante, uma vez que agrega valor econômico à fruta, evitando desperdícios e minimizando as perdas que podem ocorrer durante a comercialização do produto *in natura* (MORAES, 2006).

Os métodos de extração dos sucos de determinada fruta dependem da sua estrutura e porção comestível. Sucos podem ser obtidos por prensagem ou a partir de polpa de fruta. O suco de laranja pode ser extraído mediante compressão em equipamento composto por dois copos em forma de dedos que se interpenetram, comprimindo a laranja inteira. Já o suco de maçã pode ser extraído pela prensagem da polpa de maçã ou prensagem das maçãs cortadas em pedaços (RUTLEDGE, 1997).

Após as etapas preliminares de recepção da matéria-prima, seleção e lavagem, o processamento de sucos de fruta envolve basicamente as etapas de prensagem, inativação de enzimas, refino ou clarificação, desaeração, conservação, envase e armazenamento (VARAN e SUTHERLAND, 1997). A etapa de seleção ocorre manualmente em esteiras rolantes de acordo com o estado sanitário e o estágio de maturação da fruta. Frutos com maturação imprópria (“verdes”), partes florais, frutos amassados e aqueles em estado fitossanitário precário são retirados. Os frutos devem estar maduros de modo que se obtenha o máximo de rendimento e as melhores características de sabor e aroma. As frutas selecionadas e destinadas para a produção do suco são então lavadas com água e solução sanitizante com o objetivo de remover sujidades e reduzir a carga de micro-organismos (SILVA e FERNANDES, 2003). Na etapa da extração, o suco é separado das cascas, fibras, sementes e outras partes não comestíveis em despulpadeiras ou em extratores tipo prensa. Esse processo pode ser associado a tratamento enzimático, visando o aumento do rendimento de extração do suco. Após o despulpamento, o produto é submetido a tratamento térmico para inibir ou minimizar as transformações enzimáticas e reduzir sua carga microbiana. Para frutas sensíveis, usa-se a extração a frio que exige a realização da etapa de inativação enzimática (75 °C a 80 °C/ 15 a 30 s) imediatamente após a extração. Para frutas resistentes pode-se usar a extração a quente (temperatura acima de 65 °C), o que pode aumentar o rendimento de 5 % a 10 % na extração do suco (ROSENTHAL *et al.*, 2003). A etapa de refino ou clarificação dos sucos de fruta consiste principalmente na eliminação do excesso de compostos insolúveis provenientes de polpa. São eliminados na clarificação pectina, amido, gomas, proteínas, lipídeos e ainda compostos como polifenóis que causam a turbidez antes ou depois dos tratamentos de conservação (RUTLEDGE, 1997). Nessa operação são usadas geralmente centrífugas, filtros, ou mesmo despulpadeiras com peneiras de malha bem fina (ROSENTHAL *et al.*, 2003).

A desaeração tem o objetivo de eliminar o oxigênio incorporado ao produto durante as fases

de extração e refino, que provoca alterações de cor, aroma e sabor devido a reações oxidativas (MAIA, OLIVEIRA e GUIMARÃES, 1998; ROSENTHAL *et al.*, 2003).

A conservação do suco pode ser realizada mediante pasteurização com enchimento a quente, em que o suco devidamente pasteurizado é imediatamente enviado para o sistema de enchimento, sendo embalado em temperatura de pasteurização. Outro método de pasteurização pode ser realizado com o produto dentro da embalagem e mergulhado em tanques de imersão em cozedores rotativos, ou em túneis de pasteurização, seguido de resfriamento. Há ainda a conservação química, na qual ocorre a adição de conservantes, geralmente, após o resfriamento do suco pasteurizado. Os aditivos conservantes mais utilizados em sucos de fruta são os ácidos sórbico, benzoico ou seus sais de sódio e potássio, que apresentam maior solubilidade. A conservação pode ser realizada ainda pelo método de acondicionamento asséptico, processo que combina os princípios de esterilização à alta temperatura durante breve período de tempo com métodos de acondicionamento asséptico (ROSENTHAL *et al.*, 2003).

O suco pode ser envasado em embalagens de vidro, poliméricas ou cartonadas. Sucos que foram pasteurizados são armazenados sob refrigeração e os sucos conservados quimicamente ou assepticamente são armazenados em temperatura ambiente (ROSENTHAL *et al.*, 2003; BOBBIO e BOBBIO, 2001).

3 PROCESSOS DE SEPARAÇÃO POR MEMBRANAS

Membrana semi-permeável pode ser definida como barreira seletiva que permite a passagem de alguns componentes de determinada mistura e restringe o transporte de outros (CHERYAN, 1998). Para que ocorra o transporte de uma espécie através de uma membrana é necessária a existência de força motriz agindo sobre a mesma (HABERT, BORGES e NOBREGA, 2006). Em algumas situações, a força motriz se restringe à diferença de concentração de espécies químicas em cada lado da membrana (LEHNINGER, NELSON e COX, 2006).

Nos processos de microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose inversa a força motriz é a pressão. Nos processos de evaporação osmótica e pervaporação a força motriz é a diferença de concentração (RODRIGUES, 2002; HABERT, BORGES e NOBREGA, 2006).

As principais vantagens dos processos de separação por membranas envolvem a economia de energia, pois os processos promovem a separação sem que ocorra mudança de fase, bem como a especificidade e seletividade da membrana. Outra vantagem é que os processos são conduzidos sem a necessidade de se utilizar temperaturas elevadas, podendo ser aplicados no fracionamento de misturas de substâncias termossensíveis. Esses processos apresentam, ainda, a vantagem de serem extremamente simples sob o ponto de vista operacional e em termos de ampliação de escala (HABERT, BORGES e NOBREGA, 2006).

Dois tipos de configuração podem ser utilizados nos processos de separação por membranas: o método de filtração estático (convencional) e a filtração tangencial. No sistema de filtração convencional, o escoamento do fluido (líquido ou gasoso) ocorre de forma perpendicular à superfície da membrana. Isso provoca o depósito de solutos sobre a mesma, sendo necessária interrupção do processo para limpeza ou substituição do filtro. Na filtração tangencial por membranas, o escoamento do fluido é paralelo à superfície da membrana. Devido à alta velocidade, ocorre o arraste dos solutos que tendem a se acumular na superfície, tornando esse processo mais eficiente (CHERYAN, 1998; MULDER, 1996).

As membranas industriais são acomodadas em módulos, que apresentam canais para alimentação e para a remoção do permeado e do concentrado. As principais configurações dos módulos são tubular, espiral, placa e quadro e fibra oca (KASTER, 2009).

A microfiltração e a ultrafiltração encontram-se entre os processos de separação por membranas de maior interesse para a indústria de alimentos (CHERYAN, 1998).

Na microfiltração são utilizadas membranas porosas, com poros na faixa de

5 a 0,05 μm , sendo, portanto, indicada para retenção de materiais em suspensão e emulsões. Como as membranas são relativamente abertas, as pressões empregadas para o transporte são pequenas e dificilmente ultrapassam 2 bar (MULDER, 1996; CHERYAN, 1998; HABERT, BORGES e NOBREGA, 2006). Na indústria de alimentos, a microfiltração é utilizada na clarificação de bebidas e na filtração esterilizante de soluções sensíveis ao calor devido à sua excelente retenção de micro-organismos (CARNEIRO *et al.*, 2000; MATTA, CABRAL e SILVA, 2004).

As membranas de ultrafiltração, normalmente utilizadas na separação de macromoléculas, são especificadas por meio da massa molar de corte (MMC) ou *cut off*, na faixa de 50 a 3 nm e a pressão empregada varia de 2 a 10 bar (RODRIGUES, 2002; HABERT, BORGES e NOBREGA, 2006). Aplica-se a ultrafiltração na fabricação de queijos e recuperação de proteínas do soro em indústrias de laticínios, na clarificação de sucos de fruta, vinho e cerveja e na tecnologia de lipídeos (HABERT, BORGES e NOBREGA, 2006).

Não são observadas diferenças significativas entre os processos de microfiltração e ultrafiltração, a não ser pelo menor diâmetro de poros das membranas de ultrafiltração e maior pressão normalmente utilizada para se promover a separação ou concentração de macromoléculas (PETRUS, 1997).

3.1 FENÔMENOS ENVOLVIDOS NO PROCESSO

Nos primeiros instantes do processo de filtração por membranas ocorre redução importante no fluxo do permeado, atribuída à associação de três fenômenos distintos e interligados que limitam o transporte de solvente: a polarização por concentração, a formação de camada de gel (ou camada polarizada) e o *fouling* (PETRUS, 1997).

A formação da polarização por concentração ocorre porque há a criação de gradiente de concentração entre os sólidos na vizinhança imediata da membrana e a da solução (PETRUS, 1997).

Segundo Cheryan (1998), quando a concentração dos solutos na interface aumenta a ponto de depositar uma camada na superfície da membrana tem-se a formação da camada de gel, que oferece resistência adicional ao fluxo. Essa camada dinâmica pode ser revertida alterando-se as condições operacionais (por exemplo, aumentando a velocidade tangencial, diminuindo a pressão ou a concentração da alimentação).

O *fouling* ocorre quanto há deposição e acúmulo de componentes da alimentação na superfície e/ou dentro dos poros da membrana de forma irreversível em relação à alteração das condições operacionais (por adsorção ou bloqueio físico dos poros). A recuperação do valor de fluxo só ocorre com a limpeza química da membrana (CHERYAN, 1998) ou pela troca da mesma.

Para diminuir os efeitos dos fenômenos que levam à diminuição do fluxo de permeado deve-se efetuar o controle das condições operacionais, como temperatura, concentração da solução a ser separada, velocidade dos fluidos e pressão (CHERYAN, 1998). O estabelecimento desses controles não se destaca apenas pelo aspecto econômico, mas para evitar alterações indesejáveis na qualidade nutricional e/ou sensorial dos produtos (PETRUS, 1997).

3.2 PARÂMETROS DE CONTROLE DE PROCESSO E DESEMPENHO DA MEMBRANA

Para a análise do desempenho e eficiência do processo de separação por membranas são fundamentais os seguintes parâmetros (RENNER e SALAM, 1991; USHIKUBO, 2006; KASTER, 2009):

- Fluxo de permeado (J): definido pela quantidade de permeado (em massa ou volume) obtida por área de membrana e por tempo, expresso pela equação: $J = m_p / t \cdot A_p$, em que m_p corresponde a massa de permeado obtida no tempo t , e a A_p à área de permeação da membrana.

- Pressão transmembrana (P_T): definida pelo gradiente de pressão entre os lados de

retentado e do permeado da membrana, podendo ser determinada pela equação: $P_T = P_R - P_P$, em que P_R e P_P são, respectivamente, as pressões nas correntes do retentado e do permeado.

- Coeficiente de retenção (R): oferece medida quantitativa da capacidade da membrana em reter determinado componente, sendo expressa pela equação: $R = 1 - (C_P/C_R)$, na qual C_P corresponde à concentração de soluto no permeado e C_R no retentado.

- Fator de concentração (FC): razão da massa inicial da alimentação pela massa do retentado: $FC = m_{alim}/m_{retentado}$, na qual m_{alim} é a massa inicial da alimentação e $m_{retentado}$ a massa final obtida no retentado.

4 UTILIZAÇÃO DE ENZIMAS NO PRÉ-TRATAMENTO DO SUCO DE FRUTAS

A utilização de enzimas na indústria de sucos vem crescendo, sendo empregadas em polpas de uvas, maçãs e peras (AEHLE, 2007; ENZIMAS, 2009). A despectinização de sucos após a prensagem torna-se necessária quando se quer obter suco cristalino e prevenir a gelatinização durante a concentração ou tratamento térmico para a conservação de sucos concentrados (VARAN e SUTHERLAND, 1997; CAUTELA *et al.*, 2010).

No Brasil, a utilização de enzimas no processamento de sucos de frutas tornou-se comum em escala industrial, principalmente no caso de obtenção dos sucos de maçã, uva e na produção de vinhos e sidras (VANTAGENS, 2012).

As enzimas pectinase, poligalacturonase e celulase são muito empregadas no processamento de sucos para aumentar seu rendimento, degradando polissacarídeos estruturais que interferem na extração, filtração, clarificação e concentração dos sucos. Nos processos de clarificação de sucos de frutas por membranas, os pré-tratamentos utilizando enzimas conferem aumento acentuado aos fluxos de permeado. A diminuição no fluxo se deve ao entupimento da membrana por complexos com altas massas moleculares como pectinas (RUTLEDGE, 1997; BARROS, 2002; CAUTELA *et al.*, 2010).

As pectinases, grupo de enzimas que degradam substâncias pécticas, hidrolisam ligações glicosídicas ao longo da cadeia carbônica. As enzimas pécticas são classificadas em pectinesterase e despolimerase, sendo essa última subdividida em hidrolases e liases. As poligalacturonases são hidrolases que atuam mais em pectato que em pectina e resultam em mono ou dissacarídeos. Aplicam-se essas enzimas nas indústrias de alimentos para reduzir a viscosidade de sucos de frutas, melhorar e aumentar a eficiência da filtração e da clarificação (UENOJO e PASTORE, 2007).

As celulases são enzimas que constituem um complexo capaz de atuar sobre materiais celulósicos, promovendo a sua hidrólise. A celulose (cadeia de massa molecular elevada, linear e insolúvel) é o principal material constituinte da parede celular dos vegetais (FENNEMA, DAMODARAN e PARKIN, 2010). Suas primeiras aplicações na indústria de alimentos tiveram como objetivo melhorar propriedades sensoriais de massas. Posteriormente, tais enzimas passaram a ser usadas no processamento de bebidas, promovendo a clarificação de sucos de frutas e vinhos e a manutenção de reologia estável do produto final (CASTRO e PEREIRA, 2010).

Matta (1999) verificou a influência do tratamento enzimático prévio na microfiltração e ultrafiltração de suco de acerola. O suco foi tratado com a enzima comercial Pectinex Ultra SP-L, com atividade poligalacturonase na concentração de 0,01 % (v/v), a 35 °C, durante 30 minutos. O tratamento enzimático nessas condições reduziu o teor de viscosidade da polpa em 74 %, aumentando consideravelmente o fluxo permeado de 54 L/m²h para 107 L/m²h na microfiltração e de 14 L/m²h para 21 L/m²h na ultrafiltração.

A aplicação de tratamento enzimático combinado à microfiltração na clarificação de suco de pêssgo foi estudada por Santin (2004). Os melhores resultados do tratamento enzimático foram obtidos com a enzima pectinase na concentração de 960 ppm, a 25 °C durante 60 minutos, que promoveu a redução de 48 % do teor de polpa e de 68 % da viscosidade do suco.

Enzimas pectinases, amilases e celulases foram testadas por Paula *et al.* (2004) para

melhorar a eficiência da clarificação de suco de maracujá mediante combinação de processos enzimáticos e de microfiltração. Os resultados demonstraram que a enzima pectinase, empregada nas concentrações de 150 e 300 ppm não diminuiu os valores de polpa e viscosidade do suco de maracujá e testaram a utilização de 300 ppm de enzima celulase combinada a 40 ppm de enzima amilase. Dessa forma, os pesquisadores obtiveram fluxo médio de permeado de 16 L/m²h durante a microfiltração do suco de maracujá em membrana do tipo tubular com porosidade de 0,3 µm, área de permeação de 0,05 m², pressão de 1,5 bar e temperatura de 25 °C. Couto *et al.* (2011) utilizaram o mesmo tipo de membrana e condições operacionais que Paula *et al.* (2004). Observaram que o tratamento do suco de maracujá com as enzimas comerciais Rapidase TF e Adex G, de atividade pectinolítica e celulolítica, nas concentrações de 300, 600 e 900 ppm, a 30 °C durante 60 minutos não favoreceu o aumento do fluxo de permeado do processo de microfiltração, apontando possível aumento do *fouling* na membrana.

Oliveira *et al.* (2010) utilizaram a enzima comercial Citrozym Ultra L (pectinase) nas quantidades de 0, 100 e 200 ppm, a 50 °C durante 60 minutos para o pré-tratamento de suco tropical de maracujá. Constataram que o tratamento enzimático é imprescindível para a clarificação desse suco por microfiltração, pois não houve fluxo de permeado sem o tratamento enzimático. No entanto, o aumento na concentração de enzimas não melhorou o desempenho da membrana. Verificaram que a melhor condição para o pré-tratamento foi 100 ppm de enzima, a 50 °C durante 60 minutos.

Barros (2002) avaliou a clarificação dos sucos de abacaxi e acerola por ultrafiltração, tratados enzimaticamente antes da clarificação. Para o suco de abacaxi houve aumento de 70 % no fluxo de permeado com a despectinação do suco com 20 ppm de enzima e de 4 % com o aumento da concentração de enzimas de 20 para 300 ppm (o que não é viável economicamente). Porém, para o suco de acerola houve diminuição do fluxo de permeado com o aumento da concentração da enzima. Esse comportamento pode ser explicado ao se considerar que o tratamento enzimático expõe mais grupos reativos que causam maior interação entre as partículas, causando a formação de torta mais densa e compacta na superfície da membrana, indicando a necessidade de filtração prévia.

Castro, Abreu e Carioca (2007) estudaram o efeito da clarificação da polpa de caju *in natura* e da polpa hidrolisada utilizando os processos de microfiltração e ultrafiltração. Observaram que a hidrólise enzimática, realizada com enzima de atividade poligalacturonase não aumentou os fluxos de permeado, ocorrendo até sua diminuição em alguns casos. Já a enzima comercial Clarex®, com atividade predominantemente pectinolítica, na concentração de 0,025 % (v/v) durante 60 minutos à temperatura de 30 °C, usada como pré-tratamento de suco de caju para microfiltração, proporcionou aumento do fluxo de permeado de aproximadamente 40 % em relação ao suco sem o tratamento (CIANCI *et al.*, 2005).

A enzima comercial Pectinex Ultra SP-L®, com atividade poligalacturonase, utilizada nas concentrações de zero, 0,005 e 0,01 %, a 35 °C por 60 minutos foi testada em estudo com suco de umbu. Os resultados demonstram que o aumento na concentração da enzima contribuiu para a elevação do fluxo de permeado na microfiltração. O tratamento enzimático proporcionou redução no teor de pectina de 26 % e aumento de 25 a 35 % no fluxo de permeado durante a microfiltração de suco de umbu (USHIKUBO, 2006).

Watanabe (2007) avaliou a influência do tratamento enzimático na microfiltração de suco de tamarindo por membrana polimérica. A utilização de 100 ppm de enzima com atividade poligalacturonase a 35 °C durante 60 minutos resultou em redução de 58 % no teor de pectina, melhorando o fluxo de permeado.

Ao estudar a influência do tratamento enzimático no fluxo do permeado de suco de pitanga clarificado com micro e ultrafiltração, Ongaratto (2009) realizou experimentos sem enzima e utilizando protease, celulase e pectinase, além da combinação de celulase e pectinase. Verificou que a combinação de celulase e pectinase resultou em menor queda do fluxo de permeado durante

a microfiltração e que a aplicação de pectinase melhorou o desempenho do fluxo de permeado no processo de ultrafiltração. Embora a protease não seja comumente utilizada no pré-tratamento para a clarificação de suco de frutas em processos de separação por membranas, a aplicação de tratamento com essa enzima melhorou o fluxo do permeado e aumentou o desempenho do processo, porém ocasionou perdas sensoriais nos produtos obtidos.

Kaster (2009) estudou os efeitos das condições operacionais da microfiltração do suco de maçã, utilizando as enzimas comerciais Pectinex Mash e Amilase AMG 300L com atividades pectinolítica e amilolítica, respectivamente, empregadas nas concentrações de 50 ppm para a primeira e 58 ppm para a segunda, a 50 °C durante 120 min. Verificou contribuição positiva para o fluxo do permeado, que aumentou 27,2 % em relação ao fluxo de suco de maçã não tratado com enzimas.

5 APLICAÇÕES DA MICRO E ULTRAFILTRAÇÃO NO PROCESSAMENTO DE SUCOS DE FRUTAS

Grande variedade de novos produtos tem surgido no mercado, baseados em sucos de frutas clarificados, tais como bebidas suaves, coquetéis de frutas, águas naturalmente aromatizadas, bebidas alcoólicas e chás gelados com suco clarificado, entre outros. Para esses produtos, transparência e homogeneidade são duas características essenciais, as quais podem ser obtidas apenas a partir da completa remoção dos sólidos suspensos (VAILLANT *et al.*, 2001).

A tecnologia de membranas tem sido avaliada como alternativa para reduzir as perdas sensoriais, funcionais e nutricionais que podem ocorrer nos processos comumente utilizados para conservação, clarificação e concentração de sucos de frutas (SÁ, CABRAL e MATTA, 2003; MONTEIRO, 2011; FERREIRA, 2011).

5.1 CLARIFICAÇÃO DE SUCOS DE FRUTAS

Maior aplicação da tecnologia de membranas em sucos de frutas, especialmente a micro e a ultrafiltração ocorre na clarificação (CHERYAN, 1998; HABERT, BORGES e NOBREGA, 2006).

No processo tradicional de clarificação de suco, que dura de 12 a 36 h, a polpa extraída passa pelas seguintes etapas (CHERYAN, 1998): a) centrifugação para eliminação dos sólidos em suspensão; b) tratamento enzimático para hidrólise da pectina e do amido; c) coagulação e decantação para remoção de coloides e turbidez pela adição de agentes coagulantes, como gelatina; d) filtração com terra diatomácea para remover o agente coagulante com sólidos em suspensão, partículas coloidais e proteínas; e) filtração final.

Utilizando a tecnologia de membranas para a clarificação de sucos de fruta, as etapas de centrifugação, coagulação e filtração são substituídas pela micro ou ultrafiltração, sendo possível reduzir o processo para 2 a 4 horas (CHERYAN, 1998). Assim, há redução no consumo de energia, de mão de obra e nos gastos com coadjuvantes de clarificação, como gelatina e terra diatomácea (GIRARD e FUKUMOTO, 2000). Além disso, a filtração em membranas possibilita maior retenção de compostos responsáveis pela turbidez do suco (PETRUS, 1997).

A maioria dos trabalhos publicados sobre clarificação de sucos de fruta se refere ao da maçã, cuja tecnologia de membranas vem sendo aplicada em escala industrial (FUKUMOTO, DELAQUIS e GIRARD, 1998; PETRUS, 1997; VLADISAVLJEVIC *et al.*, 2000), embora sejam encontrados vários estudos para avaliar a eficiência da microfiltração e da ultrafiltração na clarificação de sucos de outras frutas (RODRIGUES, 2002).

Silva *et al.* (2005) clarificaram suco de maracujá orgânico por microfiltração em membranas tubulares de polietersulfona, com tamanho de poro médio de 0,3 µm e área filtrante de 0,05 m². O processo promoveu completa remoção da polpa em suspensão no suco permeado, o que resultou em suco clarificado límpido com maior luminosidade e pouco viscoso (redução da viscosidade a 1/3

após a microfiltração).

Suco de caju foi clarificado por microfiltração em estudo realizado por Ciani *et al.* (2005). Após o tratamento com enzimas, o suco foi processado em membrana tubular de polietersulfona com tamanho de poro médio de 0,3 μm , operando a 30 °C e pressão de 220 kPa. Os resultados apontaram teores de polpa no suco clarificado iguais a zero e baixo valor da turbidez nefelométrica (4,1 UNT), demonstrando que a microfiltração reteve as macromoléculas que causam o aspecto turvo do suco integral de caju.

Castro, Abreu e Carioca (2007) realizaram estudos com caju utilizando, além da microfiltração, a ultrafiltração. Foram empregadas duas membranas tubulares, uma de microfiltração do tipo cerâmica com tamanho de poro de 0,1 μm e outra de ultrafiltração de fluoreto de polivinilideno com retenção de partículas entre 30–80 kDa de massa molecular de corte. Os experimentos foram conduzidos a 30 °C e a 2,0 bar de pressão transmembrana. Foram observadas variações significativas no teor da polpa, tendo os sucos clarificados evidenciado teor de polpa zero, redução de turbidez de 99 % e aumento na luminosidade. Além disso, observaram que os fluxos de permeado na microfiltração foram sempre superiores aos fluxos permeados na ultrafiltração (os poros das membranas de ultrafiltração são menores que os das membranas de microfiltração).

Mirsaeedghazi *et al.* (2010) compararam os processos de micro e ultrafiltração na clarificação de suco de romã, utilizando membranas planas de acetato de celulose com tamanhos de poros de 0,22 μm (microfiltração) e 0,025 μm (ultrafiltração). Constataram que os fluxos médios de permeado e o volume de suco clarificado obtidos na microfiltração foram maiores que na ultrafiltração. Portanto, o processo de ultrafiltração, além do seu custo mais elevado e maior tempo de operação, não oferece vantagem sobre o processo de microfiltração em relação ao fluxo de permeado quando aplicado em sucos de frutas, como o suco de romã.

De acordo com Gekas, Baralla e Flores (1998), a cor do suco é geralmente prejudicada na clarificação por ultrafiltração, pois ocorre alguma retenção dos componentes de cor. Mediante a microfiltração são obtidos sucos com cores mais intensas, apesar de maior turbidez.

Na clarificação de suco de pitanga mediante micro e ultrafiltração, Ongaratto e Viotto (2009) utilizaram membranas poliméricas de polifluoreto de vinilideno 200 kDa, polietersulfona 150 kDa e celulose 30 kDa em experimentos com e sem tratamento enzimático. A análise de cor apresentou tendência semelhante em todos os experimentos em relação ao tipo de membrana empregada. O permeado obtido sem tratamento enzimático mostrou-se mais característico, claro, com cor no quadrante do amarelo e tendência ao vermelho, enquanto as amostras com tratamento enzimático evidenciaram predominância do amarelo com tendência ao verde.

A cor e a turbidez foram influenciadas pela velocidade tangencial, enquanto a temperatura alterou o teor de sólidos solúveis durante a clarificação do suco de maçã realizado por microfiltração (KASTER, 2009). Quanto maior a temperatura, maior o teor de sólidos solúveis observados no permeado. Por outro lado, aumento na pressão transmembrana influenciou negativamente o teor de sólidos solúveis do suco clarificado.

Sá, Cabral e Matta (2003) clarificaram suco de abacaxi, previamente hidrolisado, usando sistema de microfiltração composto por membranas tubulares de polietersulfona com tamanho de poro de 0,3 μm . O suco apresentou fluxo inicial de 232 L/hm², sofrendo redução de 52,5 % nos cinco primeiros minutos de processo. O fluxo médio do processo foi de 110 L/hm². A análise dos resultados demonstrou que não houve variação do pH, da acidez e da concentração de sólidos solúveis do suco clarificado em relação ao suco hidrolisado.

Suco de pêssgo foi clarificado em módulo de micro e ultrafiltração em fluxo cruzado, com membranas planas de acetato de celulose (0,2; 0,45 e 0,8 μm) e polissulfona (100.000 Da), e em sistemas piloto utilizando membranas inorgânicas (0,1 μm), membranas de polietersulfona (0,3 μm) e polissulfona (0,1 a 100.000 Da). O maior fluxo de permeado (11,95 L/m²h) e a menor turbidez (0,44 UNT) foram obtidos nas condições de 25 °C com membrana de diâmetro de poro de 0,2 μm . O processo de clarificação mostrou-se eficiente devido à grande redução da viscosidade e de sólidos

suspensos do suco (SANTIN, 2004).

5.2 CONSERVAÇÃO DE SUCOS DE FRUTAS

A pasteurização constitui o processo clássico para garantir a segurança alimentar de sucos de frutas. No entanto, como esse processo ocorre sob condições de altas temperaturas, cerca de 90 °C, pode contribuir para perdas de componentes nutricionais (como a vitamina C), ou diminuir a qualidade sensorial dos sucos pela oxidação ou evaporação de compostos responsáveis pelo seu aroma e sabor. Assim, diferentes processos de separação por membranas (como, por exemplo, a microfiltração) vêm sendo avaliados como alternativa à pasteurização por serem operados à temperatura ambiente (CARNEIRO *et al.*, 2000; MERÇON *et al.*, 2003; MATTA, CABRAL e SILVA, 2004).

Carneiro *et al.* (2000) relataram a obtenção de suco de abacaxi pasteurizado a frio, mediante processo de microfiltração realizado em sistema semipiloto com membranas tubulares de tamanho de poro médio igual a 0,3 µm, área de permeação de 0,05 m², a 25 °C e pressão transmembrana de 1 bar. O suco permeado foi envasado em frascos previamente autoclavados e conservados sob refrigeração durante 14 dias. Os resultados das análises microbiológicas realizadas ao longo do tempo de armazenamento demonstram a conformidade do produto com a legislação brasileira.

Paula *et al.* (2004) obtiveram suco de maracujá de elevada qualidade sensorial e sanidade microbiológica usando microfiltração com membrana tubular de tamanho médio de poro de 0,3 µm e pressão transmembrana de 1,5 bar. Em outro estudo, também realizado com suco de maracujá e membrana tubular de 0,3 µm, Silva *et al.* (2005) confirmaram a capacidade de retenção de micro-organismos nas membranas de microfiltração.

Ao realizar a avaliação da vida-de-prateleira do suco microfiltrado de acerola, Matta, Cabral e Silva (2004) demonstraram a possibilidade de se obter suco de acerola clarificado e pasteurizado a frio, mediante microfiltração em membrana tubular de polietersulfona com 0,3 µm de tamanho de poro e pressão transmembrana de 1,2 bar. O suco foi armazenado durante 90 dias sob refrigeração sem alterações significativas em suas principais características químicas, mantendo inclusive o teor de vitamina C durante esse período. Viana (2010) também utilizou membrana tubular de polietersulfona com tamanho de poro médio de 0,3 µm e pressão transmembrana de 0,5 bar para clarificar suco de lima ácida. Os resultados das análises microbiológicas do suco clarificado demonstraram que o produto encontrava-se de acordo com os padrões estabelecidos pela legislação brasileira.

A água de coco pode ser conservada mediante dois processos por membranas: a microfiltração, empregando membranas com tamanho de poro de 0,1 µm, e a ultrafiltração com membranas de massa molecular de corte de 20, 50 e 100 kDa. Durante o período de armazenamento de 28 dias sob refrigeração, as amostras do produto de ambos os processos mantiveram coloração clara, estando adequadas ao consumo conforme os padrões exigidos pela legislação brasileira (MAGALHÃES *et al.*, 2005; BRASIL, 2001).

A patulina, micotoxina produzida por várias espécies de *Penicillium*, *Aspergillus* e *Byssoschlamys*, pode ser facilmente transferida da maçã para o suco durante seu processamento devido à sua alta solubilidade em água. Assim, a patulina tem sido empregada como indicadora da qualidade de derivados de maçã. Em experimentos com animais, essa micotoxina demonstrou atividade mutagênica, carcinogênica e teratogênica. Embora no Brasil ainda não exista legislação que determine limite para a patulina em alimentos, uma das principais preocupações em relação à contaminação do suco de maçã reside na exportação desse produto para países que já estabeleceram limites legais para essa micotoxina em sucos (CELLI *et al.*, 2009; WELKE *et al.*, 2009b).

A redução da quantidade de patulina durante o processo de clarificação do suco de maçã foi relatada por vários autores. Bissessur *et al.* (2001) estudaram alguns tipos de clarificação e constataram que a centrifugação constitui o método mais efetivo, obtendo redução de 20,5 % do total da toxina. Ao analisar os efeitos da clarificação sobre a concentração de patulina, Gökmen *et al.* (2001) verificaram a eficácia da clarificação convencional (utilizando gelatina, bentonita e carvão

ativado) na redução de patulina (40,9 %). No entanto, essa técnica causou diminuição significativa na intensidade da cor e de compostos fenólicos, afetando diretamente os padrões de identidade do suco. A clarificação empregando ultrafiltração seguida de tratamento com resina adsorvente também resultou na diminuição de patulina (11,0%), trazendo melhorias à cor e transparência do suco. Acar, Gokmen e Taydas (1998) compararam a clarificação utilizando filtro rotatório a vácuo e a ultrafiltração e verificaram maior eficácia do filtro rotatório com redução da patulina de 39 %, enquanto a ultrafiltração possibilitou 25 % de redução nos níveis dessa micotoxina. Welke *et al.* (2009a) estudaram a redução dos níveis de patulina nas fases do processamento do suco de maçã, Constataram que após a pasteurização, o tratamento enzimático, a microfiltração e a evaporação, a redução do conteúdo de patulina foi de 40, 28, 20 e 28 %, respectivamente.

5.3 REDUÇÃO DA ATIVIDADE ENZIMÁTICA

Girard e Fukumoto (2000) citaram que dependendo do tamanho do poro utilizado nos processos de micro e ultrafiltração são retidas enzimas, como as pectinolíticas e polifenoloxidasas, melhorando a qualidade do produto final.

Um dos inconvenientes do processamento da banana envolve o escurecimento enzimático, fenômeno iniciado pela ação de enzimas polifenoloxidasas presentes nas células das frutas e de alguns outros vegetais. A ultrafiltração foi empregada por Merçon *et al.* (2003) visando à clarificação e a redução da atividade da polifenoloxidase do suco de banana. Utilizaram membranas com massa molecular de corte de 10 kDa e 30 kDa, ambas operadas a pressão de 3 atm e vazão de alimentação de 40 L/h. A atividade da enzima polifenoloxidase foi reduzida em 97,5 % e 96,2 %, respectivamente.

A atividade enzimática na água de coco constitui fator relevante devido às alterações indesejáveis que acarreta, como o desenvolvimento da coloração rósea. A micro e a ultrafiltração foram estudadas como processo alternativo para a inativação enzimática na água de coco por Magalhães *et al.* (2005), que utilizaram membranas com tamanho de poro de 0,1 µm para a microfiltração e membranas com massa de corte de 100, 50 e 20 kDa para a ultrafiltração. A concentração de proteínas no permeado decresceu com a diminuição do tamanho dos poros das membranas e as membranas de 50 e 20 kDa apresentaram resultados positivos na retenção das proteínas. A atividade da enzima polifenoloxidase foi reduzida em 61 % pela membrana de 50 kDa e em 77 % pela membrana de 20 kDa, não sendo detectada atividade da enzima peroxidase no permeado.

5.4 RETENÇÃO DE COMPOSTOS BIOATIVOS

As exigências do mercado consumidor em relação aos sucos de frutas clarificados levaram à investigação das suas características nutricionais e sensoriais pós-processo. Na clarificação de sucos com membranas de micro e ultrafiltração, com ou sem prévio tratamento enzimático, várias substâncias com valor nutricional (vitaminas, minerais e fibras, entre outras) podem não ser recuperadas no suco clarificado, ou serem retidas na polpa concentrada ou no interior dos poros das membranas (CARVALHO, SILVA e PIERUCCI, 1998; CIANCI *et al.*, 2005).

O uso da micro e ultrafiltração na clarificação de suco e na esterilização a frio, eliminando micro-organismos e enzimas, tem sido um dos principais objetivos da pesquisa e da indústria de alimentos. No entanto, os pesquisadores vêm se preocupando com os efeitos dessa tecnologia nos compostos bioativos dos alimentos funcionais. Os processos de separações por membranas podem ser usados tanto para a clarificação dos sucos, como para a concentração da polpa no retentado (CHERYAN, 1998; USHIKUBO, 2006).

Estudo realizado por Monteiro (2011) revelou a manutenção do teor de antocianinas do suco de amora-preta após a micro e a ultrafiltração, comprovando a eficácia da tecnologia de membranas na retenção dessa importante característica do suco de amora-preta e motivando a

continuidade da pesquisa na aplicação desse processo para a obtenção de novos produtos. Os processamentos foram realizados em sistema com módulo quadro e placas com membranas à base de polímero fluorado e tamanho de poro de 0,15 µm (MF), membranas de polissulfona com *cut off* de 20 kDa (UF) e membrana composta com rejeição ao MgSO₄ maior que 98 % (NF), recirculação da corrente do retido e recolhimento contínuo do permeado, a 35 °C e pressão aplicada à membrana de 5 bar (MF), 10 bar (UF) e 20 bar (NF).

Ferreira (2011) quantificou as concentrações de carotenoides, flavonoides e vitamina C ao longo do fluxograma de processo de microfiltração de polpas de goiaba, pitanga e tomate. Constatou que a vitamina C foi o composto que mais permeou através da membrana devido à sua solubilidade aliada à reduzida massa molar, no entanto houve perda dessa vitamina em todas as etapas do processamento.

Viana (2010) estudou a atividade antioxidante dos sucos de lima ácida de cultivos convencional e orgânico biodinâmico, clarificados por microfiltração, empregando membrana tubular de polietersulfona (0,3 µm) e pressões de 0,5; 1,0 e 2,0 bar. A atividade antioxidante foi mantida nos sucos clarificados, embora tenha sido significativamente menor nos sucos clarificados que nos sucos integrais. Ainda, a microfiltração proporcionou a recuperação de 78 % dos compostos fenólicos presentes no suco de lima ácida orgânica biodinâmica e de 79,6 % no suco de lima convencional clarificado.

Ongaratto e Viotto (2009) avaliaram o efeito dos parâmetros de processo da micro e ultrafiltração de suco de pitanga na retenção de carotenoides a fim de obter retentado que possa ser utilizado como matéria-prima no desenvolvimento de alimentos funcionais, além da produção de suco clarificado. Os resultados obtidos demonstram que não houve permeação de carotenoides pela membrana em nenhum dos tratamentos utilizados (100 % de retenção), sugerindo a utilização do retentado como insumo industrial para a produção de alimentos com características funcionais. Retenção total de carotenoides também foi observada por Aragão (2010) ao estudar a concentração de compostos bioativos da polpa de caju mediante separação por membranas poliméricas de micro, ultra e nanofiltração. Foram utilizadas, em célula de bancada, membranas de polifluoreto de vinilideno de 500 kDa e 150 kDa, polietersulfona de 150 kDa, 30 kDa e 1 kDa e celulose de 30 kDa, a 50 °C, 2 bar (micro e ultra) e 10 bar (nanofiltração). Em todas as membranas estudadas houve 100 % de retenção dos carotenoides. A retenção de ácido ascórbico foi baixa nas membranas de micro e ultrafiltração, em média 3 %, e a retenção de taninos variou entre 14 e 54 %.

As quantidades de carotenoides totais e a atividade antioxidante do suco de maracujá clarificado por microfiltração variaram dependendo do tipo e da quantia de enzima utilizada no pré-tratamento realizado por Couto *et al.* (2011). Foram aplicadas as enzimas comerciais Rapidase TF e Adex G, de atividade pectinolítica e celulolítica, nas concentrações 300, 600 e 900 ppm. A aplicação da enzima aumentou a capacidade antioxidante em todos os tratamentos quando comparados ao controle. Foi observada maior capacidade antioxidante no retido do que no permeado. O aumento da concentração da enzima Rapidase TF elevou a capacidade antioxidante. No caso da Rapidase Adex G, houve redução da capacidade antioxidante quando foi usada a concentração de 900 ppm. Aumento na concentração da enzima Rapidase TF elevou a concentração dos carotenoides no permeado, indicando que essas moléculas foram liberadas, enquanto que o suco tratado com a enzima Adex G apresentou queda no teor de carotenoides quando comparado ao suco sem tratamento.

Gomes (2009) constatou o potencial do processo de microfiltração para a concentração de licopeno de suco de melancia. A membrana cerâmica mostrou-se mais eficiente do que a polimérica nesse caso, apresentando fluxo de permeado 2,5 vezes maior. Aumentos na velocidade tangencial exerceram efeito positivo no fluxo de permeado e elevaram o teor de licopeno e a atividade antioxidante do retido.

A fração retida na microfiltração do açaí foi utilizada por Corrêa *et al.* (2010) para elaborar suco misto de açaí, banana e guaraná. O produto desenvolvido apresentou boa aceitação sensorial e

teores relevantes de compostos fenólicos, sugerindo-o como alternativa promissora para o mercado que valoriza produtos nutritivos, além de representar o aproveitamento do coproduto da clarificação do açaí.

Estudo realizado por Conidi, Cassano e Drioli (2011), demonstrou a validade da combinação da ultrafiltração com a nanofiltração para a recuperação da fração fenólica do suco de bergamota a ser empregado no desenvolvimento de produtos com propriedades funcionais.

6 CONCLUSÃO

Esta revisão da literatura permitiu concluir que a utilização de enzimas no pré-tratamento para os processos de separação por membranas apresenta, de maneira geral, resposta positiva nos fluxos de permeado. No entanto, representam potencial de exploração, uma vez que os estudos realizados ainda revelam resultados díspares. Verificou-se também a diversidade de enzimas comerciais disponíveis no mercado.

A aplicação dos processos de micro e ultrafiltração são eficazes na clarificação e conservação dos sucos de fruta, pois foram utilizados com sucesso na retenção de compostos responsáveis pela turbidez dos sucos e resultaram em produtos de acordo com a legislação brasileira vigente. O processo de microfiltração tem sido mais utilizado do que a ultrafiltração por resultar em maiores fluxos de permeado.

Na expectativa de preservar nutrientes e compostos bioativos, o processo mediante membranas apresenta-se altamente viável, principalmente devido ao aproveitamento dos coprodutos (retentado) para a elaboração de produtos com propriedades funcionais.

ABSTRACT

APPLICATION OF MICRO AND ULTRAFILTRATION ON FRUIT JUICE PROCESSING: A REVIEW

This review aimed to report the research that has been conducted on the application of membrane separation technology, specifically the micro and ultrafiltration, including enzymatic pre-treatment processing of fruit juices. It was emphasized the use of these processes in clarification of juices and conservation. Studies on the preservation of bioactive compounds during processing of juices by membranes were also addressed. Through this literature, it was concluded that the use of enzymes in pre-treatment for membrane separation processes has, in general, a positive response in the permeate fluxes. The application of micro-and ultrafiltration processes are effective in clarification and conservation of fruit juices as they have been used with success in retaining compounds responsible for turbidity of juices and resulted in high quality health products. Hoping to preserve nutrients and bioactive compounds, the process through membranes is highly viable, mainly due to the utilization of co-products (retentate) for developing products with functional properties. The processing of juices through membranes, effective at low temperatures and with elimination of several steps compared to conventional methods presents a promising alternative, reflecting the global trend by processes more effective and technologically advanced.

KEY-WORDS: FRUIT JUICE; CLARIFICATION; MICROFILTRATION; ULTRAFILTRATION; ENZYMES..

REFERÊNCIAS

- 1 ACAR, J.; GOKMEN, V.; TAYDAS, E.E. The effect of processing technology on the patulin content of juice during commercial apple juice concentrate production. **Food Research and Technology**, v.207, p.328-331, 1998.
- 2 AEHLE, W. **Enzymes in industry**: production and applications. 3rd ed. Weinheim: Wiley-VCH, 2007.
- 3 ARAGÃO, V.C. **Concentração dos compostos bioativos da polpa de caju através da tecnologia de separação por membranas**. 2010. 112 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.
- 4 BARROS, S.T.D. **Clarificação dos sucos de acerola e abacaxi por ultrafiltração**: modelagem e simulação do fluxo de permeado e determinação dos mecanismos de *fouling*. 2002. 239 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

- 5 BISSESSUR, J. *et al.* Reduction of patulin during apple juice clarification. **Journal of Food Protection**, v.64, n.8, p.1216-1219, 2001.
- 6 BOBBIO, P.A; BOBBIO, F.O. **Química do processamento de alimentos**. 3. ed. São Paulo: Varela, 2001.
- 7 BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **RDC nº12, de 02 de janeiro de 2001**. Dispõe sobre os princípios gerais para o estabelecimento de critérios e padrões microbiológicos para alimentos. Brasília, 2001.
- 8 BRASIL. Presidência da Republica. Decreto nº 6.871, de 04 de junho de 2009. Regulamenta a Lei nº 8.918 de 14 de julho de 1994, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. **Diário oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 05 de junho de 2009, Seção I.
- 9 CARNEIRO, L.C.; GOMES, F.S.; FURTADO, A.A.L.; CABRAL, L.M.C. Esterilização de suco de abacaxi por microfiltração. **Embrapa Agroindústria de Alimentos**, n. 39, p.1-6, 2000.
- 10 CARVALHO, L.M.J.; SILVA, C.A.B.; PIERUCCI, A.P.T.R. Clarification of pineapple juice (*Ananas comosus*, L. Merrill) by ultrafiltration and microfiltration: physicochemical evaluation of clarified juices, soft drink formulation, and sensorial evaluation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 46, n. 6, p. 2185–2189, 1998.
- 11 CASTRO, T. R.; ABREU, F.A.P; CARIOCA, J.O.B. Obtenção de suco clarificado de caju utilizando processos de separação por membranas. **Revista de Ciência Agronômica**, v. 38, n. 2, p.164-168, 2007.
- 12 CASTRO, A. M.; PEREIRA, N. Produção, propriedades e aplicação de celulasas na hidrólise de resíduos agroindustriais. **Química Nova**, v. 33, n.1, p.181–188, 2010.
- 13 CAUTELA, D.; CASTALDO, D.; SERVILLO, L.; GIOVANE, A. Enzymes in citrus juice processing. In: **ENZYMES in fruit and vegetable processing. Chemistry and engineering applications**. London: CRC Press, 2010.
- 14 CELLI, M.G.; COELHO, A.R.; WOSIACKI, G.; GARCIA-CRUZ, C.H. Patulina: incidência e controles em derivados de maçã. **Ciências Agrárias**, v. 30, n.1, p. 135-162, 2009.
- 15 CIANCI, F.C.; SILVA, L.F.M.; CABRAL, L.M.C.; MATTA, V.M. Clarificação e concentração de suco de caju por processos com membranas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, n. 25, p. 579-583, 2005.
- 16 CHERYAN, M. **Ultrafiltration and microfiltration handbook**. 2nd ed. Lancaster: CRC Press, 1998.
- 17 CONIDI, C.; CASSANO, A.; DRIOLI, E. A membrane-based study for the recovery of polyphenols from bergamot juice. **Journal of Membrane Science**, n. 375, p. 182 – 190, 2011.
- 18 CORRÊA, C.B.; CABRAL, L.M.C.; DELIZA, R.; MATTA, V.M. Açaí blend formulated with the microfiltration retentate fraction. **Alim. Nutr.**, Araraquara, v. 21, n. 3, p. 377-383, jul./set. 2010
- 19 COUTO, A.B.B.; AGUIAR, I.B.; GOMES, F.S.; PAGANI, M.M.; CABRAL, L.M.C. Tratamento enzimático e microfiltração de suco de maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* Sims var. flavicarpa). In: CONGRESO IBEROAMERICANO DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS, 8., 2011, Lima. **Anais...** Lima: Lhave de la Innovación, 2011.
- 20 ENZIMAS. **Revista Food Ingredients Brasil**, São Paulo, n.10, p. 40–60, 2009. Disponível em: <www.revista-fi.com> . Acesso em: 10 Jan. 2012.
- 21 FENNEMA, O.R.; DAMODARAN, S.; PARKIN, K.L. **Química de alimentos**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.
- 22 FERREIRA, J.E.M. **Estabilidade de carotenoides, flavonoides e vitamina C em alimentos submetidos às tecnologias emergentes de processamento**. 2011. 180 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.
- 23 FUKUMOTO, L.R.; DELAQUIS, P.; GIRARD, B. Microfiltration and ultrafiltration ceramic membranes for apple juice clarification. **Journal of Food Science**, v. 63, n. 5, p.845-850, 1998.
- 24 GEKAS, V.; BARALLA, G.; FLORES, V. Applications of membrane technology in the food industry. **Food Science and Technology International**, v.4, p.311-328, 1998.
- 25 GIRARD, B.; FUKUMOTO, L.R. Membrane processing of fruit juices and beverages: a review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 40, n. 2, p. 91-157, 2000.
- 26 GÖKMEN, V.; ARTIK, N.; ACAR, J.; KAHRAMAN, N.; POYRAZOGLU, E. Effects of various clarification treatments on patulin, phenolic compound and organic acid compositions of apple juice. **European Food Research & Technology**, Berlin, v. 213, n. 3, p.194-199, 2001.
- 27 GOMES, F.S. **Concentração de licopeno de suco de melancia através de processos de separação por membranas**. 2009. 95 p. Tese (Doutorado em Ciências), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2009.
- 28 HABERT, A.C.; BORGES, C.P.; NOBREGA, R. **Processos de separação por membranas**. Rio de Janeiro: E-pappers, 2006.

- 29 KASTER, B. **Efeitos das condições operacionais na microfiltração do suco de maçã**. 2009. 83 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.
- 30 LEA, A.G.H. Zumo de manzana. In: ASHURT, P.R. **Producción y envasado de zumos y bebidas de frutas sin gas**. Zaragoza: Acribia, 1995.
- 31 LEHNINGER, A.L.; NELSON, D.L.; COX, M.M. **Princípios de bioquímica**. 4. ed. São Paulo: Servier, 2006.
- 32 MAGALHÃES, M.P.; GOMES, F.S.; MODESTA, R.C.D.; MATTA, V.M.; CABRAL, L.M.C. Conservação de água de coco verde por filtração com membranas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 1, p. 72-77, 2005.
- 33 MAIA, G.A.; OLIVEIRA, G.S.F.; GUIMARÃES, A.C.L. Processamento industrial. In: MAIA, G.A.; OLIVEIRA, G.S.F.; GUIMARÃES, A.C.L. **Curso de tecnologia em processamento de sucos e polpas tropicais**. Brasília-DF: ABEAS/UFC, 1998.
- 34 MATTA, V. M. **Estudo da utilização dos processos de separação por membranas para obtenção de suco de acerola clarificado e concentrado**. 1999. 202 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.
- 35 MATTA, V.M.; CABRAL, L.M.C.; SILVA, L.M.M. Suco de acerola microfiltrado: avaliação da vida-de-prateleira. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 24, n. 2, p. 293- 297, 2004.
- 36 MERÇON, F.; RODRIGUES, S.L.C.; MOREIRA, R.L.S.; CARDOSO, M.H. Avaliação de parâmetros de ultrafiltração de suco de banana. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, p. 98-101, 2003.
- 37 MIRSAEEDGHAZI, H.; MOUSAVI, S.M.; DJOMEH, Z.E.; REZAEI, K.; AROUJALIAN, A.; NAVIDBAKHSH, M. Clarification of pomegranate juice by microfiltration with PVDF membranes. **Desalination**, v. 264, n. 3, p. 243 – 248, 2010.
- 38 MONTEIRO, F.S. **Obtenção de suco de amora-preta (*Rubus spp.*) concentrado em antocianinas utilizando processos de separação por membranas**. 2011. 135 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.
- 39 MORAES, I.V.M. **Produção de polpa de fruta congelada e suco de frutas**. Rio de Janeiro: Redetec, 2006.
- 40 MULDER, M. **Basic principles of membrane technology**. 2nd ed. Dordrecht, NL: Kluwer Academic Publishers, 1996.
- 41 OLIVEIRA, R.C.; BARROS, S.T.D.; GIMENES, M.L.; ALVIM, F.A.F.; WINTER, C. Comparação entre centrifugação e microfiltração na clarificação do suco tropical de maracujá. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 32, n. 3, p. 271-278, 2010.
- 42 ONGARATTO, R.S. **Micro e ultrafiltração de suco de pitanga: estudos dos parâmetros de operação e do mecanismo de incrustação**. 2009. 183 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.
- 43 ONGARATTO, R.S.; VIOTTO, L.A. Clarificação de suco de pitanga (*Eugenia uniflora* L.) e concentração de carotenoides por microfiltração e ultrafiltração. In: BRAZILIAN MEETING ON CHEMISTRY OF FOOD AND BEVERAGES, 7., 2009, Lorena. **Anais...** São Paulo: Brazilian Journal of Food Technology, 2009. p. 85 – 93.
- 44 PAULA, B.; MOARES, I.V.M.; CASTILHO, C.C.; GOMES, F.S.; MATTA, V.M.; CABRAL, L.M.C. Melhoria na eficiência da clarificação de suco de maracujá pela combinação dos processos de microfiltração e enzimático. **B. do CEPPA**, v. 22, n. 2, p. 311-324, 2004.
- 45 PETRUS, J.C.C. **Preparação, modificação e caracterização de membranas assimétricas para clarificação de suco de frutas**. 1997. 161 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.
- 46 RENNER, E.; SALAM, M.H.A. Basic principles. In: RENNER, E.; SALAM, M.H.A. **Application of ultrafiltration in the industry**. London: Elsevier Science, 1991. p. 7-29.
- 47 RODRIGUES, R.B. **Aplicação dos processos de separação por membranas para produção de suco clarificado e concentrado de camu camu (*Myrciaria dubia*)**. 2002. 146 p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.
- 48 ROSENTHAL, A.; MATTA, V.M.; CABRAL, L.M.C.; FURTADO, A.A.L. Processo de produção. In: INICIANDO um pequeno grande negócio agroindustrial: polpa e suco de frutas. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, Embrapa Hortaliças, SEBRAE, 2003. 123 p. (Série Agronegócios).
- 49 RUTLEDGE, P. Producción de derivados no fermentados de la fruta In: ARTHEY, D.; ASHURST, P.R. **Processado de frutas**. Zaragoza: Acribia, 1997. p. 77-104.
- 50 SÁ, I.S.; CABRAL, L.M.C.; MATTA, V.M. Concentração de suco de abacaxi através de processos com membranas. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.6, p.53-62, 2003.

- 51 SANTIN, M.M. **Aplicação de tratamento enzimático combinado a microfiltração na clarificação de suco de pêssego**. 2004. 79 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Erechim, 2004.
- 52 Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE). **Consumo de suco cresce no Brasil**. Disponível em: <http://www.sebrae.com.br/setor/fruticultura/osetor/mercado/panorama/integra_bia/ident_unico/18283>. Acesso em: 10 mar. 2012.
- 53 SILVA, T.T.; MODESTA, R.C.D.; PENHA, E.M.; MATTA, V.M.; CABRAL, L.M.C. Suco de maracujá orgânico processado por microfiltração. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 4, p. 419-422, 2005.
- 54 SILVA, C.A.B.; FERNANDES, A.R. **Projetos de empreendimentos agroindustriais**: produtos de origem vegetal. Lavras: Editora UFV, 2003. v. 2
- 55 UENOJO, M.; PASTORE, G.M. Pectinases: aplicações industriais e perspectivas. **Química Nova**, v. 30, n. 2, p. 388-394, 2007.
- 56 USHIKUBO, F.Y. **Efeito do tratamento enzimático, da velocidade tangencial e da pressão transmembrana na microfiltração da polpa diluída de umbu (*Spondias tuberosa* Arr. Cam)**. 2006. 117 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.
- 57 VAILLANT, F.; MILLAN, A.; DORNIER, M.; DECLOUX, M.; REYNES, M. Strategy for economical optimization of clarification of pulpy fruit juices using crossflow microfiltration. **Journal of Food Engineering**, v.48, p.83-90, 2001.
- 58 VANTAGENS claras com a nova geração de Pectinex Max. Disponível em: < <http://www.novozymes.com.br>>. Acesso em: 25 fev. 2012.
- 59 VARAN, A.H.; SUTHERLAND, J.P. **Bebidas**: tecnología, química y microbiología. Zaragoza: Acribia, 1997.
- 60 VIANA, D. S. **Lima ácida (*Citrus latifolia*, Tanaka), cv. Tahiti, de cultivos convencional e orgânico biodinâmico: avaliação da capacidade antioxidante dos sucos *in natura* e clarificados por membranas de microfiltração**. 2010. 100 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) – Faculdade de Farmácia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.
- 61 VLADISAVLJEVIC, G.P.; VUKOSAVLJEVIC, P.; BUKVIC, B.; ZLATKOVIC, B. Application of ultrafiltration to apple juice clarification. **Journal of Agricultural Sciences**, v. 45, n. 2, p. 212-130, 2000.
- 62 WATANABE, A. P. **Microfiltração de suco de tamarindo por membrana polimérica: efeito do tratamento enzimático, da velocidade tangencial e da pressão transmembrana**. 2007. 95 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.
- 63 WELKE, J.E.; HOELTZ, M.; DOROTTI, H.A.; NOLL, I.B. Effect of processing stages of apple juice concentrate on patulin levels. **Food Control**, v.20, p.48-52, 2009a.
- 64 WELKE, J.E.; HOELTZ, M.; DOROTTI, H.A.; NOLL, I.B. Ocorrência, aspectos toxicológicos, métodos analíticos e controle de patulina em alimentos. **Ciência Rural**, v. 39, n. 1, p.300-308, 2009b.
- 65 WHITEHURST, R.J.; LAW, B.A. **Enzymes in food technology**. New York: CRC Press, 2002.