

Faculdade de Engenharia do Porto

DEQ, Julho de 1996

Relatório final do projecto SÓCRATES

ESTUDO DO EQUILÍBRIO NA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DA MAÇÃ “GRANNY SMITH”

(Realizado na UPV, Espanha)

Realizado por :

Alexandra Santos

Proposto e orientado por :

Pedro Fito Maupoey

com a colaboração de :

José M. B. Baviera

Aos meus pais, que sempre
me apoiaram em todos os
meus projectos, até nos mais
ousados...

Agradecimentos

Não podia deixar passar em branco este trabalho sem agradecer a oportunidade que me foi concedida de participar no projecto SÓCRATES sob a coordenação do Engenheiro Alberto Sereno.

Vejo agora ao concluir este estudo, o que ganhei em termos humanos, nas relações entre colegas e os conhecimentos técnicos que adquiri, conhecimentos estes que nunca podiam ter sido levados a cabo sem a orientação do professor Pedro Fito, do Departamento de Tecnologia de Alimentos da Universidade Politécnica de Valência.

Do dia a dia guardo saudosas recordações do carinho que me foi dado pelos meus colegas de laboratório: Rafi, Maite, Daniela, Maria Del Mar, Nuria, Ana, Amparo Chiralt, entre outros que de momento não me ocorrem, que nos momentos mais difíceis tiveram sempre uma palavra amiga.

ÍNDICE:

·Sumário	4
·Introdução	6
1.1- Desidratação osmótica	7
1.2- Modelização da desidratação osmótica	11
1.3- Parâmetros que afectam a cinética de desidratação osmótica	15
1.4- Modelização da cinética de transferência de matéria	21
1.5- Considerações termodinâmicas	26
1.6- Propriedades da estrutura do tecido parenquimatoso da maçã	30
1.7- Conclusão	38
·Objectivos e plano de trabalho	41
·Materiais e métodos	44
3.1- Matérias primas	44
3.2- Métodos experimentais	45
3.3- Métodos analíticos	48
·Resultados experimentais	55
4.1- Comprovação dos resultados experimentais	55
4.2- Equilíbrio	57
4.3- Estrutura	65
4.4- Composição	67
4.5- Variação de massa total	74
4.6- Evolução da composição com o tempo	76
·Conclusões	78
·Bibliografia	81
·Apêndice A	95

Sumário

Quando a composição de determinado sistema se mantém inalterada com o tempo, diz-se que este atingiu o estado de equilíbrio correspondente às condições a que está sujeito. Este texto debruça-se sobre o objectivo de determinar a influência da temperatura e da concentração nas propriedades de equilíbrio de um sistema composto por maçã- solução de sacarose e tenta explicar as seguintes observações :

- O equilíbrio em termos de fluxos de solutos e de água é alcançado a um tempo t diferente daquele em termos de fluxo de massa total, sendo este último alcançado posteriormente.

} Confuso!

- As concentrações mais elevadas produzem fluxos e variações de volume de maior ^{variação} dimensão, anulando-se estes fluxos para soluções isotónicas.

- A temperatura não tem uma influência bem definida nos valores das propriedades medidas, porém para temperaturas mais elevadas o equilíbrio é alcançado mais rapidamente.

}

↓
A que resultados chegou? Conseguiu

ou não explicar tais observações?

(quem observou?)

Introdução

1. Introdução

Aumentar a vida útil e controlar a deterioração dos alimentos é o objectivo dos processos alimentícios e para decidir que processo ou processos devem ser utilizados tem de se ter em conta:

-A natureza do alimento

-O custo do processo

Sendo a água um dos componentes maioritários dos alimentos e que afecta directamente a qualidade e segurança dos alimentos, já que controla muitas alterações físico-químicas e bioquímicas, eliminar ou tornar-la indisponível para o crescimento microbiano é o princípio mais importante de muitos processos, como por exemplo a Desidratação Osmótica; que mesmo sendo conhecida desde os tempos mais antigos para a conservação de alimentos, é ao mesmo tempo uma das mais actuais, já que tem um papel importante na actividade industrial de transformação e conservação de alimentos. Em alguns casos a desidratação parcial de alimentos é imprescindível para obter certas características que facilitem os seus processamentos (Fellows, 1988; Sokhansanj e Jayas, 1987).

No entanto, os produtos que são obtidos em tecnologias de conservação por métodos combinados não têm por vezes uma boa aceitação por parte do consumidor, devendo-se às modificações que se produzem nas características organolépticas do produto final (Chirife, 1992), dependendo as respectivas modificações das condições em que se realiza a secagem, do método empregue e do tipo e estado do alimento que se trate (Erbersdobler, 1986).

A textura é uma das características que mais facilmente é alterada quando um alimento é submetido a desidratação e, em alguns casos, esta não é recuperada de

todo ainda depois da rehidratação; de todas as formas, a maioria dos métodos de conservação de alimentos fazem com que a textura destes se modifique (Fellows, 1988). Alterações no sabor e aroma, assim como na cor, são também frequentes quando os alimentos se desidratam; geralmente, as condições mais drásticas de temperaturas e tempo de exposição fazem com que estas modificações sejam mais profundas (Fellows, 1988). As perdas das características nutricionais dos alimentos, durante a desidratação, incluem a degradação de proteínas a aminoácidos com a consequente diminuição do valor biológico e da digestibilidade desta fracção (Erbersdobler, 1986); as vitaminas também podem perder-se durante a secagem, atingindo em alguns casos 50% (Sokhansanj e Jayas, 1987); é frequente que as operações de preparação, prévias à desidratação, causem mais perdas de vitaminas que a própria operação de secagem, como sucede no processamento de algumas frutas e hortaliças durante operações como lavar, escaldar, pelar, cortar, etc. (Fellows, 1988).

Nos últimos anos, numerosos trabalhos se têm centrado na análise e comparação de resultados obtidos da DO de frutas com o intuito de melhorar a qualidade dos produtos desidratados, trabalhando em condições de pressão atmosférica (DO) e em condições de vazio (DOV), observando-se nesta última cinéticas de transferência de massa mais rápidas (Hawkes e Flink, 1978; Dalla Rosa e col., 1982; Fito, 1992; Mata, 1993; Pastor, 1994; Pensaben, 1994; Shi, 1994; Fito e Pastor, 1994).

1.1. Desidratação osmótica (DO)

Fellows (1988) define desidratação como a aplicação de calor sob condições controladas de modo a eliminar a maior quantidade de água possível presente num alimento.

Julia co: naturalmente produto

Existem vários métodos de desidratação tais como: ar quente, congelação, liofilização, osmose, filtração, entre outros. O mais usual é a evaporação superficial, também conhecida por desidratação por ar quente, a qual tem vindo a perder lugar de destaque em favor da desidratação osmótica, pois esta técnica reduz as necessidades energéticas e aumenta a qualidade do produto final (Bolin e col., 1983; Flink, 1975).

A desidratação osmótica é um conjunto de operações que tem como finalidade eliminar total ou parcialmente a água presente nos produtos alimentícios, com o fim de diminuir ou inibir as actividades químicas, enzimáticas e microbiológicas que são responsáveis pela deterioração dos alimentos (Fellows, P. 1988).

A desidratação osmótica consiste em pôr o alimento em contacto directo com soluções altamente concentradas do soluto apropriado, que usualmente têm por base açucares ou sais, com o qual o alimento pode perder até 50% do seu peso original (Salunkhe e col., 1973). Uma vez imerso o alimento na solução hipertónica, forma-se um gradiente de pressão osmótica que faz com que o alimento comece a perder água e a ganhar solutos. Desta forma é alcançado um equilíbrio entre o alimento e o meio que o rodeia.

O fenómeno de osmose já é utilizado desde os tempos mais remotos para conservação de materiais biológicos como, por exemplo, o uso de carbonato de sódio e cloreto de sódio já era practicado pelos egípcios à mais de 3000 anos para o embalssamento (Chirife, 1986), ou em processos onde se empregava açúcar, mel ou sal para ajudar a secagem de frutas (Barber, 1873; Gore, 1910; Tinklepaugh, 1912). Assim, Pontig e col (1966), propõem empregar o dito fenómeno para eliminar água de alimentos utilizando altas concentrações em solutos (açúcar e sal fundamentalmente).

A eliminação de água em desidratação osmótica não é na maioria das vezes por si só suficiente, é necessário então submeter o alimento a um processo posterior de congelação ou secagem para que obtenha um produto mais estável. Por esta razão, também se define desidratação osmótica como um processo realizado em etapas, sendo a primeira delas a imersão do alimento na solução concentrada (Contreras e Smyrl, 1981). Outros autores definem-na como uma “concentração osmótica” (Islam e Flink, 1982) que deverá ser complementada com um processo posterior para estabilizar o produto (Le Mager, 1988).

Os processos industriais de desidratação de alimentos buscam sobre tudo, a melhor qualidade do produto final, sendo importante também os gastos energéticos tendo em vista o aspecto económico. Frequentemente, a secagem produz nos alimentos modificações indesejáveis na textura, perdas de suculência, sabor e uma rehidratação deficiente entre outras anomalias, alguns dos quais podem ser melhorados com a desidratação osmótica (Le Mager, 1988).

Na literatura citam-se algumas vantagens que a desidratação osmótica apresenta sobre os tratamentos tradicionais:

- Devido a poder realizar-se a baixas temperaturas, a alteração na cor e sabor dos alimentos é mínima (Ponting e col., 1966).

- O sabor “fresco” de produtos como frutas mantem-se melhor se estas são submetidas a desidratação osmótica como um pré-tratamento nos processos de conservação por: congelação (Flink, 1975; Lerici e col., 1977; Huxsoll, 1982 ; Andreotti e col., 1983; Andreotti e col., 1985; Tomasicchio e col., 1986), secagem por ar quente (Ponting e col., 1966; Ponting e col., 1973; Bongirwar e Sreenivasan, 1977; Speck e col., 1977; Nanjundaswamy e col, 1978; Islam e Flink, 1982; Lerici e col, 1983; Mazza, 1983; Kim e Toledo, 1987), liofilização (Hawkes e Flink, 1978; Lerici e col., 1977; Flink, 1980), pasteurização (Andreotti e col., 1985; Torregiani e

col., 1987), secagem solar (Islam e Flink, 1982) ou em elaboração de produtos autoestáveis de humidade intermédia (Maltini e col., 1981).

- A alta concentração de soluto em redor do alimento previne o obscurecimento, evitando o uso de aditivos químicos como os sulfitos (Ponting e col., 1966; Ponting e col., 1973).

- A redução da acidez pela saída de compostos para a solução concentrada melhora o sabor, sobre tudo em produtos como frutas (Ponting e col., 1966).

- A estrutura dos alimentos conserva-se mais adequadamente devido a que a eliminação de água realiza-se sem mudança de estado (Shipman e col., 1972; Mazza, 1983; Lenart e Flink, 1984a; Muguruma e col, 1987).

- O processo de desidratação osmótica protege a perda de certos nutrientes hidrosolúveis como a vitamina C, importante em frutas (Garcia e col., 1974; Islam e Flink, 1982; Uzuegbu e Ukeka, 1987; Heng e col., 1990).

- A possibilidade de reduzir o tempo de secagem por ar quente quando se submete um alimento a desidratação osmótica prévia, diminuiria os custos de operação (Levi e col., 1983).

No entanto algumas desvantagens podem apresentar-se nos produtos desidratados osmoticamente:

- Em certos produtos a diminuição da acidez pode provocar problemas de armazenamento e alterações de sabor (Ponting e col., 1966).

- Pode formar-se uma capa de açúcar nos produtos (posteriormente à secagem complementar) que não favoreça a textura dos mesmos (Ponting e col., 1966).
- Devido à alta retenção de gorduras essenciais em produtos como as frutas, a oxidação das mesmas pode aparecer em poucas semanas deteriorando o sabor do produto (Ponting e col., 1966).
- A rehidratação de alimentos tratados por osmose é menos eficiente (Lenart e Lewicki, 1988a).
- Em geral é necessária uma etapa posterior à da DO para estabilizar o produto (Ponting e col., 1966; Baldry e col., 1976).
- A lentidão com que decorre o processo de secagem osmótica pode representar um problema em certos processos (Judson, 1974).
- O custo do processo osmose-secagem com ar pode acarretar custos mais elevados que este último por si só, mas pode ser mais rentável que os processos de liofilização (Ponting e col., 1966; Farkas e Lazar, 1969; Garcia e col., 1974).

1.2. Modelização da desidratação osmótica (DO)

Na desidratação osmótica apresentam-se vários fenómenos físicos simultâneos que dependem da pressão a que se submete o sistema. À pressão atmosférica estudam-se os fenómenos de osmose e difusão (1ª e 2ª Lei de Fick), fenómenos de tensão superficial e capilaridade (Lei de Young-Laplace).

Primeira Lei de Fick:

$$N_i = -D_i \frac{\delta C_i}{\delta X} \quad (1.1)$$

Segunda Lei de Fick:

$$\frac{\delta C_i}{\delta t} = -D_i \frac{\delta^2 C_i}{\delta X^2} \quad (1.2)$$

Em que:

N_i = velocidade de fluxo (kg/s-m²)

D_i = difusividade do componente i (m²/s)

C_i = concentração do componente i (kg/m³)

X = coordenada espacial normal à secção (m)

Lei de young-Laplace:

$$P_c = \frac{2\sigma}{D} \quad (1.3)$$

Em que:

P_c = pressão capilar (N/m²)

σ = tensão superficial (N/m)

D = diâmetro do poro (m)

1.2.1 Osmose

Fenómeno que se produz pela transferência de água presente no alimento para a solução osmótica, através da ^{membrana} membrana celular semipermeável do tecido vegetal, a qual permite a passagem da água livremente e limita a passagem de solutos (Ponting, 1973; Bolin e col., 1983; Lenart e Flink, 1984 a,b,; Lerici e col.,1985; Pavasovic e col.,1986). Enquanto o transporte de água se produz em profundidade no tecido, o soluto fica geralmente localizado numa capa superficial de 2 a 3 mm (Dixon e col., 1976; Hawkes e Flink, 1978; Islam e Flink, 1982; Bolin e col., 1983; Lenart e Flink, 1984 a; Lenart e col., 1986), já que a penetração de soluto está limitada aos espaços intercelulares (Hawkes e Flink, 1978; Bolin e col., 1983; Marcotte, 1988).

Observações ao microscópio mostram que a sacarose passa através da parede celular e acumula-se entre a parede e a membrana (Isse e Schubert, 1991), o que parece lógico já que a parede celular actua como filtro que condiciona a deslocação molecular devido a várias forças e interacções (correntes de água, cargas eléctricas, etc.), através da qual podem atravessar proteínas de grande tamanho (Robert e Roland, 1989). Formar-se-à assim, uma solução hipertónica no exterior da célula, o que induzirá o fenómeno de osmose através da ^{membrana} membrana celular. Marcotte (1988) ademais mostra que é o vacúolo da célula vegetal que rege a saída de água do tecido em DO.

O descrito anteriormente é coerente com as observações de Camirand e col.(1968) que mostram que um recobrimento com pectatos e pectinas de cálcio é permeável à água, mas não aos açúcares, favorecendo a redução de peso e impedindo a entrada de soluto em algumas carnes e peixes, ainda que este tipo de recobrimento tenha pouca influência sobre a redução de peso de frutas. Portanto, pode-se pensar que nos tecidos vegetais as membranas têm um carácter selectivo.

De todas as formas, a contribuição real do fenómeno de osmose em transportes ainda não foi avaliado totalmente. Estes fenómenos não se produzem a não ser em tecidos “íntegros”, por exemplo em produtos frescos e no princípio da DO, sabendo-se que são afectados pela resistência das células, deformação do produto, interacções fase líquida-substrato sólido, mecanismos ligados à actividade específica de algumas estruturas celulares assim como de reacções químicas e enzimáticas (Mata, 1992).

1.2.2 Difusão

Fenómeno que se produz pela transferência de água e solutos entre a solução concentrada e o alimento, através do movimento fortuito das moléculas de líquido presente nos poros do mesmo, de forma a reduzir o gradiente de pressão osmótica (Karel, 1973; Adambounou, e col., 1983; Levi e col., 1983).

Os fenómenos de osmose e difusão são estudados aplicando as leis de Fick (equações 1.1 e 1.2), considerando que a transferência de massa tem lugar em estado estacionário. A membrana celular (MC) desempenha um papel muito importante, já que é através dela que se realiza a transferência de água, mas não ~~o~~ de soluto (Bolin e col., 1983); Todavia alguns autores consideram que na desidratação osmótica de frutas, as células actuam como uma membrana semipermeável permitindo as trocas de água e ainda de parte do soluto em determinadas condições (Salunkhe e col., 1973; Chirife, 1982; Lerici e col., 1988; Vial e col. 1990), sendo por este motivo que se considera a MC uma membrana permeável diferencial mais que uma membrana semipermeável. A membrana e a parede celular, ao serem unidades biológicas vivas, podem encolher-se ou estirar-se sob a influência do crescimento ou da turgência gerada dentro da célula (Bolin e col., 1983), podendo assim modificar-se sob o efeito da temperatura e da pressão, aspecto este que facilita a entrada de soluto por difusão (Levi e col., 1983).

Note-se que a interpretação da eficiência dos diferentes solutos da solução pelas suas velocidades mais ou menos rápidas de difusão no produtos em função da sua massa molecular, não é só coerente com as leis clássicas da difusão, mas também com a teoria de “bulk flow” nos capilares (Ray, 1960), a qual põe em jogo processos não difusionais como a diferença de pressão hidrostática entre a entrada e a saída dos poros da membrana.

1.3. Parâmetros que afectam a cinética de desidratação osmótica

Considerando que a difusão de solutos do alimento, para a solução concentrada de DO, é muito pequena comparada com a entrada de solutos da solução no alimento (Hawkes e Flink, 1978; Lenart e Flink, 1984b), a velocidade de desidratação osmótica pode ser medida pelas variações representadas em função do tempo das seguintes variáveis (Lerici e col., 1988):

- Redução de peso do alimento
- Conteúdo de água do alimento
- Conteúdo total de sólidos do alimento
- Perda de água do alimento
- Ganho de sólidos efectuados pelo alimento

Existe muita informação relacionada com os parâmetros que afectam a cinética de desidratação osmótica, e ainda assim é difícil considerar a possibilidade de ter um único padrão para explicar este fenómeno, já que para diferentes tipos de matéria prima empregue encontram-se distintos comportamentos (Raoult-Wack, 1991).

Nas condições mais usuais, a parte mais “intensa” da transferência de água tem lugar durante as primeiras horas de tratamento, e durante os primeiros 30 minutos para a transferência de soluto (Guenegues, 1986). A partir desse momento, a intensidade dos intercâmbios diminui e a perda de água anula-se ainda que o ganho de solutos continue aumentando regularmente. Por estas razões o produto tende gradualmente a diminuir de peso ao início, para ganhar algo dele mesmo, devido à incorporação de solutos, conseguindo-se em tempos de tratamento extensos produtos ricos em solutos (Karel, 1973; Farkas e Lazar, 1969). Consequentemente, dificilmente se alcança uma redução de peso de mais de 50% (Ponting, J. e col., 1966), o que corresponde a um tratamento de 1 a 5 horas, dependendo das condições de operação (temperatura e agitação) e para soluções muito concentradas e peças pequenas de alimentos.

A perda de água e o ganho de solutos na DO dependem por uma parte das propriedades dos tecidos (muitas vezes afectados pelos pré-tratamentos), e por outra parte das condições de tratamento, modo de corte dos produtos, temperatura, diluição, concentração, composição da solução de desidratação (massa molecular dos solutos, presença de iões), assim como a forma com que se efectua o contacto entre fases (mistura sólido/líquido) (Mata, 1992).

Como foi mencionado anteriormente, são muitos os factores que podem afectar a cinética de desidratação osmótica, de forma que se fará apenas menção aos que se consideram mais importantes:

1.3.1 Estrutura e composição do alimento

Foram observadas diferenças até 25% na redução de peso de diferentes produtos sob as mesmas condições processuais (Ponting, 1966). Também foi demonstrado que o padrão da cinética de desidratação pode ser afectado pelas variedades de uma mesma fruta (Hartal, 1967). Algumas características do tecido e a composição podem ser factores determinantes na DO como, o grau de compactação

de tecido (Giangiacoimo e col., 1987); o conteúdo inicial de matéria insolúvel (Lenart e Flink, 1984); os espaços intercelulares (Zozulevich e D'yachenko, 1969; Hawkes e Flink, 1978; Dalla Rosa e col., 1982); a relação pectina-celulosa/pectina livre (Forni e col., 1986) e a gelificação de pectinas (Moy e col., 1978)

1.3.2 Tamanho e geometria do produto

Se a relação área/volume é muito grande, o ganho de sólidos é alto e a perda de água é baixa, podendo-se assim dizer que o ganho de sólidos é controlado área disponível à transferência de massa (La Font, 1988; Mastrocola, D e col., 1988). Um aumento da superfície específica das amostras aumenta a perda de água (Islam e Flink, 1982; Lerici e col., 1985), até um ponto a partir do qual o tratamento de produtos muito divididos traduz-se num ganho de solutos muito importante (Lerici e col., 1985).

1.3.3 Composição da solução osmótica

A sacarose (Ponting e col., 1966) e o cloreto de sódio (Hartal, 1967) são os solutos mais utilizados, havendo sido todavia propostos muitos outros como: glucose, lactose, hidrolizados de amido de baixo teor em dextroses, etanol e poliálcoois (Hawkes e Flink, 1978; Contretas e Smyrl, 1981; Lenart e Lewicki, 1986; Darbonne e Bain, 1991).

Os solutos utilizados devem, obviamente, não ser tóxicos, de baixo custo e terem uma solubilidade elevada de forma a poderem-se preparar soluções altamente concentradas, e se possível pouco viscosas, além de serem compatíveis com as características físico-químicas (ph, estrutura, entre outras) e organolépticas do alimento (Mata, 1992).

A eficácia de um soluto como agente desidratador está ligada ao poder depressor da actividade de água (a_w), sendo numa primeira aproximação, mais importante este efeito quanto mais baixa for a fracção molar de água na solução e

quanto maior forem as interações efectuadas com a água (Guibert, 1991). Sob este ponto de vista, os solutos de baixa massa molecular despertam bastante interesse. A eficácia também vem afectada pela velocidade à qual o soluto pode migrar para o alimento, e segundo este princípio, a utilização de solutos de massa molecular mais elevada, como por exemplo xaropes de glucose de dextrose cujos coeficientes de difusão aparentemente são baixos, é favorável (Mata, 1992). Aumentando a massa molecular dos solutos (empregando monossacarídeos em lugar de sais, ou polissacarídeos em vez de monossacarídeos), pode diminuir o ganho de solutos (Contreras e Smyrl, 1981; Islam e Flink, 1982; Bolin e col., 1983; Lerici e col., 1985).

A penetração de solutos pode ser procurada com fins de estabilização (agentes depressores de a_w , antifúngicos, antioxidantes), pelo interesse nutricional (vitaminas, minerais, açúcares que não provoquem cáries) ou por organolépticos (aroma, sabor, textura), tendo em atenção que o soluto penetra mais facilmente no produto tendo uma massa molecular baixa (Mata, 1992).

A utilização de soluções mistas (açúcar-sal em proporções 50/10 ou 45/15) permite poder beneficiar-se das vantagens da cada um dos componentes (Islam e Flink, 1982; Lenart e Flink, 1984). Efeitos de sinergismo e interações foram observados também: o sal impede, em alguns casos, a formação de uma capa superficial de açúcar (Lenart e Flink, 1984). Na mesma ordem de ideias, parece interessante operar a DO em duas fases como por exemplo: com solutos de massa molecular elevada numa fase inicial e seguidamente de baixa massa molecular, a fim de “separar” e assim conseguir controlar melhor o efeito de desidratação e de impregnação (Raoult-Wack, 1991).

1.3.4 Concentração da solução osmótica

As transferências são geralmente favorecidas quando se utilizam soluções muito concentradas (60 a 70 g em 100 g de solução), e com produtos cortados em

troços pequenos (1 a 2 cm³). Um aumento inicial da diferença de concentração entre o produto e a solução, tem um efeito bastante favorável na perda de água (Hawkes e Flink, 1978; Islam e Flink, 1982; Conway e col., 1983; Lenart e Flink, 1984; Pavasovic e col., 1986), mas mais débil ou quase nulo sobre o ganho de solutos (Hawkes e Flink, 1978; Islam e Flink, 1982; Lenart e Flink, 1984a), daí uma redução de peso crescente com a concentração de soluto (Ponting e col., 1966; Farkas e Lazar, 1969; Bongirwar e Sreenivasan, 1977).

A uma maior concentração da solução osmótica corresponde uma cinética mais rápida, mas com soluções de baixa concentração, o processo de drenagem é mais fácil devido a uma baixa viscosidade das mesmas. Os problemas que acarreta o contacto da fase sólida dividida com a fase líquida, constituem hoje em dia uma limitação importante para o decorrer industrial do processo (Mata, 1992). Pois, a viscosidade geralmente elevada das soluções concentradas, introduz uma importante resistência externa à transferência de massa urgindo a necessidade de desenvolver um sistema adequado e compatível com a fragilidade dos produtos alimentícios cortados em pequenos pedaços (Raoult-Wack, 1991).

Uma maior concentração implica também um processo adicional de regeneração e reutilização da solução tendo em vista a rentabilidade processual.

1.3.5 Temperatura

Estudos referentes ao efeito da temperatura em tecidos vegetais foram recentemente revistos por Lenart e Lewicki (1990 a, 1990 B). Uma temperatura compreendida entre 20°C e 40°C é considerada, salvo excepções pontuais, óptima do ponto de vista qualitativo (Lerici e col., 1977). Outros estudos assinalam este intervalo como o da temperatura ambiente (Dalla Rosa e col., 1982; Andreotti y col., 1985; Lerici e col., 1985; Torregiani e col., 1987).

Trabalhar acima dos 40°C acelera consideravelmente as reacções químicas e bioquímicas, o que pode ter um efeito não desejado sobre a qualidade do produto. A temperatura crítica depende estritamente da natureza do produto. Citam-se como exemplo as recomendações de temperatura de 20°C para albricoques, de 40°C para peras ou cerejas e de 60°C para bananas ou papaias (Lenart e Lewicki, 1990 a). Para carnes e peixes, as temperaturas mais correntemente utilizadas não ultrapassam os 10°C, ainda que temperaturas de 80°C sejam também propostas (Favetto e col., 1981)

Desde do ponto de vista de transferência de massa, um aumento da temperatura de 20°C a 50°C, permite aumentar a velocidade de transferência e reduzir consideravelmente o tempo de tratamento, o que permite obter perdas de peso mais elevadas (Ponting e col., 1966; Bongirwar e Sreenivasan, 1977; Lenart e Flink, 1984 a; Lericci e col., 1986). Isto significa que a saída de água foi mais favorecida que a entrada de solutos, não obstante que para tempos de tratamento prolongados seja favorecido o ganho de solutos. No entanto, Lenart e Lewicki (1990a) observam em maçãs, cenouras e cabaças tratadas com soluções de sacarose e hidrolizados de amido, um aumento de perda de água e de penetração de soluto em proporções idênticas no intervalo de temperatura de 30 a 90°C.

Provavelmente, a temperaturas acima dos 60-70°C as propriedades dos tecidos vegetais são afectadas (Hartal, 1967), o que favorece o ganho de solutos como já foi referido. Segundo Lenart e Lewicki (1990a), a aplicação de temperatura de 70 a 90°C durante 1 a 20 minutos favorece um efeito de branqueamento adicional. A aplicação de tratamentos “alta temperatura, curto tempo” sobre produtos frescos permite obter em 3 minutos e a 80°C, a mesma perda de peso que em 3 horas de tratamento a temperatura ambiente (Lericci e col., 1986).

1.3.6 Pressão

Existe na bibliografia escassa informação no que respeita ao efeito das pressões abaixo da pressão atmosférica sobre o processo de desidratação osmótica (Dalla Rosa, 1982; Hawkes e Flink, 1978; Mata, 1992; Pastor, 1994; Shi, 1994; Pensabén 1994; Andrés, 1994; Fito e Chiralt, 1994). Todos eles coincidem ao dizer que a aplicação de vácuo produz os seguintes efeitos na desidratação osmótica:

- Perda de peso mais rápida
- Saída de água mais rápida na primeira meia hora
- Maior entrada de sólidos no alimento
- Aspecto fresco e translúcido do alimento

Consequentemente verifica-se que o processo é bastante mais rápido; no entanto e infelizmente, ainda não foram estudados aspectos sensoriais e de qualidade em geral de produtos desidratados osmoticamente a vácuo (Pastor, 1994).

1.4. Modelização da cinética de transferência de matéria

O alimento sólido é constituído por uma matriz sólida e uma fase líquida. No decorrer da desidratação osmótica, ocorrem algumas alterações estruturais e a retração na volumetria da amostra produz uma diminuição da capacidade de retenção da fase líquida. Do ponto de vista termodinâmico, a maçã pode ser definida como um sistema multicomponente e multifásico (de facto uma célula representa uma fase por si só), mas numa aproximação de engenharia dos alimentos, a maçã pode ser assumida como água, solutos e inertes; estes últimos representam os componentes macromoleculares que constituem a matriz sólida dos alimentos.

Se se considerar o sólido constituído por água (w), sólidos solúveis (s) e sólidos insolúveis (s_i), que seriam o conteúdo da matriz sólida permanente, o produto pode descrever-se com base na sua composição química, como se descreve na equação 1.4:

$$X_w + X_s + X_{s_i} = 1 \quad (1.4)$$

Em que:

X_w = fracção mássica de água

X_s = fracção mássica de sólidos solúveis

X_{s_i} = fracção mássica de sólidos insolúveis

A descrição termodinâmica mais simples definirá uma fracção líquida, a soma das fracções mássicas de água e de sólidos solúveis ($X_w + X_s$), que inclui a maior parte da água e de solutos presentes no alimento, e uma fracção sólida, a fracção de sólidos insolúveis (X_{s_i}), que é a matriz sólida com uma parte desprezável de água adsorvida.

As cinéticas de transferência de massa obtem-se a partir da composição da fase líquida do alimento, tendo em conta que a composição da fase líquida em fracções mássicas será:

$$X'_w + X'_s = 1 \quad \text{base do sólido insolúvel} \quad (1.5)$$

Donde:

$$X'_w = \frac{X_w}{X_w + X_s} \quad (1.6)$$

$$X'_s = \frac{X_s}{X_w + X_s} \quad (1.7)$$

Nos balanços de massa, convencionou-se que os fluxos mássicos eram positivos quando se realizavam para o interior do produto. Assim sendo podem-se escrever as seguintes expressões:

$$\Delta M_t = (M_t - M_0) / M_0 \quad (1.8)$$

$$\Delta M_{wt} = (M_t X_{wt} - M_0 X_{w0}) / M_0 \quad (1.9)$$

$$\Delta M_{STt} = (M_t X_{STt} - M_0 X_{ST0}) / M_0 \quad (1.10)$$

$$\Delta M_{Sjt} = (M_t X_{Sjt} - M_0 X_{Sj0}) / M_0 \quad (1.11)$$

$$\Delta M_{It} = (M_t X_{It} - M_0 X_{I0}) / M_0 = 0 \quad (1.12)$$

$$\Delta M_{wt} = \Delta M_{wt} + \Delta M_{STt} \quad (1.13)$$

Em que:

ΔM_{It} = variação de massa de inertes ^{no} a um tempo t (Kg)

ΔM_{STt} = variação de massa de solutos a um tempo t (Kg)

ΔM_t = variação de massa total a um tempo t (Kg)

ΔM_{wt} = variação de massa de água a um tempo t (Kg)

M_0 = massa total inicial (Kg)

- M_t = massa total a um tempo *t* (Kg)
 X_{I0} = fracção de inertes iniciais
 X_{It} = fracção de inertes a um tempo *t*
 X_{ST0} = fracção de solutos iniciais
 X_{STt} = fracção de solutos a um tempo *t*
 X_{w0} = fracção de água inicial iniciais
 X_{wt} = fracção de água a um tempo *t*

A equação (1.13) pode ser usada para verificar a concordância entre as diferentes determinações experimentais (valores de massa e de fracções), representando os valores experimentais de:

$$(\Delta M_{wt} + \Delta M_{STt}) \text{ vs } (\Delta M_t) \quad (1.13)$$

estes têm de sobrepor-se à diagonal.

A difusividade efectiva (*De*) calcula-se empregando uma equação derivada da 2ª Lei de Fick (Crank, 1975), tendo em conta as seguintes considerações sobre o alimento em estudo:

- Tratar-se de um sistema isótropo *Sera'?*
- Manter constantes as dimensões ao longo do tempo *mas e variedade!*
- Ter uma distribuição inicial uniforme de cada componente do sistema e que a respectiva fracção mássica seja igual a um X_0
- Possuir uma concentração (fracção mássica) do mesmo nos limites do sistema igual a X_∞

Assumindo tudo isto e considerando a amostra de maça como uma lâmina, a solução da equação de Fick que se obtém para tempos infinitamente grandes é a que aparece na equação 1.8 (Crank, 1975; Peppas, 1984).

$$Y = \frac{8}{\pi^2} \exp \frac{D_e \pi^2 t}{4 l^2} \quad (1.14)$$

Y representa a força impulsora reduzida, obtida segundo a equação 1.9.

$$Y = 1 - \frac{M_t}{M_\infty} = 1 - \frac{X'_{wt} - X'_{w\infty}}{X'_{w0} - X'_{w\infty}} \quad (1.15)$$

Em que:

M_t = massa total transferida a um tempo t (kg)

M_∞ = massa total transferida quando se alcança o equilíbrio (kg)

X'_{w0} = fracção líquida inicial ()

X'_{wt} = fracção líquida a um tempo t ()

$X'_{w\infty}$ = fracção líquida em equilíbrio ()

D_e = difusividade efectiva (m²/s)

l = semiespessura da amostra (m)

t = tempo (s)

Aplicando logaritmos à equação 1.8, obtém-se a equação de uma recta com a qual se pode calcular o valor da difusividade efectiva utilizando para esse efeito o valor de declive (b):

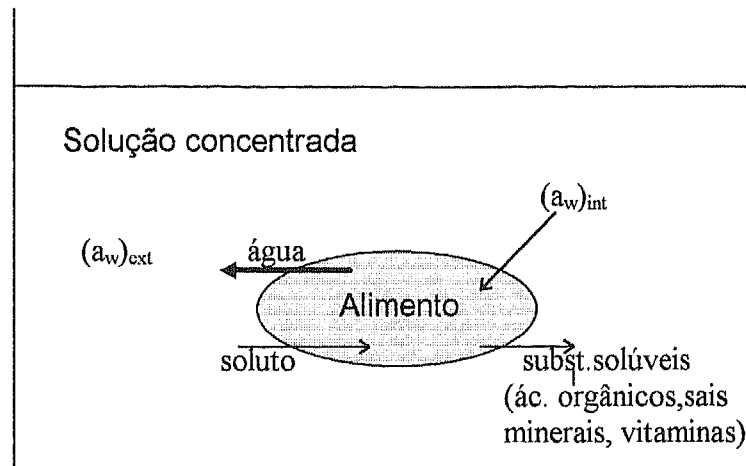
$$D_e = \frac{-4 l^2 b}{\pi^2} \quad (1.16)$$

1.5. Considerações termodinâmicas

Quando um troço de alimento é introduzido numa solução com actividade de água mais baixa (como na desidratação osmótica), ocorrem dois fluxos em contracorrente:

1. A água desloca-se desde do interior do alimento até à solução.
2. O soluto desloca-se desde da solução ao alimento (Karel, 1973; Adambounou e col., 1983; Levi e col., 1983).

Estas correntes (ver figura 1.1) são produzidas por forças impulsoras devidas à diferença de potencial químico, entre a solução concentrada e a peça de alimento (Chirife, 1982; Judson, 1974) para cada uma das espécies presentes. O potencial químico (μ) está ao mesmo tempo relacionado directamente com a actividade de água (a_w) e com a pressão osmótica.



$$(\mu_w)_{\text{ext}} < (\mu_w)_{\text{int}}$$

$$(a_w)_{\text{ext}} < (a_w)_{\text{int}}$$

Figura 1.1. Esquema da transferência de massa na desidratação osmótica

O equilíbrio entre o alimento e o líquido circundante será atingido quando o potencial químico de qualquer componente for igual em todas as fases presentes no sistema. Para água será então:

$$\mu^w |_{\text{solução osmótica}} = \mu^w |_{\text{fase líquida do alimento}} \quad (1.17)$$

Onde o potencial químico pode ser expresso como:

$$\mu^w = RT \ln a_w + \bar{V} \Delta P + \bar{V} \Psi \quad (1.18)$$

donde ne est equação?

Em que:

$$\mu^w = \text{potencial químico da água (J/mol)}$$

- Ψ = potencial matricial (N/m²)
 a_w = actividade da água ()
 P = pressão (N/m³)
 R = constante dos gases perfeitos (atm*m³/mol-°C)
 T = temperatura (°C)
 V_i = volume molar parcial da água (m³/mol)

Para alimentos com um teor de humidade elevado e um conteúdo macromolecular baixo (i.e. frutas), a contribuição do potencial matricial (Ψ) pode ser negligenciada. Por outro lado, durante a operação de desidratação osmótica, não existem gradientes de pressão excepto os originados pela turgência celular, que supostamente desaparecem nos primeiros estágios do processo. Consequentemente, a relação de equilíbrio aparece na forma simplificada:

$$a_w \big|_{\text{solução osmótica}} = a_w \big|_{\text{fase líquida do alimento}} \quad (1.19)$$

Lenart e Flink (1984a) consideram que, para se igualarem as actividades de água, podem existir fundamentalmente 3 possibilidades:

- Saída de água do tecido até um conteúdo de sólidos constante.
- O anterior mais uma possível entrada de sólidos desde da solução para o alimento.
- Entrada de sólidos da solução sem saída de água.

Possivelmente a saída simultânea de água e uma penetração em menor proporção de sólidos seja o mais aceitável. Foi comprovado que a velocidade a que sai a água do alimento até à solução concentrada é maior que a de entrada de sólidos para o interior da peça de alimento (Karel, 1973; Lenart e Lewicki, 1988a; Vial e col., 1990), o que resulta numa maior perda de água (desidratação) e um aumento no conteúdo de sólidos solúveis. Existe uma saída de substâncias hidrosolúveis nativas

em pequena quantidade, que com frequência são desprezáveis, e geramente não são tidas em conta (La Font, 1988).

Obviamente, o modelo apresentado na figura 1.1 é bastante simples, e ainda que ilustre o processo de desidratação osmótica, não pode explicar certos fenómenos, já que não se consideraram importantes aspectos da estrutura e propriedades das células que constituem o alimento, pelo qual se podem pôr as seguintes questões:

- Penetra o soluto realmente no interior da célula ?
- Afecta a estrutura celular o processo de desidratação osmótica de maneira importante ?
- Podem ser factores determinantes para o desenrolar da desidratação osmótica, propriedades como a porosidade, conteúdo de gases nos tecidos e outras similares ?

Muitas outras perguntas podem ser feitas em volta dos mecanismos responsáveis pelas alterações que ocorrem durante a desidratação osmótica dos alimentos, o que chamou recentemente a atenção de alguns investigadores, com o intuito de conhecer mais a fundo este fenómeno.

Sabendo-se que a maioria das alterações ocorrem na primeira meia hora do processo, fundamentalmente os relacionados com a saída de água (Lenart e Lewicki, 1988a e 1988b; Pastor e col., 1991), O movimento de água desde do interior do alimento até à superfície deste, a microestrutura da peça de alimento e a interrelação dos componentes deste com a água, são de suma importância para a natureza e velocidade da saída deste composto (Maggee e col., 1983). O gás natural presente no tecido de um alimento, pode resultar também importante neste processo (Lenart e Flink, 1984; Fito e Pastor, 1994). Por outro lado, a transferência de água até à solução concentrada, é facilitada pela turbulência (agitação) desta, que se encontra rodeando o alimento, já que com iste se evita que se forme uma película de

concentrada, é muito elevada, o que pode originar que a estrutura do tecido e das células sofra encolhimentos e colapsos, podendo influir nas propriedades de transferência de massa desta região do alimento, formando-se uma capa compacta de células que poderiam explicar o facto de que para tempos relativamente grandes e empregando uma concentração de sacarose de 40° Brix, a penetração seja maior que a 60° Brix (Lenart e Flink, 1984).

Vial e col. (1990) consideram que a acumulação de soluto (sacarose) está aparentemente limitada à periferia da peça, ainda que Heng e col. (1990) propoem que a redução na perda de substâncias hidrosolúveis como o ácido ascórbico nas frutas, deve-se à formação de uma “barreira” de açúcar que se forma na periferia do alimento.

Existem por outro lado dúvidas na relação de penetração real do soluto na célula. Bolin e col. (1983) consideram que pode haver uma migração abundante de soluto dentro das células, ou simplesmente, permanece entre os espaços intercelulares. Isse e Schubert (1991) por outro lado, reportam que a sacarose encontra-se no espaço existente entre a parede e a membrana das células de manga desidratada osmoticamente.

1.6. Propriedades da estrutura do tecido parenquimatoso da maçã

Devido a que, como foi mencionado anteriormente, a estrutura dos alimentos pode afectar o processo de desidratação osmótica, considerou-se importante realizar uma revisão da bibliografia acerca da estrutura da maçã e sua relação com as modificações provocadas pela desidratação osmótica.

A maçã (*Pyrus malus*) é considerada um fruto de parede carnosa, a qual foi investigada desde do ponto de vista do seu desenvolvimento a partir da década de 40 (Mac Arthur e Wetmore, 1939 e 1941; Mac Daniel, 1940; Smith, 1940 e 1950). Verificou-se que a polpa está constituída por um tubo floral e tecido carpelar. Vista em secção transversal (figura 1.2), a região do tubo floral tem um parênquima carnoso com um anel de hastes vasculares. Há cinco hastes correspondentes a 5 pétalas e a 5 sépalas que se alternam entre si e cujas ramas penetram no parênquima.

O parênquima subepidérmico da região floral tem várias capas de células alargadas tangencialmente com membranas grossas. O parênquima fundamental, localizado a uma maior profundidade, apresenta espaços intercelulares (EIC) abundantes e as células são maiores e elípticas, orientadas aproximadamente no sentido radial.

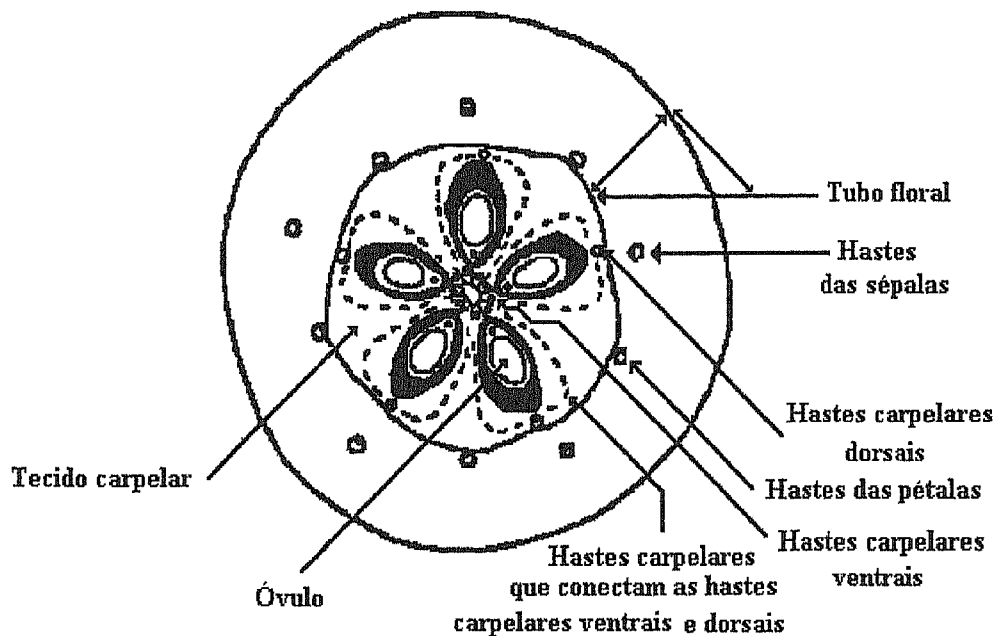


Figura 1.2. Corte transversal de uma maçã.

Reeve e Leinbach (1953) estudaram o tecido parenquimatoso de 8 variedades de maçã, encontrando muito parecidas as suas microestruturas celulares. Estes autores consideram que, mais que a composição química da maçã, tanto o tamanho das células como dos EIC são definitivos nas características de textura destas frutas. Utilizando técnicas de microscopia óptica (com aumentos de 60x) obtem-se cortes entre 300 e 500 μm de fatias do centro de diferentes variedades de maçãs, chegando Reeve (1953) às seguintes conclusões à cerca das características fundamentais deste tecido:

- Existem diferentes distribuições de tecido vascular para cada variedade, mas a estrutura celular parece muito similar em todas.
- Tanto as células como os EIC são maiores em regiões equatoriais centrais, que nas zonas finais do cálice, nas mais próximas do coração, nas adjacentes à cutícula e nas hastes vasculares.
- As células e os EIC do parênquima são mais alongados e grandes à medida que se avança da pele para o coração (ainda assim existem autores que afirmam o contrário, como se mencionará mais adiante), existindo uma variação muito grande nos tamanhos.
- Ainda não existe uma orientação definida das células e dos EIC, estes últimos encontram-se alongados radialmente e interconectados entre si por pequenos poros.
- Existem diferenças nos tamanhos das células e EIC do tecido parenquimatoso da maçã devido às variedades, estados de maturação e possivelmente ao tamanho e forma do fruto.

Nos quadros 1.1.,1.2., e 1.3, podem-se apreciar os resultados obtidos por Reeve (1953), onde se observam alguns dos pontos mencionados anteriormente.

Quadro 1.1.
Tamanho de células (μm) de diferentes
variedades de maçãs maduras

Variedade	Imediatamente abaixo da pele	De 3,2 a 6,6 mm abaixo da pele	De 10 a 16 mm abaixo da pele
Newtown e Pippin	76 ± 16	182 ± 42	210 ± 39
Winesap	67 ± 21	194 ± 42	214 ± 35
R. Delici ^{us}	67 ± 18	161 ± 27	170 ± 30
Rome Beauty	67 ± 24	193 ± 34	207 ± 39
Gravenstein	85 ± 27	221 ± 43	235 ± 58

Fonte : Reeve (1953).

Quadro 1.2
Dimensões das células de parênquima
de maçãs (zona central)

Variedade	Comprimento (μm)	Largura (μm)
Newtown e Pippin	261 ± 58	136 ± 29
Winesap	266 ± 42	142 ± 33
R. Delicatus	266 ± 57	124 ± 33
Rome Beauty	327 ± 72	142 ± 21
Gravenstein	494 ± 95	157 ± 32

Fonte : Reeve (1953).

Quadro 1.3.
Dimensões dos espaços intercelulares da região média do parênquima de
diferentes variedades de maçãs.

Variedade	Comprimento (μm)	Largura (μm)
Newtown e Pippin	257 ± 72	485 ± 192
Winesap	275 ± 74	480 ± 157
R. Delicatus	269 ± 93	487 ± 154
Rome Beauty	257 ± 75	562 ± 231
Gravenstein	350 ± 108	665 ± 274
Mc Intosh	300 ± 75	590 ± 250
Gravenstein	295 ± 74	620 ± 233

Fonte : Reeve (1953).

Quadro 1.4.

Alguns parâmetros da microscopia do tecido parenquimatoso de maçã
“Granny Smith” em dois estados de maturação*.

Parâmetro	Maçã verde			Maçã madura		
	Externo	Centro	Interno	Externo	Centro	Interno
Área de células (μm)	17 000	19 000	15 000	22 000	19 000	19 000
	19 000	12 000	20 000	20 000	17 000	18 000
% de área ocupada por EIC	27,25	12,18	13,06	43,23	27,88	28,02
Comprimento das células (μm)	227	208	196	250	278	340
	186	203	233	248	304	442

* Os resultados são referentes à média da medida de entre 17 e 40 células.

Fonte : Trankoontivakorn, G.; Patterson, M.E.; Swanson, B.G. (1988).

Trankoontivakorn, G. e col., (1988) realizaram um estudo empregando microscopia electrónica de varrimento (SEM) e posterior análise de imagem das fotografias obtidas, para caracterizar por estas técnicas o tecido parenquimatoso das variedades de maçã “Granny Smith” e “Red Delicious”, nos diferentes estados de *maturidade ou amadurecimento* madurez e observaram que o tecido destas variedades tem uma microestrutura muito similar. As células do parênquima formam uma espécie de “redes”, tanto na região média como a denominada pelo autor parte interna da maçã; estas redes formam aglomerados de aproximadamente 6 células enlaçadas entre si criando grandes espaços intercelulares no centro.

Os EIC mudam a sua forma de redonda para elíptica nas diferentes perspectivas de corte ou planos de observação; nas secções transversais do eixo

cálice-pedúnculo dos EIC são arredondados, e nos cortes perpendiculares a este são elípticos (Trankoontivakorn e col., 1988; Reeve, 1953), ainda que com frequência apareçam como hexágonos ou octágonos, cujos lados correspondem as paredes das células que os circunscrêvem (Mata, 1992).

Mata (1992), empregando uma técnica de S.E.M. (*scanning electron microscopy*), observou um EIC do tecido parenquimatoso de maçã (TPM) de aproximadamente 150 μm de diâmetro, o qual estava conectado através de poros de menor diâmetro com outros EIC, os quais poderiam ser ainda de maiores dimensões. Este feito já tinha sido observado anteriormente por Reeve (1953) e Leinbach (1953), o qual faz do tecido de maçã um material sumamente poroso.

Em redor das ramificações das hastas vasculares que penetram o TPM, Mata (1992) observou uma estrutura menos porosa que a anterior e de células mais pequenas, verificando-se claramente que as células são cada vez mais pequenas à medida que se aproximam da haste vascular (de 90 a 115 μm).

As células são esféricas e mais pequenas nas capas imediatamente por debaixo da pele observando-se que tem uma maior dimensão na parte média do parênquima, e à medida que se avança para o centro tornam-se elípticas. Existem discrepâncias entre os diferentes dados existentes na bibliografia sobre este ponto, pois enquanto Reeve (1953) diz que são maiores conforme se avança da pele para o “coração”, Trankoontivakorn e col. (1988) opina o contrário. Observando os dados do quadro 1.1. (Reeve, 1953) vê-se que o desvio ^{padrão} ~~standart~~ das medidas das células de todas as variedades que se estuda, são suficientemente grandes para que não exista diferença estatística significativa entre as medidas das células. No quadro 1.4. apresentam-se os dados obtidos por Trankoontivakorn, G. e col., (1988), de onde se observa que à medida que se caminha da zona mais externa à mais interna (da pele ao centro) as células são aparentemente mais pequenas, no entanto o autor não menciona nenhum dado que indique a dispersão dos valores que reporta. No mesmo quadro 1.4. observa-se que, em maçãs “Granny Smith” maduras, não existe diferença

na área das células da zona central e interior, apesar do autor não mencionar nenhum dado que indique a dispersão dos valores a que se reporta. Observa-se também o dado de percentagem de área ocupada pelos EIC, encontrando-se valores até 43%, onde se reflete a grande porosidade do tecido da maçã. Do mesmo modo pode-se observar que a porosidade do estado maduro, tanto no centro, como no interno são muito parecidos (27,88% e 28,02% respectivamente).

A caracterização do tamanho e da forma das células assim como dos EIC do tecido da maçã é de suma importância para estudar os processos ou fenómenos relacionados com o armazenamento e industrialização. Bolin e Huxsol (1987) observaram que o “índice de redondez” (IR) e o factor forma (FF) das células do tecido parenquimatoso de maçã, está alterado quando somente se perderam 2% do peso no processo de desidratação, pelo que consideram que o FF pode ser empregue como um indicador muito sensível ao grau de modificação da geometria das células de maçã. Também o pode ser a relação comprimento/largura da célula (CL); de facto uma célula de secção completamente redonda daria um FF e um CL igual a um. Bolin e Huxsoll (1987) encontram valores de $FF = 1,22$ e $CL = 1,37$ para células do tecido parenquimatoso central das fatias da zona equatorial de maçãs “Granny Smith”.

A quantidade e tamanho dos EIC no tecido da maçã parecem estar relacionados com a textura do fruto e sua resistência a tratamentos térmicos (Reeve, 1953), pelo que a avaliação dos EIC é de grande importância. Kim e Hung (1990), empregando técnicas de SEM e análises de imagem, avaliaram a quantidade de EIC em maçã que haviam sido golpeadas de uma maneira controlada, para estudar efeitos de golpes no manejo pós-colheita da fruta, encontrando que o número de EIC é maior nos tecidos golpeados.

Reeve (1953) comenta, numa revisão sobre a relação entre a estrutura e a textura de frutas e vegetais, que: “O tecido de maçã é tão esponjoso devido à grande quantidade de EIC conectados entre si que chegam a representar um 30% do total

do volume ocupado pelo tecido, pelo que a maçã é estruturalmente adequada para processos que empregam infiltração de xaropes no vazio, para a liofilização e para a desidroliofilização”.

Muito pouco foi publicado em relação às alterações estruturais do tecido de frutas, quando submetidas a desidratação osmótica. Mercado (1990) observa que existe uma plasmólise das células que estão em contacto com a solução osmótica (sacarose 65%) e que esta pode representar uma barreira adicional à transferência de matéria no processo, que se estuda a uma temperatura de 50°C e empregando a variedade de maçã “Granny Smith”.

A plasmólise representa a perda da turgência das células, sendo esta última a pressão exercida pelo protoplasma sobre a parede celular. Esta pressão varia com o movimento osmótico da água. O ganho osmótico aumenta a pressão de turgência e conduz à perda da “frescura” das frutas. Durante a desidratação das frutas, esta turgência celular perde-se, e em muitas ocasiões não se pode restituir na rehidratação, entre outras coisas pela cristalinidade adquirida pela celulosa da parede celular. Reeve (1970), menciona que este problema pode-se ^{ver} diminuir empregando novos métodos de desidratação de frutas entre os quais se cita a desidratação osmótica.

1.7. Conclusões

Os fenómenos de transporte em alimentos e outros materiais biológicos, constituem um elo muito importante entre o processamento destes materiais e a qualidade e segurança dos produtos. Desafortunadamente e apesar da sua importância, não lhes é prestada a atenção que merecem a nível prático, e a consequência de tudo isto é que hoje em dia predomina o empirismo na indústria alimentícia (Gekas, 1992).

No entanto, recentemente foi reconhecido que a maioria dos avanços realmente necessários requeriam uma maior compreensão dos mecanismos que interveem nos processos alimentícios, tanto a nível fenomenológico como quantitativo. Numerosas razões podem justificar esta necessidade tais como, (1) a crescente legislação em relação ao conteúdo nutricional e vida útil dos alimentos, (2) a disponibilidade de ferramentas que permitam quantificar parcialmente a qualidade e apreciação sensorial dos consumidores, (3) o elevado custo de energia e equipamentos, assim como (4) aspectos relacionados com a conservação do meio ambiente.

Portanto, para poder dar soluções eficazes a muitos problemas em Engenharia de Alimentos e avançar tecnologicamente neste campo é requerida uma melhor compreensão dos mecanismos envolvidos nestes processos. Às vezes, muitos destes mecanismos de transporte não são de todo conhecidos devido a, por exemplo, manifestarem-se acoplados com outros mecanismos (Peppas, 1994), ou talvez a certas dificuldades matemáticas, e também devido ao facto que a teoria clássica de fenómenos de transporte estando incluso bem estudada e compreendida, é difícil de aplicar a alimentos dado o carácter peculiar dos mesmos: estrutura, propriedades físico-químicas, etc.

No entanto, na maioria dos estudos das operações em que interveem mecanismos de transporte, como é o caso da Desidratação Osmótica (DO), o alimento por si só trata-se de uma “caixa negra”, com o que unicamente podem ser obtidos valores globais ou valores médios, das propriedades do produto tratado osmoticamente. Por esta razão, o conhecimento das propriedades dos alimentos quando submetidas a desidratação osmótica é essencial para poder compreender as possíveis mudanças ocasionadas pelas variáveis de operação (tempo, pressão, temperatura) (Aguilera, 1990; Chu y Le Maguer, 1994).

Objectivos e plano de trabalho

2. Objectivos e plano de trabalho

O interesse crescente, que se tem verificado nos últimos anos por métodos combinados que aumentem a vida útil dos produtos alimentares, cria a necessidade de estudos técnicos detalhados sobre as condições de equilíbrio. Em vista de satisfazer esta necessidade elaborou-se este trabalho, de modo a determinar a influência da temperatura e da concentração da solução osmótica sobre as propriedades de equilíbrio do sistema maçã-solução de sacarose.

2.1. Objectivos

a) Determinar qual é o tempo de trabalho mínimo para que se possa assegurar que o sistema está em equilíbrio. *tratamento?* $\rightarrow t = \infty$

b) Determinar qual é o estado de equilíbrio que se alcança trabalhando a distintas condições de concentração de solução osmótica e de temperatura (determinando qual a quantidade de sólidos solúveis e água que ficam na maçã).

2.2. Plano de trabalho

Com vista a satisfazer estes objectivos elaborou-se o seguinte plano de trabalho:

1 - Estudo do tempo necessário para alcançar o equilíbrio.

Concentrações da solução : 0, 5, 10, 15, 20, 25, 35, 45, 55 e 65 Brix¹

Temperatura mais desfavorável : 30°C (por informação dos orientadores)

Análises a realizar : peso ? de que?

¹ Ver apêndice A

2 - Estudo do equilíbrio em todo o intervalo de concentrações.

Concentrações da solução : 0, 5, 10, 15, 20, 25 ,35, 45 ,55 e 65 Brix

Temperaturas a estudar : 30, 40 e 50°C

Análises a realizar : peso, humidade, Brix e dimensões (inicial e final)

3 - Realização de provas elucidativas das observações obtidas quando se alcança o equilíbrio.

Concentrações da solução : 25 ,35 e 45 Brix

Temperaturas a estudar : 40°C

Análises a realizar : peso, humidade e Brix (inicial e ao longo do tempo)

Materiais e métodos

3. Materiais e métodos

3.1. Matérias primas

3.1.1. Fruta

As experiências foram levadas a cabo com maçã da variedade “Granny smith”, cultivada no Chile, correspondente à qualidade I e de calibre máximo(80-95), com um estado de madurez inicial idêntico (verde), a qual foi adquirida em três lotes num hipermercado de Valência.

como verificar?

3.1.2. Açúcar

O açúcar utilizado foi açúcar comercial, adquirido no mesmo local.

3.1.3. Aditivo

O tipo de aditivo usado foi um conservante com um efeito fungicida, escolhendo-se para este intuito sorbato de potássio (E202), adicionado em quantidades que respeitam nas normas fixadas pela comunidade europeia (directiva de 25/8/81)

3.2. Métodos experimentais

3.2.1. Preparação das amostras de maçã

A fruta foi armazenada numa câmara de refrigeração a temperatura constante de 3°C até ao momento da sua utilização. Às maçãs era retirado o topo e o fundo, de modo a obter-se uma fatia aproximadamente cilíndrica. Posteriormente com um cilindro oco de aço inoxidável, com 2cm de diâmetro interno, retiravam-se cilindros paralelos ao eixo cálice-flor da maçã, tendo o cuidado de não se alcançar a parte central (a qual tem uma estrutura bastante distinta). Os cilindros de amostra eram então divididos em cilindros de 1 ou 2 cm de altura e marcados com fios de algodão de várias cores com a ajuda de uma agulha. Com a parte restante do cilindro principal determinavam-se Brix¹ e humidade.

3.2.2. Preparação da solução osmótica

Para o estudo em causa foram preparados 600g de soluções açucaradas de sacarose de: 0; 5; 10; 15; 20; 25; 35; 45 e 55 °Brix e 800g desta com uma concentração de 65 brix.

Para este efeito pesou-se a massa de açúcar necessária, dissolveu-se em água destilada e adicionou-se o fungicida numa fracção mássica de 1:1000. Nas soluções mais concentradas houve a necessidade de aquecer, tendo-se no entanto em conta que esta não deviam passar os 50°C, para que não se corre-se o risco de se inverterem os açucares.

Seguidamente deixavam-se as soluções repousar 12 horas e mediam-se as concentrações empregando um refractómetro de Abbe (20°C) com uma sensibilidade de $\pm 0,01$ Brix.

¹ Consultar apêndice A

3.2.3. Metodologia experimental

A cada grupo de amostras efectuavam-se medidas de peso e volume (com uma balança analítica de 4 ^{algumas} cifras decimais e um picnómetro respectivamente), e mergulhavam-se na solução respectiva, dentro de uma caixa de rede metálica para que não flutuassem, solução esta que estava dentro de um frasco de vidro, o qual era posto numa estufa de convecção forçada, a temperatura constante, tomando então nota do tempo inicial da experiência.

qual o liquido subizado?

3.2.3.1. Ensaio preliminar

O tempo necessário para alcançar o equilíbrio era estimado por gravimetria, utilizando-se para cada concentração uma amostra com diâmetro e altura de 2cm, denominada de amostra control.

?? como se determina?

O critério usado baseava-se em que quando se alcançasse o equilíbrio o peso mantinha-se constante. O controle de peso era efectuado conjuntamente com a concentração da solução, em intervalos de tempo aproximadamente constantes, tomando-se nota do tempo exacto a que se fazia cada medida.

No equilíbrio, tornavam-se a efectuar medidas de Brix e de humidade, sendo para este efeito cortadas 3 amostras em duas partes iguais, tomando-se metade para cada determinação. Note-se que, teriam de estar submetidas às mesmas condições experimentais, ou seja, temperatura e concentração da solução osmótica, pertencer à mesma maçã, de modo a que tivessem a mesma humidade e concentração inicial, que não interactuassem no processo de desidratação osmótica entre si, ou seja, que a solução pudesse ser considerada um meio infinito e de concentração homogénia.

As temperaturas de trabalho foram: 32, 42 e 52°C com uma incerteza de $\pm 2^\circ\text{C}$. As concentrações das soluções preparadas foram : 32°C - 0,00; 4,38; 9,89; 14,68; 20,53; 24,75; 34,08; 43,87; 55,31 e 65,30; 42°C - 0,00; 5,30; 10,36; 15,35; 20,49; 25,39; 35,40; 45,45; 55,06 e 65,27; 52°C - 0,00; 6,25; 10,22; 15,11; 20,40; 25,27; 35,5; 44,62; 54,52 e 65,05.

balada

3.2.3.1. Ensaio definitivo

Neste ensaio utilizaram-se 9 amostras de 1 cm de altura e 1 amostra de 2 cm de altura, onde se efectuavam os mesmos procedimentos iniciais acima descritos (medidas de volume, peso, Brix e humidade).

Na amostra control, efectuava-se então o seguimento do seu peso com o tempo, e alcançado o ^{fim da experiência} término do experimento (usando o critério anterior), anotavam-se as propriedades de equilíbrio (as mesmas que haviam sido medidas no começo da experiência), utilizando-se as amostras de menor dimensão.

qual critério

O controle da concentração da solução era também efectuado e em todas as medidas de qualquer propriedade anotava-se o tempo experimental.

As temperaturas e as concentrações da solução foram as mesmas do ensaio anterior.

3.2.3.1. Ensaio control

As amostras nestes estudo eram compostas por : 8 de 1 cm de altura e uma de 2 cm de altura, administrando-lhes o mesmo tratamento inicial e sendo feito o mesmo seguimento do ensaio anterior.

No entanto, nos primeiros 4 dias, num intervalo de tempo de aproximadamente 24 horas, eram retiradas 2 amostras de 1 cm de altura, nas quais se

efectuavam medidas de concentração e humidade, com metade de cada amostra para cada medida distinta.

As últimas duas amostras de menor dimensão apenas foram retiradas quando se atingiu o equilíbrio, efectuando então as mesmas medidas para a amostra control.

Neste estudo foi também controlada a concentração da solução osmótica e o tempo a que se efectuava cada medida experimental.

Este ensaio apenas foi efectuado para a temperatura de 42°C e para apenas 3 concentrações (25,57, 35,53 e 45,81 Brix).

3.3. Métodos analíticos

As análises foram todas realizadas em triplicado

3.3.1 Control de peso

O controle de peso foi efectuado por gravimetria, utilizando para este efeito uma balança analítica Metler modelo AE100, a qual tem uma sensibilidade de $\pm 0,0001$ gramas.

O incremento da perda de peso foi calculado pela equação 3.1.

$$\Delta M_t = \frac{M_t - M_0}{m_0} \quad (3.1)$$

Em que:

M_0 = massa inicial de cada amostra antes de cada tratamento (Kg)

M_t = massa de cada amostra a um tempo t (Kg)

efectuavam medidas de concentração e humidade, com metade de cada amostra para cada medida distinta.

As últimas duas amostras de menor dimensão apenas foram retiradas quando se atingiu o equilíbrio, efectuando então as mesmas medidas para a amostra control.

Neste estudo foi também controlada a concentração da solução osmótica e o tempo a que se efectuava cada medida experimental.

Este ensaio apenas foi efectuado para a temperatura de 42°C e para apenas 3 concentrações (25,57, 35,53 e 45,81 Brix).

3.3. Métodos analíticos

As análises foram todas realizadas em triplicado

3.3.1 Control de peso

O controle de peso foi efectuado por gravimetria, utilizando para este efeito uma balança analítica Metler modelo AE100, a qual tem uma sensibilidade de $\pm 0,0001$ gramas.

O incremento da perda de peso foi calculado pela equação 3.1.

$$\Delta M_t = \frac{M_t - M_0}{m_0} \quad (3.1)$$

Em que:

M_0 = massa inicial de cada amostra antes de cada tratamento (Kg)

M_t = massa de cada amostra a um tempo t (Kg)

3.3.2. Humidade

O método seguido foi o 20.023 da AOAC (1980) para frutas ricas em açúcares.

Este método consiste em pesar um recipiente com cerca de 20 gramas de areia do mar e uma vareta de vidro, material este que deve ser submetido previamente a 105°C durante 1 hora e deixado arrefecer 15 minutos dentro de um excicador. Com essa mesma vareta tritura-se a amostra e homogeniza-se com a areia. O recipiente é então colocado numa estufa a 50°C durante 24 horas e posteriormente passado a uma estufa de vazio a 65°C durante o mesmo periodo de tempo. A pesagem final efectua-se tendo o cuidado dos recipientes estarem em contacto com o ar ambiente o mínimo tempo possível e se necessário para o seu arrefecimento e manejo utilizar um excicador. A estufa de vazio utilizada foi uma GallenKamp modelo OVJ.570.010J; as estufas de pré-secagem, foram estufas de convecção forçada de controle automático; a balança analítica foi a mesma que a usada para o controle de peso.

O cálculo da humidade foi determinado pela equação 3.2:

$$X_w = \frac{m_t - m_0}{m_0} \quad (3.2)$$

Em que:

da desobstrução
 m_0 = massa da amostra antes de ~~desseca~~-la (Kg)
 m_t = massa da amostra depois de ~~desseca~~-la (Kg)

O incremento da perda de água calculou-se com a medida dos valores iniciais e finais de humidade a aplicando a equação 3.3:

$$\Delta M_w = \frac{M_t X_{w_t} - M_0 X_{w_0}}{M_0} \quad (3.3)$$

Em que:

M_0 = massa inicial da amostra (Kg)

M_t = massa final da amostra depois de desidratada (Kg)

X_{m_0} = humidade inicial ()

X_{m_t} = humidade a tempo t ()

3.3.3. Sólidos solúveis

3.3.3.1. Método A

As amostras foram trituradas com um volume conhecido de água destilada. Uma vez homogeneizada a suspensão, tomaram-se umas gotas e mediram-se os Brix num refractómetro. O triturador utilizado foi um Ultra Turrax modelo T25 e o refractómetro Carl Zeiss modelo 89553 com uma sensibilidade até $\pm 0,01$ °Brix.

3.3.3.2. Método B

será 'rompe-se'?
como?

As amostras depois de desidratadas eram congeladas, de modo a que se rompe-se a sua estrutura celular. Posteriormente, eram trituradas já descongeladas com uma vareta de vidro e postas num banho de ultrasom com uma massa de água conhecida. Os Brix eram medidos da mesma forma que no método anterior.

A concentração da amostra original foi calculada mediante a equação 3.4:

$$X_{ss} = \frac{(M X_w + M_w) \times B}{M \times (1 - B)} \quad (3.4)$$

Em que:

B = Brix da amostra (10^{-2}) ()

M = massa da amostra (Kg)

Mw = massa de água destilada (Kg)

Xw = fracção mássica de água na amostra (Kg)

O incremento do ganho de sólidos calculou-se com a medida dos valores iniciais e finais de sólidos, aplicando a equação 3.5:

$$\Delta M_{ss} = \frac{M_t X_{ss_t} - M_0 X_{ss_0}}{M_0} \quad (3.5)$$

Em que:

M₀ = massa da amostra antes do tratamento (Kg)

M_t = massa da amostra depois do tratamento (Kg)

X_{ss₀} = fracção de sólidos solúveis iniciais ()

X_{ss_t} = fracção de sólidos solúveis a tempo t ()

3.3.3.3. Volume

O volume foi determinado pelo deslocamento de água destilada num picnómetro utilizando a mesma balança analítica acima descrita.

*a massa não é
insensível
a isso*

O procedimento efectuado para medir o volume consiste em 3 fases: 1 - pesagem do picnómetro seco; 2 - pesagem do picnómetro cheio de água; 3 - pesagem do picnómetro com a amostra e cheio de água. Efectuando a simplificação que a massa de água deslocada (gr) é igual ao seu volume (ml), pode-se calcular o volume pela seguinte expressão:

$$V = P_{p+w+a} - P_{p+w} - M \quad (3.6)$$

Em que:

V = volume da amostra (ml)

P_{p+w+a} = peso do picnómetro cheio de água com amostra (gr)

P_{p+w} = peso do picnómetro cheio de água (gr)

M = massa da amostra (gr)

A variação de volume é calculada por:

$$\Delta V_t = \frac{V_t - V_0}{V_0} \quad (3.7)$$

Em que:

ΔV_t = variação de volume ()

V_0 = volume inicial da amostra (m^3)

V_t = volume da amostra a um tempo t (m^3)

Resultados experimentais

4. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

4.1. Comprovação dos resultados experimentais

Experimentalmente foram medidos : pesos, humidades, sólidos solúveis (medidos sob a forma de Brix) e volume. Analisando balanços deve-se observar que a variação de massa total, medida directamente, é igual à variação de massa de sólidos solúveis, usando os Brix medidos, somado com a variação de massa de água, usando a humidade medida.

Para a comprovação dos balanços utilizou-se a equação 1.14, que se apresenta na introdução. Representar esta combinação linear, permite avaliar o efeito dos erros experimentais sobre os dados reais.

Nas figuras 4.1., 4.2. e 4.3. representaram-se, para todas as séries de concentração à mesma temperatura, os valores de $\Delta M_w + \Delta M_{ss}$ vs ΔM_t . Se se ajustar uma recta, a equação exige que a dita recta passe pela origem com declive igual a 1, quando há uma ausência de erros experimentais. Os erros serão tanto menores quanto mais se aproxime a recta ajustada à que se espera teoricamente.

Nas figuras 4.1. a 4.3. pode-se observar que os valores experimentais, para cada tratamento, quase coincidem com a diagonal, o que indica que existe uma boa correlação entre os resultados experimentais e as equações de balanço, o que ainda se pode observar no valor do declive da rectas ajustadas (valor este que se encontra próximo da unidade), ou também na correlacção entre pontos experimentais.

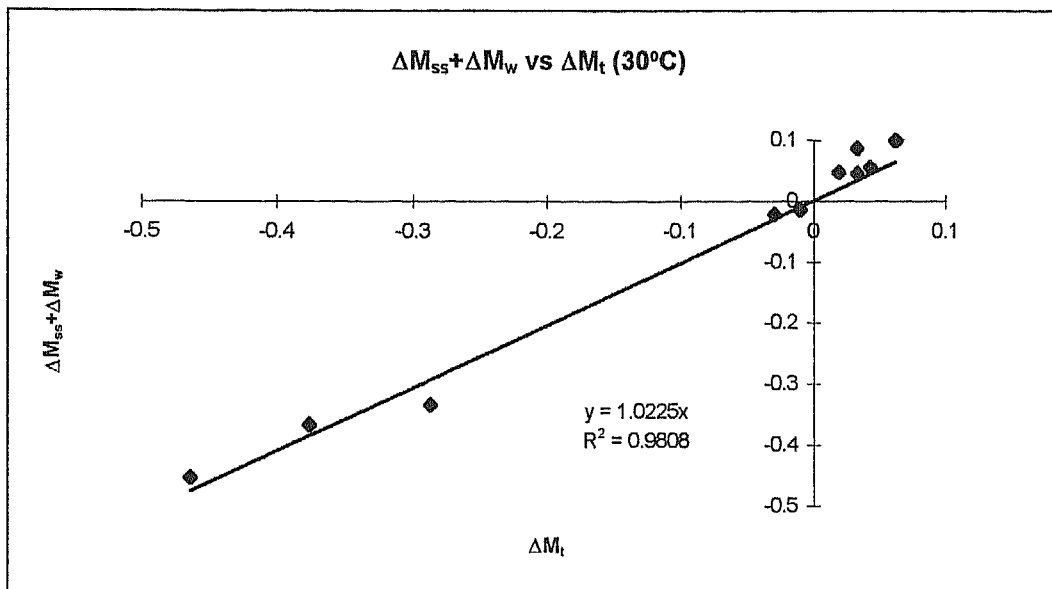


Figura 4.1. Relação entre a soma do ganho de sólidos e a de ganho de água com a variação de peso, durante o tratamento a 30°C para todas as concentrações.

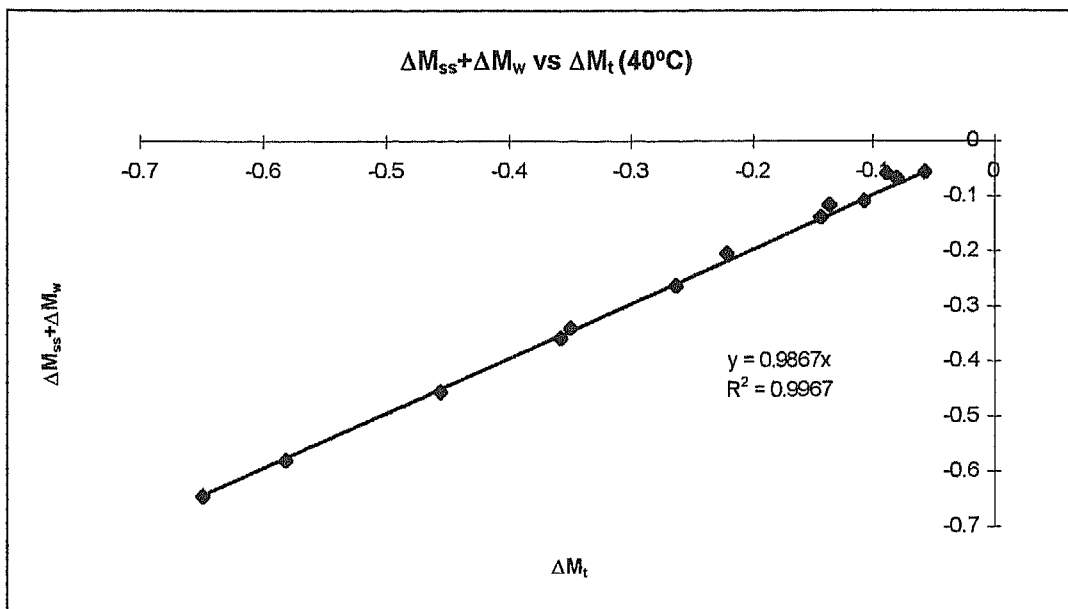


Figura 4.2. Relação entre a soma do ganho de sólidos e o ganho de água com a variação de peso, durante o tratamento a 40°C para todas as concentrações.

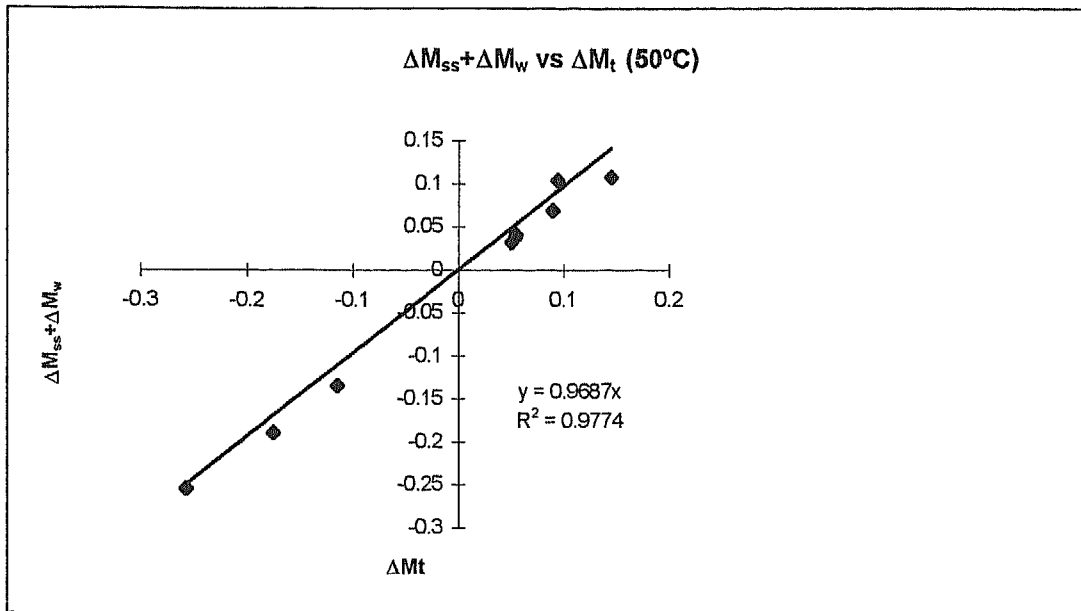


Figura 4.3. Relação entre a soma do ganho de sólidos e o ganho de água com a variação de peso, durante o tratamento a 50°C para todas as concentrações.

4.2. Equilíbrio

Quando se começou o estudo do equilíbrio, os resultados que se esperavam obter em função dos conhecimentos prévios eram, que as amostras perdessem ou ganhassem peso até alcançar um valor constante e igualassem a sua concentração com o meio exterior. Por esta razão foi estudado como variava o peso das amostras control, que eram maiores que as demais para nos assegurar que todas as amostras chegavam ao equilíbrio.

Como se verá posteriormente os resultados que obtivemos não coincidiram plenamente com os que se esperavam.

A variação de massa total das amostras control com o tempo, apresentada nos gráficos 4.4. a 4.13, foi executada com amostras de 2 cm de diâmetro por 2 cm de altura. Podendo observar-se que em todos os casos o peso da amostra control diminui inicialmente, até alcançar um mínimo. A partir desse momento o peso começa a aumentar tendendo para um ponto assintótico. Na temperatura de 50°C o processo efectua-se mais rapidamente que para as outras duas temperaturas estudadas.

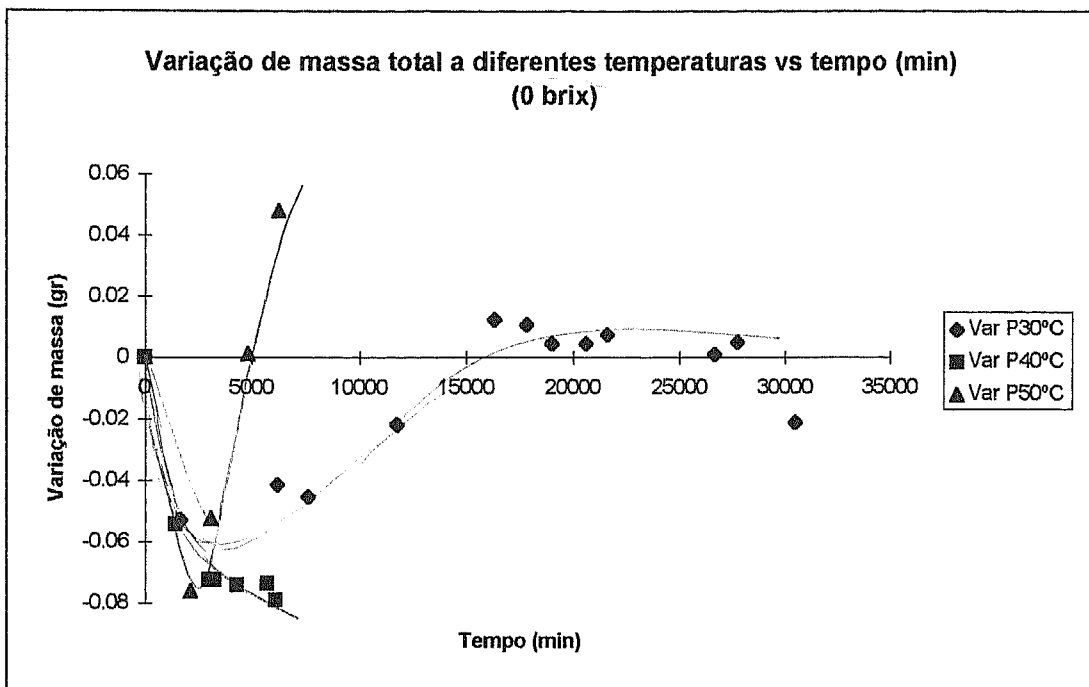


Figura 4.4. Variação de massa da amostra control (gr), a diferentes temperaturas de tratamento, frente ao tempo (min), a uma concentração de 0 Brix.

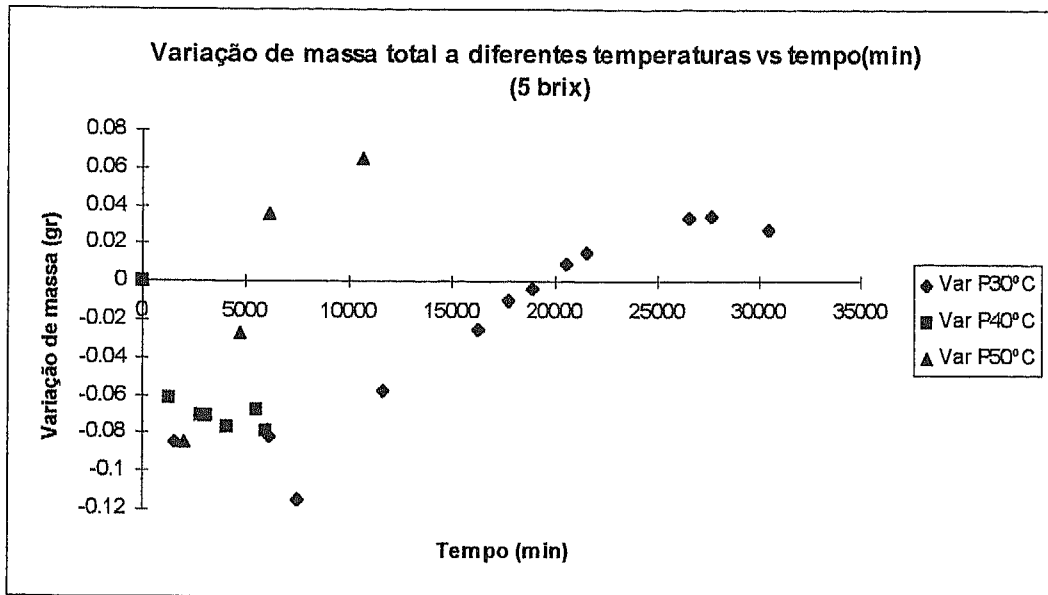


Figura 4.5. Variação de massa da amostra control (gr) a diferentes temperaturas de tratamento frente ao tempo (min), a uma concentração de 5 Brix.

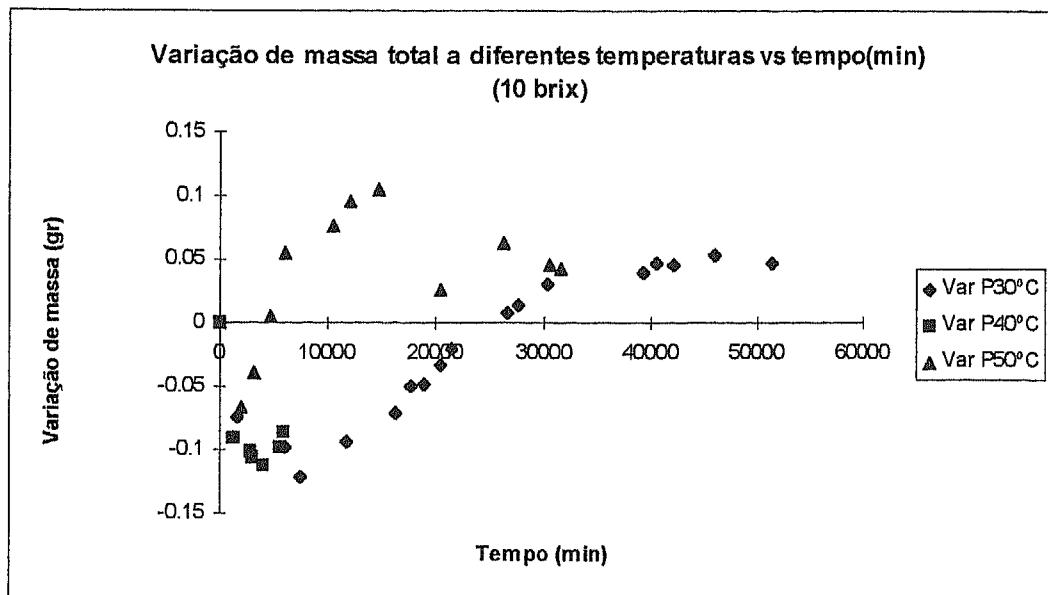


Figura 4.6. Variação de massa da amostra control (gr), a diferentes temperaturas de tratamento, frente ao tempo (min), a uma concentração de 10 Brix.

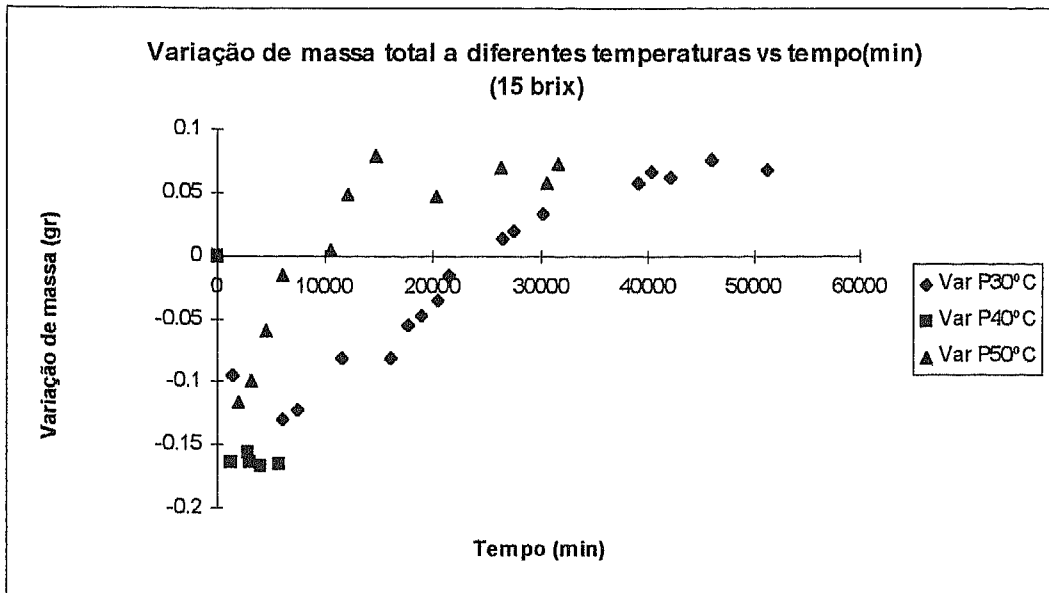


Figura 4.7. Variação de massa da amostra control (gr), a diferentes temperaturas de tratamento, frente ao tempo (min), a uma concentração de 15 Brix.

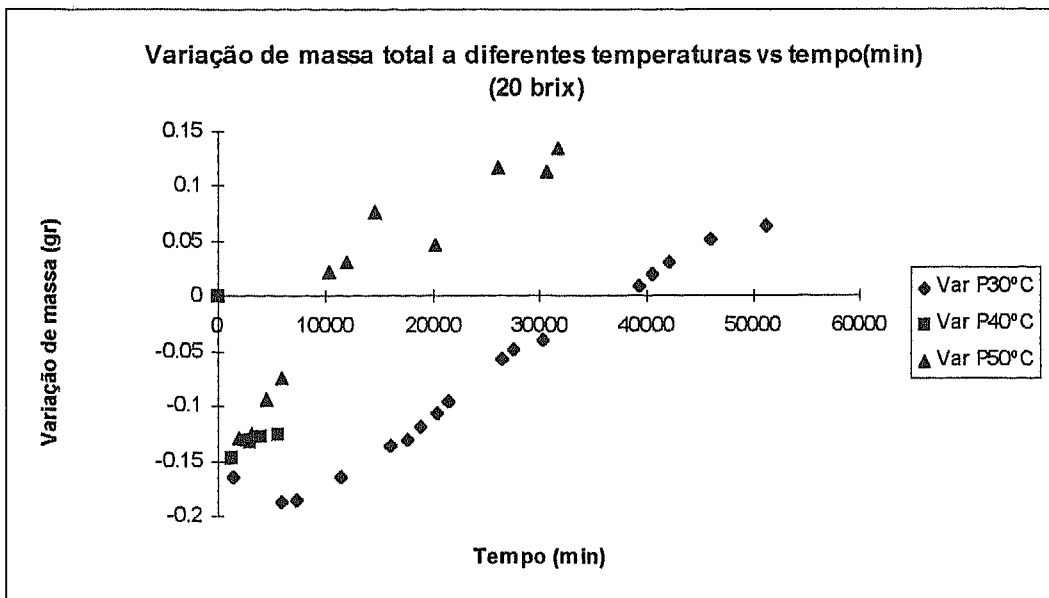


Figura 4.8. Variação de massa da amostra control (gr), a diferentes temperaturas de tratamento, frente ao tempo (min), a uma concentração de 20 Brix.

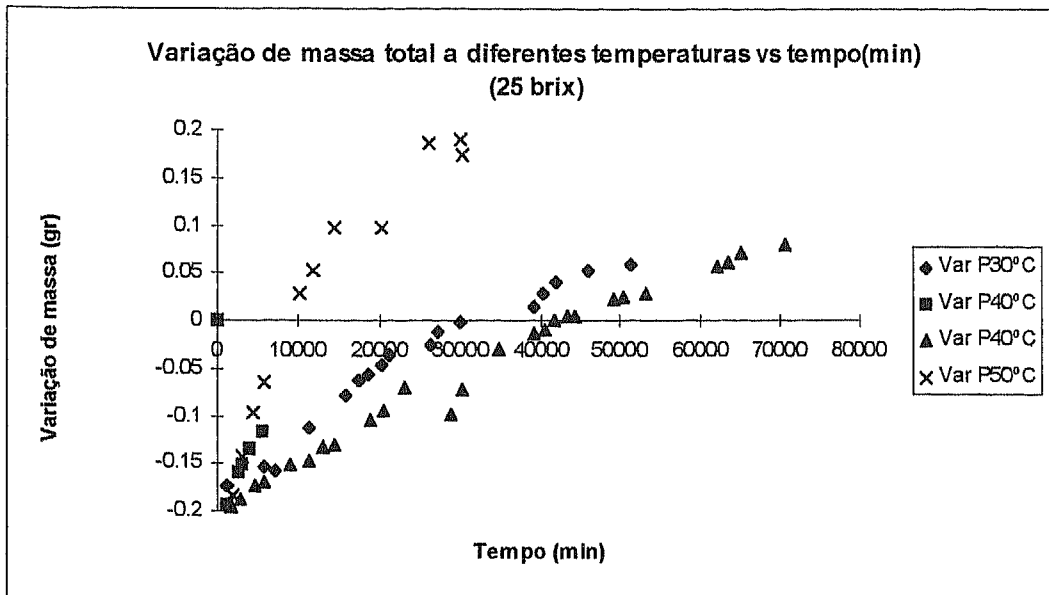


Figura 4.9. Variação de massa da amostra control (gr), a diferentes temperaturas de tratamento, frente ao tempo (min), a uma concentração de 25 Brix.

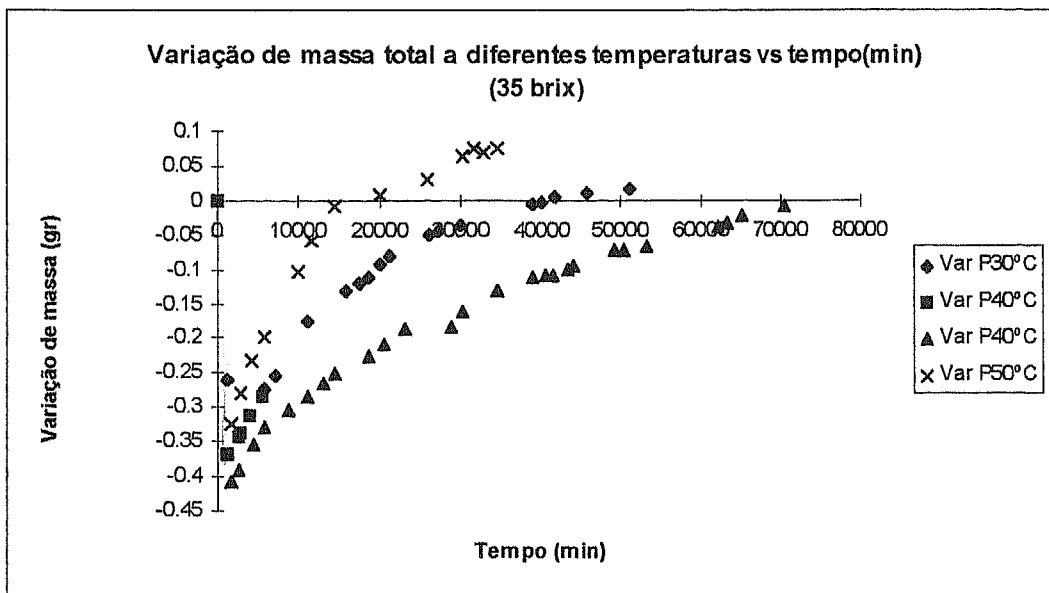


Figura 4.10. Variação de massa da amostra control (gr), a diferentes temperaturas de tratamento, frente ao tempo (min), a uma concentração de 35 Brix.

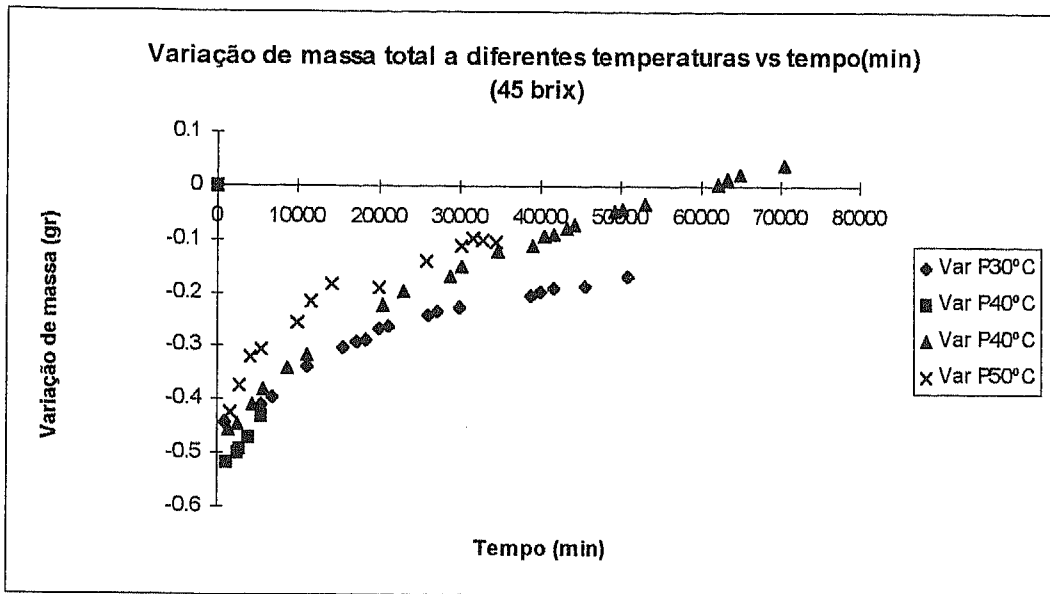


Figura 4.11. Variação de massa da amostra control (gr), a diferentes temperaturas de tratamento, frente ao tempo (min), a uma concentração de 45 Brix.

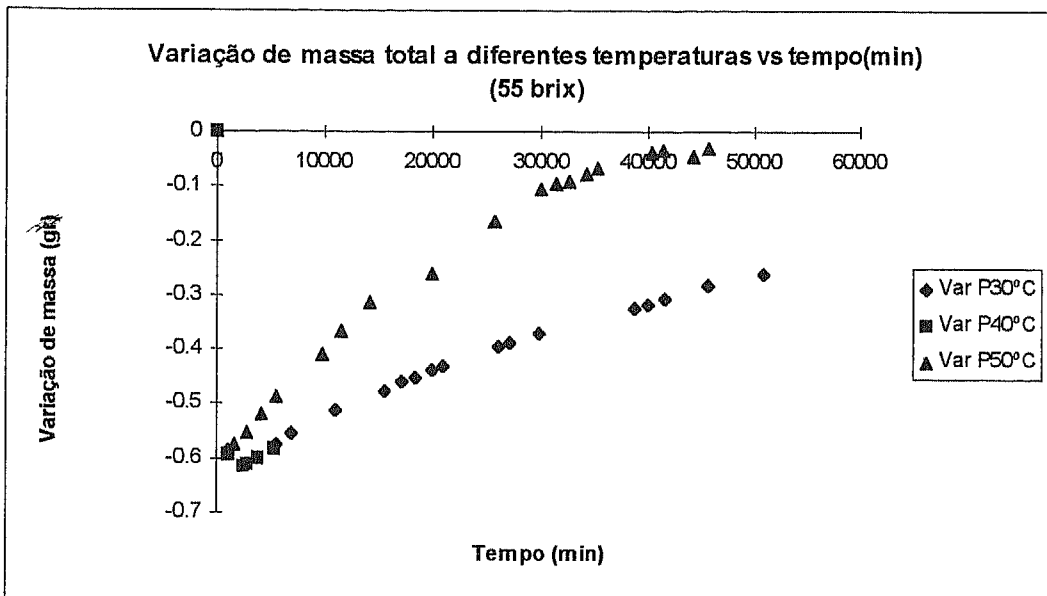


Figura 4.12. Variação de massa da amostra control (gr), a diferentes temperaturas de tratamento, frente ao tempo (min), a uma concentração de 55 Brix.

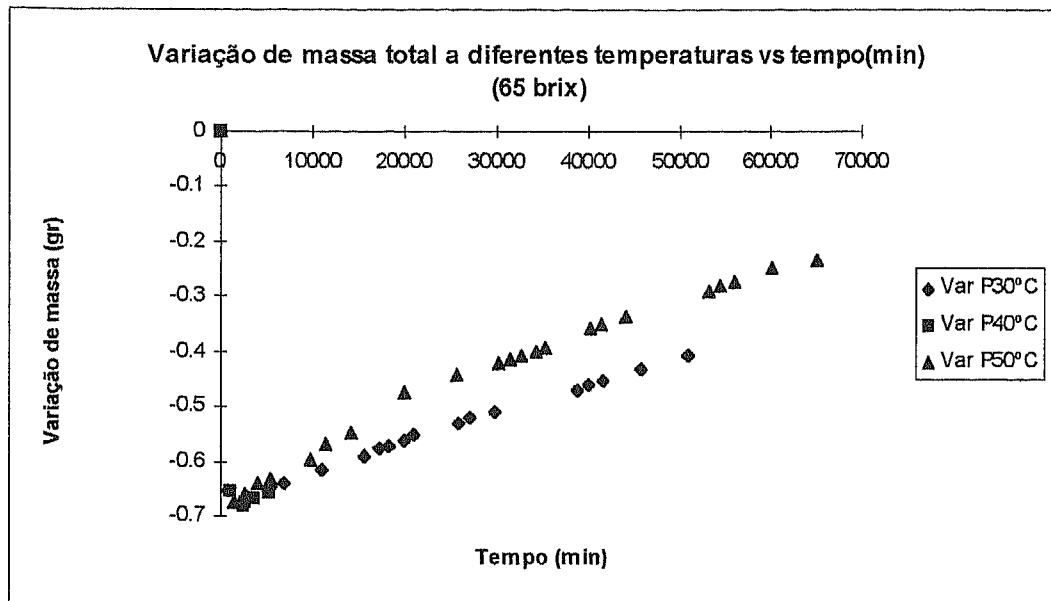


Figura 4.13. Variação de massa da amostra control (gr), a diferentes temperaturas de tratamento, frente ao tempo (min), a uma concentração de 65 Brix.

4.1.1. Forma da curva de variação de massa

• Mínimo

O valor do mínimo de variação de massa é tanto maior quanto maior for a concentração da solução osmótica. A existência de um mínimo é devida nas soluções hipertónicas à passagem de água da amostra para a solução, e nas soluções hipotónicas à perda de sólidos solúveis para a solução osmótica.

No entanto o efeito da temperatura no seu valor não fica bem claro, pois em cada concentração a temperatura condiciona a posição do mínimo de uma maneira distinta; este facto pode dever-se à insuficiência de pontos em redor do mínimo, ao facto da variação de massa se dever a mais que um mecanismo, sendo cada um destes mecanismos afectado pela temperatura de uma forma distinta, podendo-se

citar como exemplo o acoplamento do mecanismo hidrodinâmico com a retracção de volume da amostra.

O mínimo é alcançado em todos os casos antes dos dois dias de tratamento.

- Zona crescente da curva

A forma de crescimento da curva é assintótica, observando-se uma tendência a alcançar um máximo.

ne sempre!

- Término da curva

Nas curvas que chegaram a equilíbrio (0-5 °Brix a 32°C, 0-20 °Brix a 42°C e 0-55 °Brix a 52°C), no seu final a variação de massa mantem-se aproximadamente constante, devendo-se as oscilações a erros inerentes ao método à deterioração da amostra control.

Quando as amostras estavam bastante tempo em soluções pouco concentradas tornavam-se muito frágeis, o qual pode ser devido ao efeito da temperatura combinado com o máximo turgor celular.

No ponto final da curva o peso alcançado em alguns casos era superior ao peso inicial, enquanto que noutros era inferior. Observando os gráficos, ainda que nem em todos os casos se tenha alcançado o equilíbrio, podemos dizer que para concentrações menores ou iguais a 35 Brix as amostras tendem a alcançar massas superiores à inicial, qualquer que seja a temperatura. Para concentrações de 45 Brix ou superiores há diferenças neste comportamento em função da temperatura.

4.3. Estrutura

*Como foi tratado?
Resposta?*

4.3.1. Volume

Em todos os casos observou-se uma diminuição do volume de todas as amostras. Esta diminuição de volume é aproximadamente constante até a uma concentração da solução osmótica entre 25 e 35 Brix, a partir destas concentrações a variação de volume aumenta com o aumento da concentração da solução (ver gráfico 4.14).

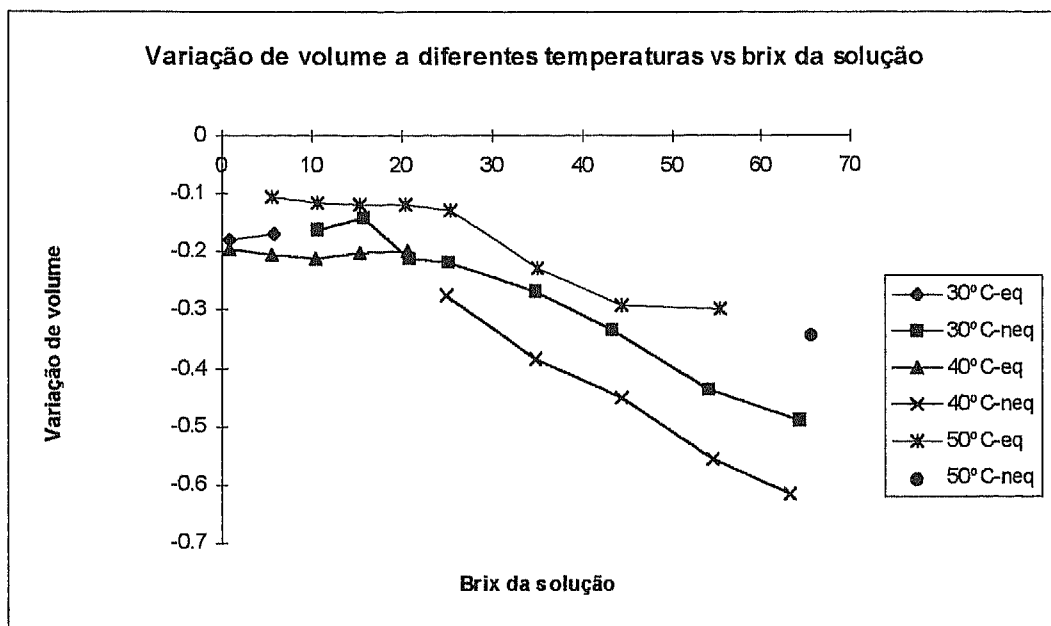


Figura 4.14. Variação de volume, a diferentes temperaturas de tratamento, frente ao à concentração da solução (Brix).

A curva de 40°C, ao contrário do que seria de esperar, encontra-se abaixo da de 30°C; no entanto deve-se salientar que estas amostras só tiveram um tempo de tratamento de apenas 4 dias no máximo.

4.3.2. Densidade aparente

Os resultados do estudo da densidade aparente das amostras desidratadas realizou-se para todas as temperaturas. Em primeiro lugar cabe destacar que os pontos para 30 e 50°C são coincidentes (em ambos os casos as amostras estiveram muitos dias sob tratamento); por outro lado a curva que se separa muito deste comportamento é a de 40°C, para estes pontos as amostras estiveram um máximo de 4 dias, o que nos faz pensar que caso tivessemos submetido estas a um processo de desidratação tão extenso como o de 30 e 50°C, estas teriam alcançado umas densidades aparentes finais similares.

Em segundo lugar, é de assinalar que observando o comportamento da densidade aparente das amostras para 30 e 50°C, a concentração de 35 Brix marca duas zonas distintas, o que já havia sido detectado no estudo da variação de volume.

Até 35 Brix a densidade aparente das amostras é muito parecida à das soluções de água-sacarose de igual concentração, pelo que se chega à conclusão de que as amostras tem uma porosidade igual a 0. As amostras postas em soluções de mais de 35 Brix, têm uma densidade bastante mais baixa em relação às anteriores, observando-se assim um salto brusco no andamento da curva.

Conforme se pode observar na figura 4.15, e excepto para a curva de 40°C, todas as densidades aparentes são superiores à inicial, supostamente devido à desgasificação da amostra.

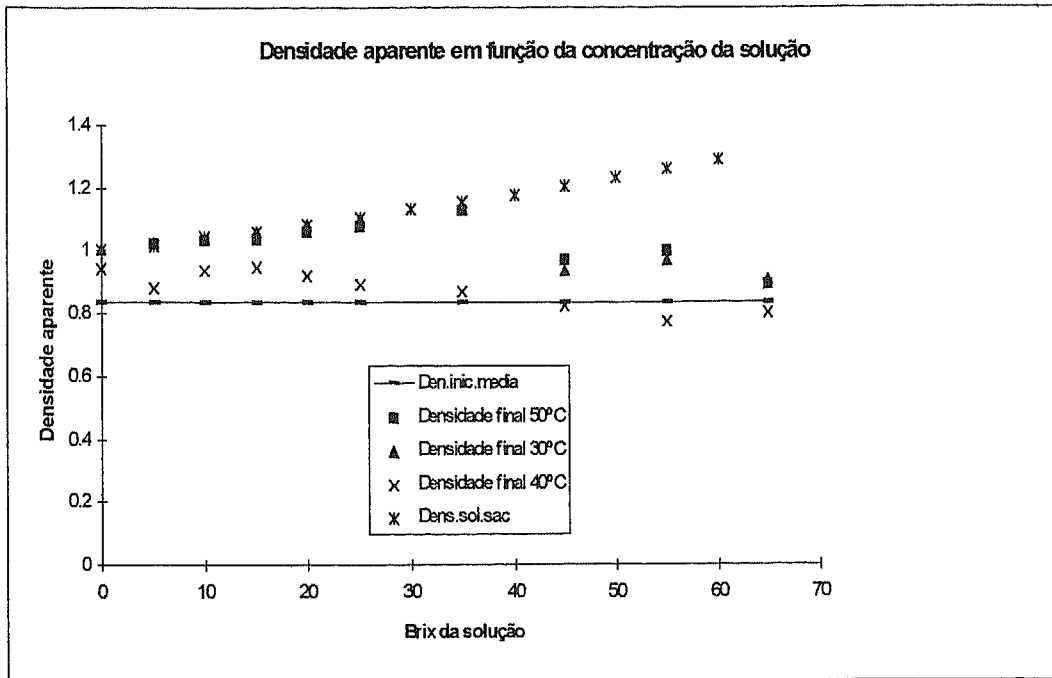


Figura 4.15. Variação da densidade aparente das amostras a 30, 40 e 50°C com a concentração da solução osmótica.

4.4. Composição

4.4.1. Sólidos solúveis

Em base do planteamento teórico do equilíbrio, quando este seja alcançado, a concentração de sólidos solúveis no alimento será a mesma que na solução exterior.

Neste estudo não existiam soluções isotônicas, mas a concentração da solução para a qual ocorre a anulação do fluxo total de solutos é para aproximadamente uns 13 Brix, valor similar de concentração ao da fruta fresca (ver figura 4.16).

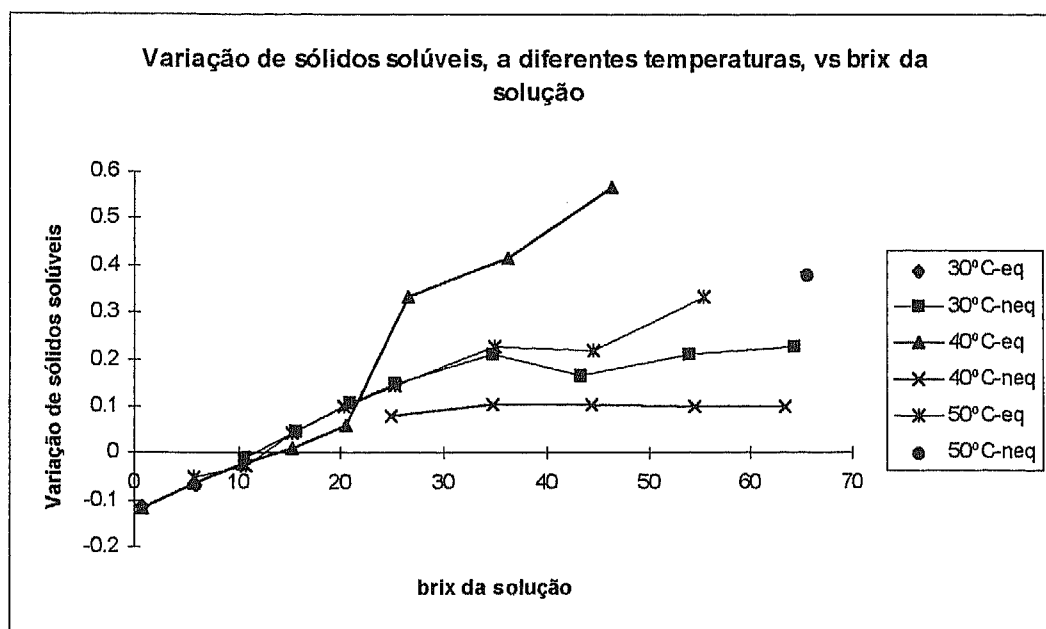


Figura 4.16. Variação do ganho de solutos, das amostras a 30, 40 e 50°C, com a concentração da solução osmótica.

As curvas obtidas aparentam dividir-se, mais uma vez, em duas partes.

Na primeira parte, o aumento do fluxo tem um andamento constante, ou seja, a variação de sólidos solúveis tem uma relação linear com o aumento da concentração da solução. Tendo como seria de esperar valores negativos para soluções hipotônicas e valores positivos para soluções hipertônicas.

Na segunda parte, o valor do fluxo parece manter-se constante, sendo de notar que as amostras de 30 e 40°C analisadas não estão em equilíbrio, e as de 50°C que estão em equilíbrio parecem ter também uma tendência de subida, mas com um declive menor que na zona anterior.

A alteração da tendência das curvas ocorre na mesma gama de concentrações da densidade aparente e do volume, o que parece lógico.

4.4.2. Massa de água

O andamento da curva, de variação da massa de água em função da concentração da solução osmótica, é o inverso da curva de sólidos solúveis em função da mesma variável. Esta observação está de acordo com a forma como se descreveu que os sistemas tentavam alcançar o equilíbrio: igualando o potencial químico, parecendo lógico que o fluxo de água tenha o sentido inverso ao fluxo do soluto, conforme se pode observar nas figuras 4.16 e 4.17.

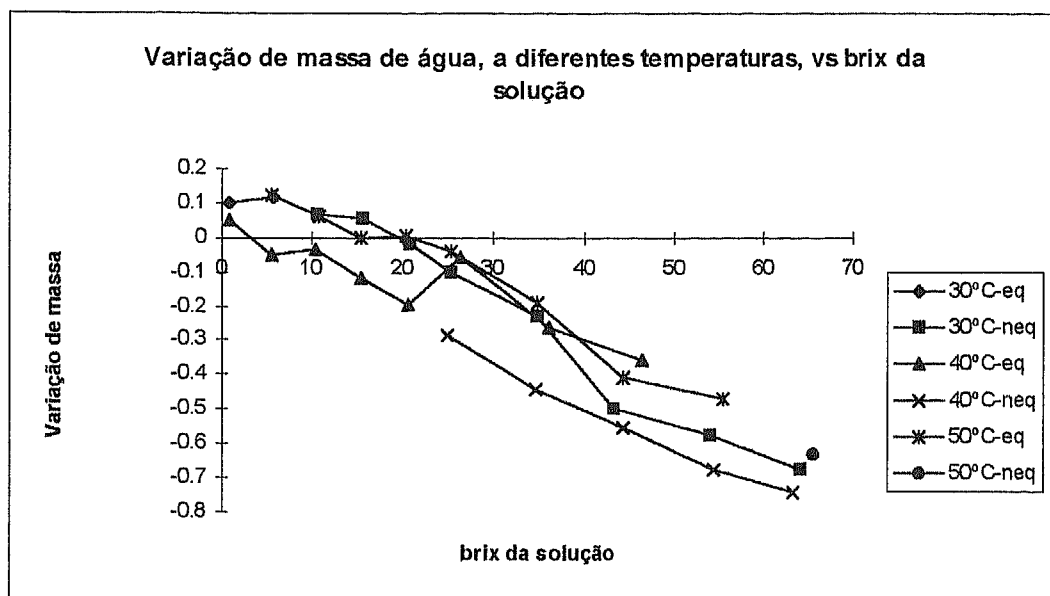


Figura 4.17. Variação do ganho de massa de água, das amostras a 30, 40 e 50°C, com a concentração da solução osmótica.

Na curva de 40°C das amostras em equilíbrio, existe um salto brusco de 20 para 25 Brix. Supostamente, e mais uma vez, este facto pode ser devido a um tempo de tratamento diferente, pois as amostras de concentrações iguais ou inferiores a 20 Brix estiveram apenas 4 dias a ser desidratadas.

4.4.3. Humidade

A humidade das amostras, tanto para as que estão numa situação de equilíbrio de massa, como para as que não estão, é praticamente igual à humidade da solução (ver figuras 4.18 a 4.20).

Se observarmos estas figuras conjuntamente com as de variação de massa com o tempo, podemos verificar que para a massa total aumentar, mantendo a humidade constante, uma das contribuições para o aumento de peso é a da passagem de água da solução osmótica para a amostra, e com a conseqüente passagem de sólidos solúveis na mesma proporção que na solução.

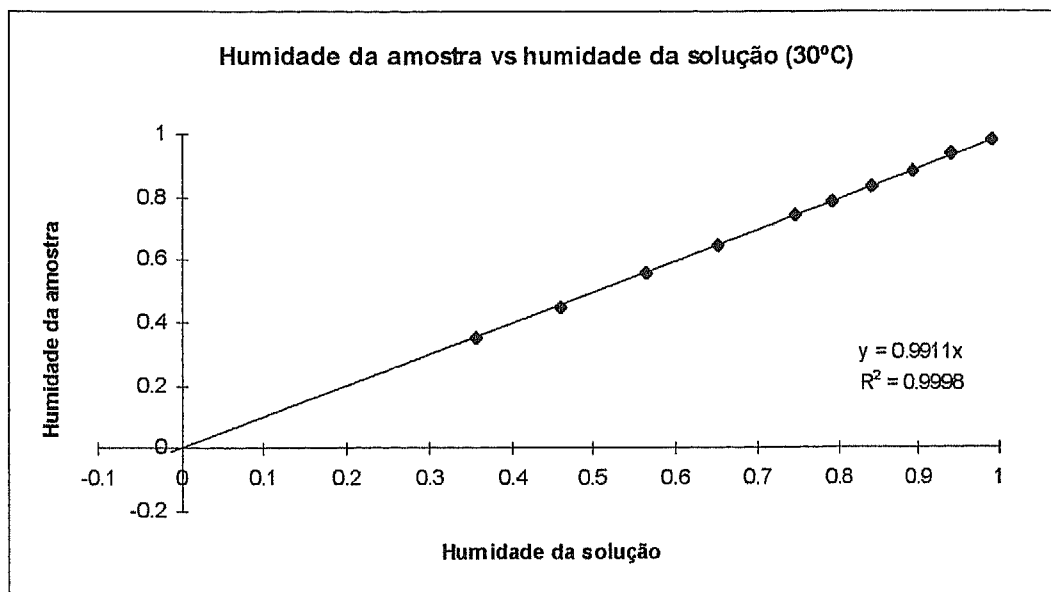


Figura 4.18. Variação da humidade da amostra a 30°C, com a humidade da solução osmótica, para todas as concentrações.

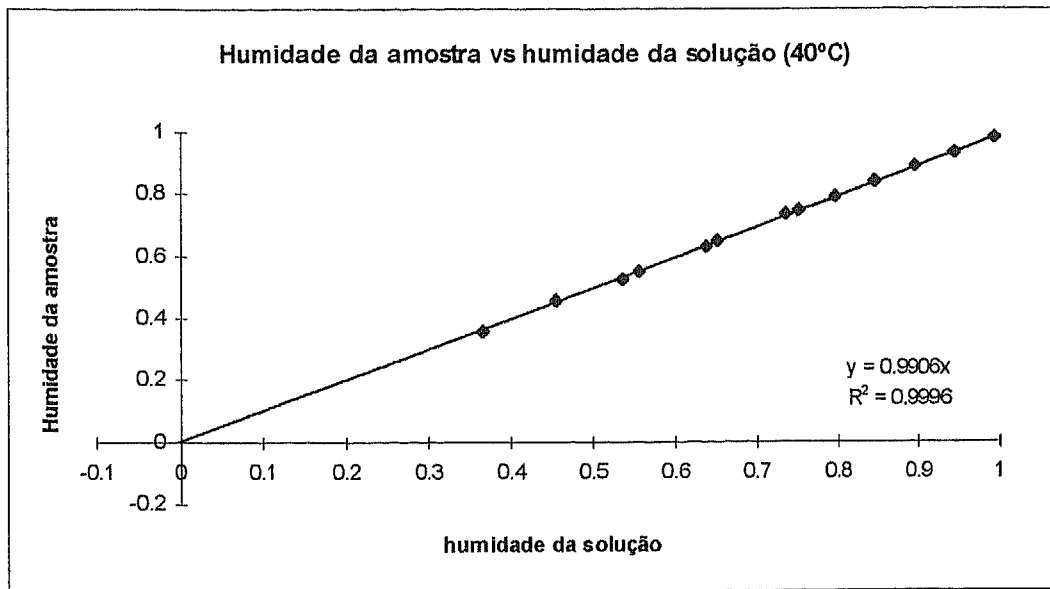


Figura 4.19. Variação da humidade da amostra a 40°C, com a humidade da solução osmótica, para todas as concentrações.

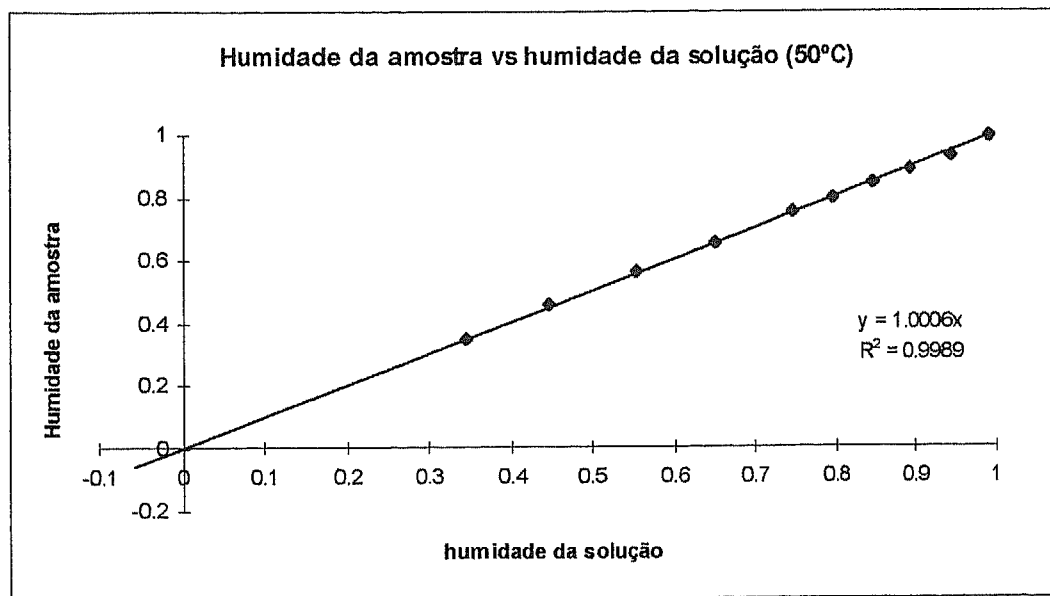


Figura 4.20. Variação da humidade da amostra a 50°C, com a humidade da solução osmótica, para todas as concentrações.

4.4.3. Concentração

Os Brix da amostra são idênticos aos da solução osmótica, como se pode observar nas figuras 4.21 a 4.23.

Nestas figuras pode-se observar que o equilíbrio entre os sólidos solúveis existentes nas duas fases, também foi alcançado, quer para as amostras que estavam em equilíbrio, quer para as restantes.

A coincidência dos pontos na linha de equilíbrio confirma, mais uma vez, que o aumento da massa se consegue através da passagem de sólidos solúveis para a solução e de água na mesma proporção, ou seja, consegue-se pela entrada de solução nas amostras.

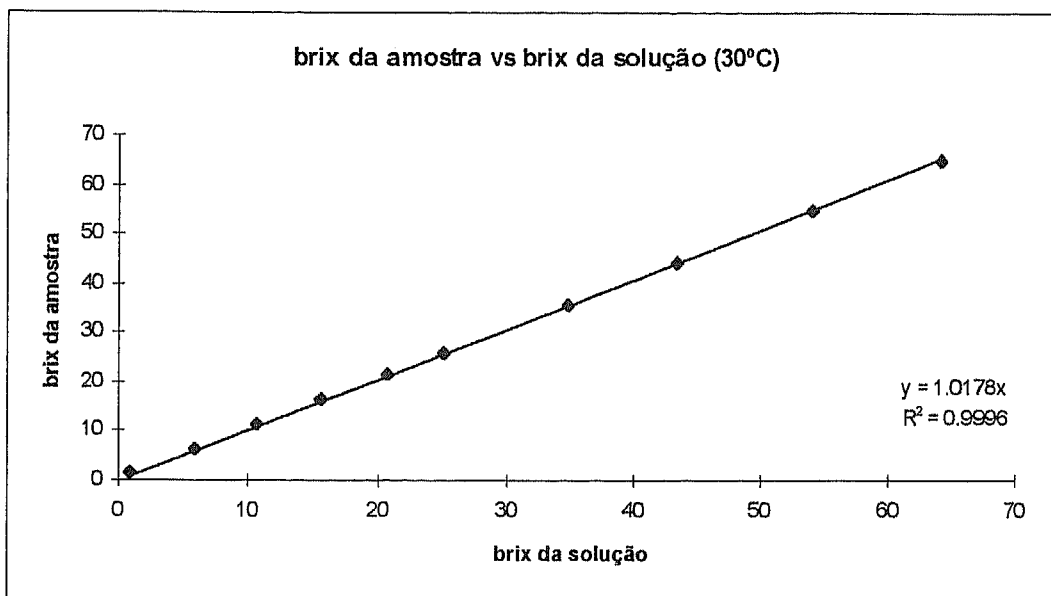


Figura 4.21. Variação da concentração de sólidos solúveis na amostra, com a variação da concentração da solução osmótica, para todas as concentrações a 30°C.

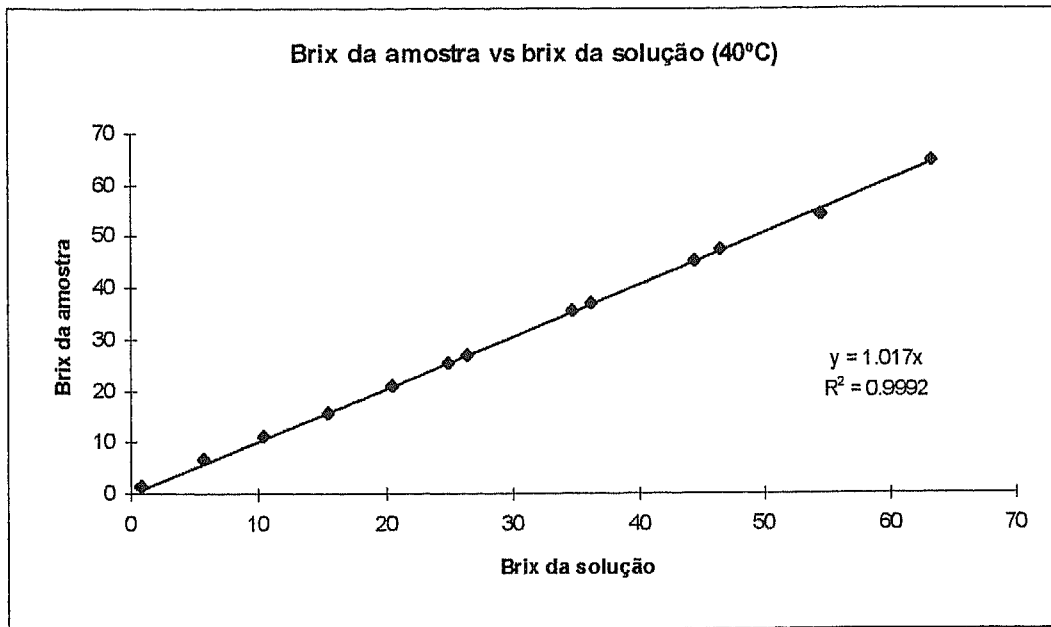


Figura 4.22. Variação da concentração de sólidos solúveis na amostra, com a variação da concentração da solução osmótica, para todas as concentrações a 40°C.

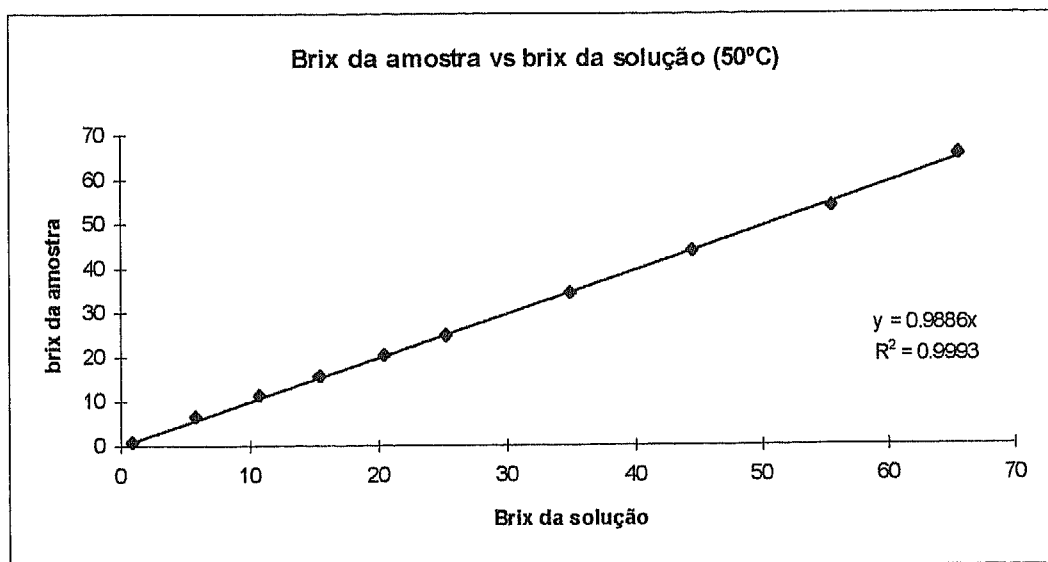


Figura 4.23. Variação da concentração de sólidos solúveis na amostra, com a variação da concentração da solução osmótica, para todas as concentrações a 50°C.

4.5. Variação de massa total

Os gráficos 4.24 a 4.26 mostram os valores médios de variação de massa para cada ponto. Como factor anómalo verificou-se que para 40°C todas as variações de massa total são negativas, as quais como já foi dito anteriormente estiveram apenas 4 dias sob o processo de desidratação osmótica.

No ponto 4.2 referente ao equilíbrio realiza-se a restante análise do comportamento da variação de massa global.

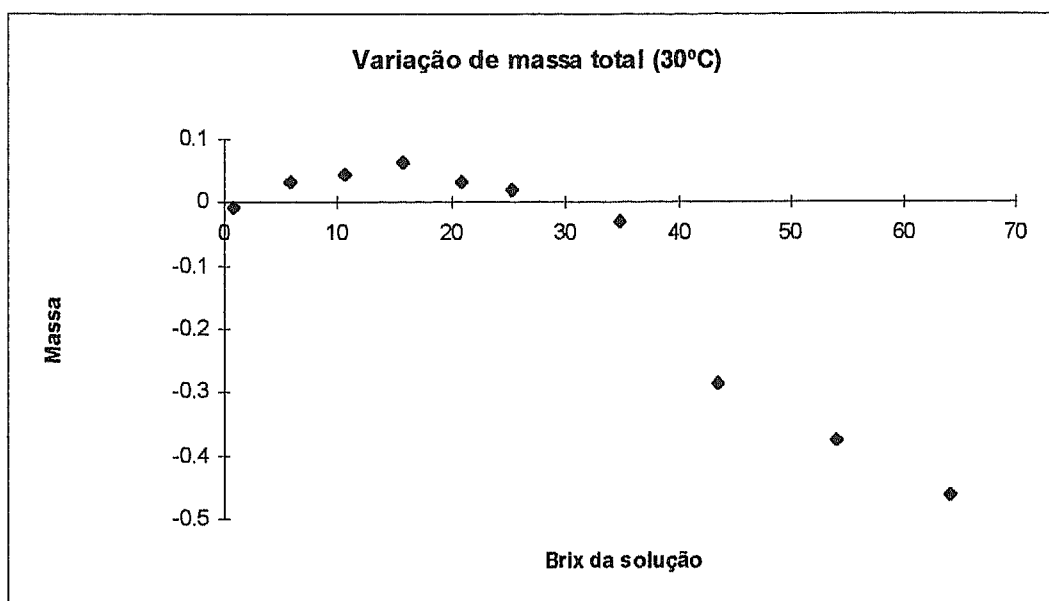


Figura 4.24. Variação da massa total na amostra, com a variação da concentração da solução osmótica, para todas as concentrações a 30°C.

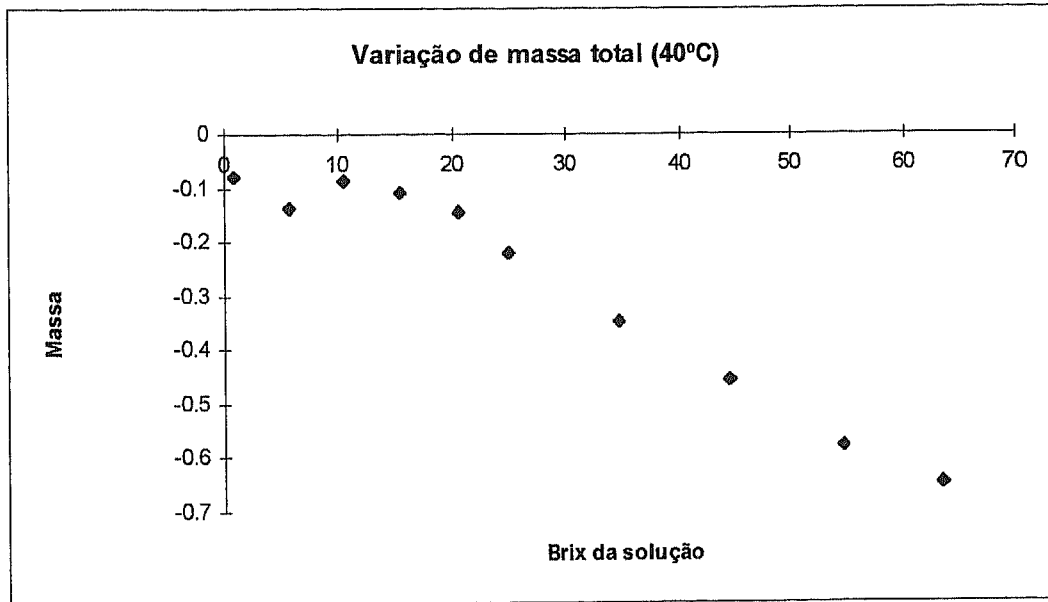


Figura 4.25. Variação da massa total na amostra, com a variação da concentração da solução osmótica, para todas as concentrações a 40°C.

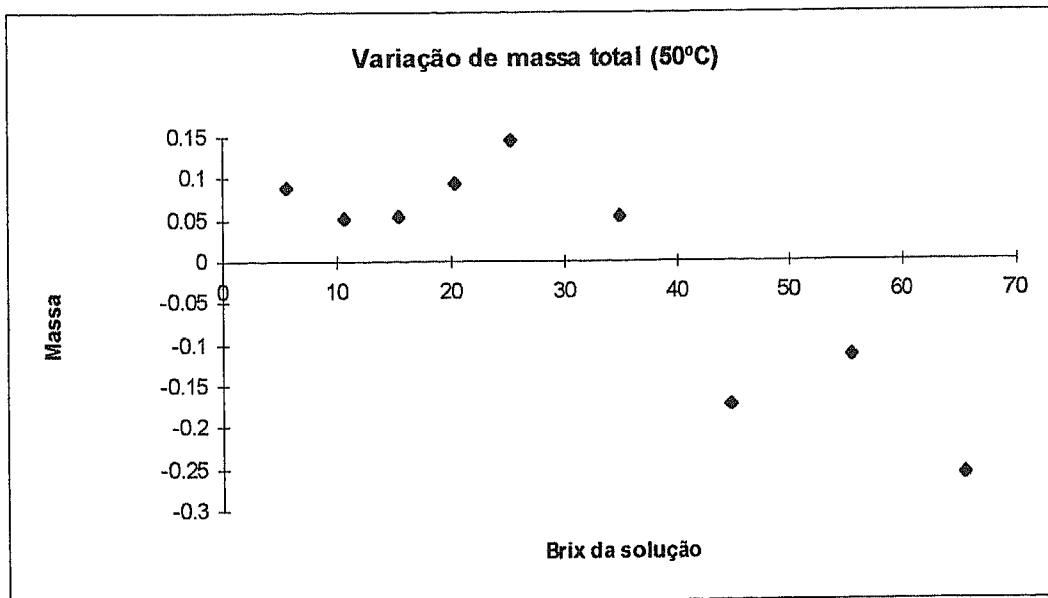


Figura 4.26. Variação da massa total na amostra, com a variação da concentração da solução osmótica, para todas as concentrações a 50°C.

4.6. Evolução da composição com o tempo

Para compreender melhor o que se passava a 40°C, efectuou-se um estudo da variação da concentração da solução (25, 35 e 45 Brix) e da amostra versus tempo.

Enquanto os Brix da solução se mantêm aproximadamente constantes, os da amostra têm um aumento inicial, que chega a ultrapassar a concentração da solução (sendo este máximo coincidente com um ponto próximo à máxima variação de massa em termos de tempo), tendendo seguidamente a decrescer, por forma a igualarem-se aos da solução, conforme se pode observar na figura abaixo.

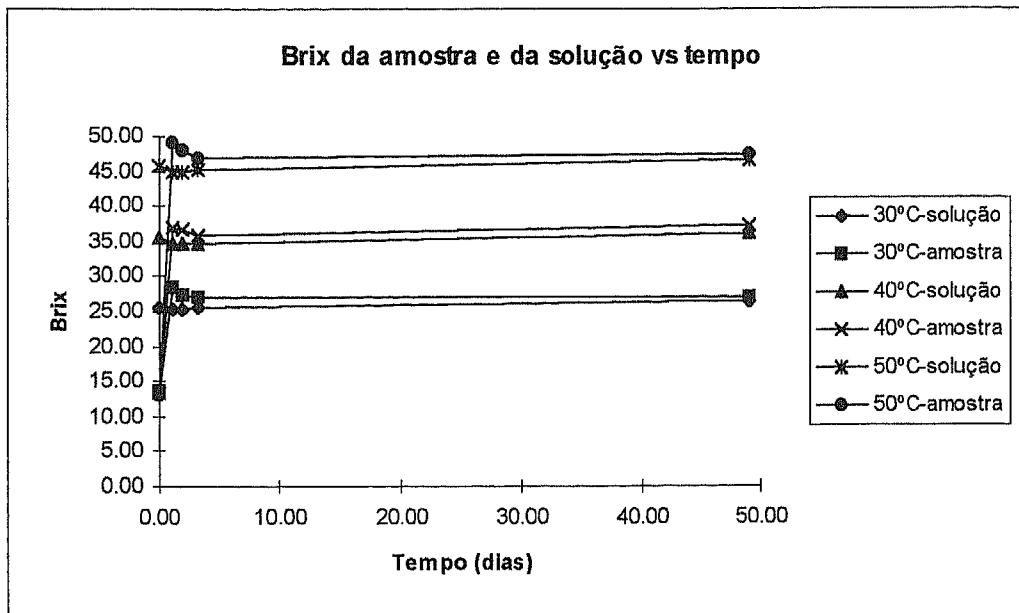


Figura 4.27. Variação da concentração, da amostra e da solução osmótica, frente ao tempo, para as concentrações de 25, 35 e 45 Brix a 40°C.

Conclusão

5. Conclusões

1.- Observando as comprovações dos balanços materiais podemos ter uma certeza razoável de que os resultados experimentais obtidos são suficientemente precisos.

2.- O comportamento das amostra control indica que a fruta tem duas etapas claramente distintas durante o processo de desidratação :

a) Uma primeira etapa em que a massa da fruta diminui, ou por perda de água ou por perda de açúcares.

b) Uma segunda etapa em que amostra depois do mínimo começa a aumentar de peso.

3.- A quantidade máxima de perda de massa em cada concentração é maior conforme esta aumenta, tal como seria de esperar.

4.- O estudo da evolução da concentração em sólidos solúveis, para as concentrações de 25, 35 e 45 Brix a 40°C, mostra que os troços de fruta têm um máximo de Brix, maior que os Brix da solução, e que parece corresponder ao ponto de perda máxima de massa. Por outro lado, a partir do ponto máximo os Brix da amostra diminuem até igualar-se com os da solução.

5.- A análise da composição da fruta, depois de um tempo suficientemente largo, mostra que a composição da fase líquida igualou-se à composição da fase exterior, em termos de humidade e Brix. Isto ocorre inclusivé nos casos em que a amostra control continua a ganhar massa. Pelo que o equilíbrio de fases pode-se definir como comentamos no início do trabalho, apesar de não se ter alcançado o equilíbrio em termos de fluxo global de massa.

6.- O estudo da evolução da densidade das amostras a 30 e 50°C indica que até 35 Brix produz-se um comportamento estrutural similar e com aumento da densidade aparente, enquanto que a partir de 35 Brix o comportamento da estrutura é distinto, o que pode ser devido a um incrustamento da amostra.

7.- A análise das nove amostras no final do tratamento demonstrou que existem diferenças, em alguns casos importantes, porquanto aos valores medidos, pelo que, se pensa, que em termos de evolução, as amostras control, que nos indicam a tendência do comportamento, não se podem usar como representativas do conjunto de amostras possíveis.

Em vista dos pontos anteriores poder-se-ia definir o comportamento da amostra como segue : no princípio da desidratação a massa de sólido diminui em termos globais.

No caso do uso de soluções concentradas por uma grande perda de água frente a uma entrada de sólidos solúveis menor. Quando se alcança a perda de massa máxima a fruta alcança uma concentração maior que a da solução. Esta observação coincide com resultados obtidos em trabalhos anteriores neste departamento e é de difícil explicação. Poderia ocorrer que o stress osmótico a que foi submetido o tecido, ao ser introduzido na solução, ponha em marcha algum mecanismo enzimático no interior da célula que tenderia a hidrolizar polissacarídeos e gerar monosacarrídeos que deprimiriam a actividade de água intercelular. Se este mecanismo continua activo durante as operações de trituração da amostra, diluição com água destilada, prévias às determinações de Brix, a medida efectuada pode não corresponder à da amostra acabada de desidratar. A partir deste momento o produto começa a ganhar peso e iguala a sua concentração à do exterior. Alcançada a igualdade de concentrações continua a dar-se um fluxo global de entrada de solução para o interior, que pensamos ser devido, ou a razões estruturais, ou a crescimento celular. Uma conclusão definitiva requeriria outro tipo de abordagem que sai fora do âmbito deste trabalho.

Bibliografia

6. Bibliografia

Adambounou, T.L.; Castaigne, F.; Dillon, J. C. 1983 a. "Lowering the Water Activity of Tropical Vegetables by Partial Osmotic Dehydration ". *Sciences des Aliments*, 3 (4) : 551-567.

Andreotti, R.; Tomasicchio, M.; Machiavelli, L., 1983. "Disidratazione Parziale della Frutta per Osmosi". *Industria Conserve* 58: 90-95.

Andreotti, R.; Tomasicchio, M.; De Giorgi, A.; Palamas, D., 1985. "Conservazione di pesche parzialmente desidratate per osmosi diretta". *Industria Conserve* 60: 96-98.

Andrés, A., Pardo, P.; Fito, P.; Chiralt, A., 1994. "Structural Changes in Porus Food During Vacuum Impregnation Process. In Proceeding of the Poster Session". *ISOPOW, Practicum II*. Edit. Argai, Lopez- Mallo Palou and Corte. UDLA Puebla, México. 18-21.

Barber, W.G., 1873. "Improvement in Preserving Fruits and Vegetables for Food". *V.S. Patent*. 144: 592.

Baldry, J.; Breag, G. R.; Caygill, J. C.; Cooke, R.D.; Ferber, C. E. M.; Kanagaspathy, L. 1976. "Alternative methods of processing mangos. *Indian Food Packer*". 30(5):56-62.

Bolin, H. R.; Huxsoll, C. C.; Jackson, A.; NG, K.C., 1983. "Effect of Osmotic Agents and Concentration on Fruit Quality". *Journal of Food Science*, 48, pp: 202-205.

Bolin, H. R.; Huxsoll, C. C., 1987. "Scanning Electron Microscope/Image Analyser Determination of Dimensional Postharvest Changes in Fruits Cells". *J. Food Sci.* 52(6):1649-1650(1698).

Bongirwar, D. R. ; Sreenivasan, A., 1977. "Studies on Osmotic Dehydration of Banana". *Journal of Food Science and Technology*, vol. 14(3) : 104-112.

Camirand, W. M.; Forrey, R. R.; Popper, K.; Boyle, F. P.; Stanly, W. L., 1968. "Dehydration of Membrane-Coated Food by Osmosis". *Journal of the Science of Food and Agriculture.* 19(8): 472-474.

Chirife, J., 1982. " Principios de Deshidratación Osmotica de Frutas". *Anales de la Asociación Química Argentina*, 70: 913-932.

Chirife, J., 1986. "El agua y sus interrelaciones con constituyentes de los alimentos". *Alimentos*, 11(2) : 35-45.

Chirife, J., 1987. "Conservación de alimentos de alta humedad por métodos combinados basados en la reducción de la actividad de agua". Instituto Politécnico Nacional. México D.F.

Chirife, J., 1992. "Curso sobre Aspectos Fundamentales de la Conservación de Alimentos por Métodos Combinados". Editado na Universidade das Américas. Puebla, México.

Contreras, J.E.; Smyrl, T.G., 1981. "An evaluation of osmotic concentration of apple rings using corn syrup solids solution". *Can. Inst. Sci. Tech. Journal.* 14(7): 310-314.

Conway, J.; Sams, C. E., 1983. "Calcium Infiltration of Golden Delicious Apples and its Effect on Decay". *Phytopatology* 73: 1068.

Crank, J.; 1975. "The Mathematics of Diffusion". Oxford University Press Inc., New York, USA.

Dalla Rosa, M.; Pinnavaia, G. & Lerici, C. R., 1982. "La Disidratazione della frutta mediante osmosi diretta. Notta II. Esperienze di laboratorio su alcuni generi di frutta". *Industria Conserve*, 57, pp: 3-7.

Darbonne, L.; Bain, J., 1991 "Process for dehydration of edible plants". Brevet Francais. Fr. 89- 08956(890704).

Dixon, G. M.; Jen, J. J.; Paynter, V. A. , 1976. "Tasty Apples Shices result from combined Osmotic-dehydration and Vacuum Drying Process". *Food Product Development*. 10(7): 60, 62, 66.

Erbersdobler, H. F., 1986. "Loos of Nutritiv Evalue on Drying". Em: Mac Carthy, D., "Concentration and Drying of Foods". Elsevier Applied Sci. Pub. 69-67.

Farkas, D. F.;Lazar, M. E., 1969. "Osmotic dehydration of apple pieces: effect of temperature and syrup concentration on rates". *Food Technology (Champaign)*. 23(5): 688-690.

Favetto, G., Chirife, J., Bartholomai, G. B., 1981. "A Study of Water Activity Loweing in meat During Immersion- Cooking in Sodium Chloride- Glycerol Solution. II. Kinetics of Aw Lowering and Effect of some Process Variables". *Journal of Food Technology* 16: 621-628.

Fellows, P.,1988. "Food Processing Tecnology. Principles and Practice". Ellis Horwood Int. Pub. Sci. and Technology.

Fito, P., Chiralt, A., Acosta, E., Andrés, A., 1992. "Vacuum Osmotic Dehydration of fruits". Em: ISOPOW-V. Castellón, Espanha.

Fito, P.; Chiralt, A., 1994. "An update on Vacuum Osmotic Dehydration

Fito, P., Pastor, R., 1994. "On Some non-diffusional mechanisms occurring during vacuum osmotic dehydration". *Journal of Food Engineering*, 21: 513-519.

Fito, P.; Pastor, R., 1994. "Modeling of vacuum osmotic dehydration of food". *Journal of Food Engineering*, 21: 513-519.

Fito, P., Andrés, A., Pardo, P., 1995. "Coupling of hydrodynamic mechanisms and deformation-relaxation phenomena during vacuum treatments in solid porous food-liquid systems". *Journal of Food Engineering*, em publicação.

Flink, J. M., 1975. "Process Conditions for Improved Flavour Quality of Freeze Dried Foods". *J. Agric. Food Chem.*, 23, pp: 1019-1026.

Flink, J. M., 1980. "Dehydrated Carrot Slices: Influence of Osmosis Concentration on Drying Behaviour and Product Quality", *Food Process Engineering*. Vol. 1 Edited by Linko- Malkki- Lariñakari. Applied Sci. Pub. Ltd. London, England.

Forni, E., Torregiani, D., Battiston, P., Polesello, A., 1986. "Research into Changes of Pectic Substances in Apricots and Peaches Processed by Osmotic Dehydration". *Carbohydrate Polymers* (6): 379-393.

Garcia, R. Menchú, J. F., Rolz, C. 1974. "Tropical Fruits Drying. A comparative study". *Proc. IV. Inter. Congress. Food Science and Technology* Vol. IV. p. 32-40.

Gekas, V., 1992. "Transport Phenomena of Food and Biological Materials". CRC Press.

Giangiaco, R.; Torregiani, D.; Abbo, E., 1987. "Osmotic Dehydration on Fruits: Part. I. Sugars Exchange between Fruits and Extracting Syrups". *Journal of Food Processing Preservation*, 11: 183-195.

Gore, H.C., 1910. "Experiments on the preparation of sugared, dried pineapples". U.S. Dept. Agr. Bur. of Chem. Circ. 57: 8pp.

Guenegues, P., 1986. "Etude Thermodynamique des Transports de Masse en Déshydratation Osmotique". D. E. A., E.N.S. I. A., Massy, France.

Guibert, S., 1991. "Additifs et Agents Dépresseurs de l'Activité de l'Eau . In Additif et Auxiliaires de Fabrication Utilisés dans les Industries Multon Coordonateur". Tec. et Doc. Lavoisier- Apria, Paris, Nouvelle édition à paraître.

Hartal, D., 1967. "Osmotic Dehydration with Sodium Chloride and other Agents". Ph. D. in Food Technology, University of Illinois, USA.

Hawkes, J.; Flink, J.M., 1978. "Osmotic Concentration of Fruits Slices Prior to Freeze Dehydration". *Journal of Food Processing and Preservation*, 2, pp : 265- 284.

Heng, K. Guilbert, S., y Cuq, J. L.; 1990. "Osmotic Dehydratin of Papaya: Influence of Process Variables on the Product Quality". *Sciences des Aliments*. 10: 831-848.

Huxsoll, C.C., 1982. "Reduccion de la carga de refrigeración por concentración parcial de alimentos antes de la congelacion". Food Technology. 36(5): 98-102.

Islam, M.N. & Flink, J.N., 1982. "Dehydration of Potatoes. II. Osmotic Concentration and its effect on air Drying Behavior". Journal of Food Tecnology. 17(3): 387-403.

Isse, M. G.; Schubert, H., 1991. "Osmotic Dehydration of Mango". Preprints II. 7. 6-12. Fourth World Congree of Chemical Engineering. Karlsruhe, Germany.

Judson, K. C.,1974. "Novel dehydration techniques. En: Advances in Preconcentratin and dehydration of foods". Ed. Arnold Spices. Applied Sci. Pub. London.

Karel, M., 1973. "Recent Research and Development in the field of Low Moisture and Intermediate moisture-foods". CRC, Critical Review Food Technology, 3: 329-373.

Kim, M. H.; Toledo, R. T., 1987. " Effect of osmotic dehydration and high temperature fluidized bed drying on properties of dehydrated rabbiteye blubberies". Journal of Food Sciense. 52(4): 980-984, 989.

Kim, M. H.; Hung, V. C.,1990 "Microscopic Measurement of Apple Bruise". Food Struture. 9(2): 97-104.

La Font, 1988. "Application de la Deshydratation Osmotique au Kiwi: Influence des Variables pour Comprendre les Mecanismes Regissants les Transfer de Matiere" Memoirie d'Ingenieur. E. N. S. B.N. A. Dijon. França.

Le Mager, M. 1988. "Osmotic dehydration: Review and future directions". Proceedings of the Inst. Symposium of Progress in Food. Preservation Process. (1): 283-309.

Lenart, A.; Flink, J. M., 1984 a. "Osmotic Concentration of Potatoes. I. Criteria for the End Point of the Osmotic Process". Journal of Food Technology. 19: 45-63.

Lenart, A.; Flink, J. M.; 1984 b. "Osmotic Concentration of Potatoes II. Spatial Distribution of the Osmotic Effect". Journal of Food Technology. 19: 65-89.

Lenart, A.; Lewiki, P.P.; Patacha, Z. 1986 . "Water Binding in the Apple Tissue during its Diffusive Processing". Drying 86. Edit. Mujundar A. Hemisphere Pub. Co. pp: 515-519.

Lenart, A. Lewichi, P.P.; 1988 a. "Osmotic preconcentration of carrot tissue followed by convection drying . In: Preconcentration and drying of food materials". Edited by Bruin, S., conference. Endhoven Netherlands. 4-5 Nov. 1987. Amsterdam; Elsevier Science Publishers B V.

Lenart, A.; Lewiki, P. P., 1988 b. "Osmotic Dehydration of Apples at High Temperature". En: Drying '89. Ed. Mujumdar A. R. and Roques, M. Hemisphere Pub. Co. 501-508.

Lenart, A.; Lewiki, P. P., 1990 a. "Osmotic Dehydration of Apples at High Temperature". Drying '89. Edit. A. S. Mujumdar Hemisphere Pub. Corp. 7-14.

Lenart, A.; Lewiki, P. P. 1990 b. "Osmotic Dehydration of Carrots at High Temperature". Engineering and Foods. W. E. I. Spies et H. Shubert Editorial Elsevier Sciences Publishers. London 1-10.

Lerici, C.R.; Pepe, M.; Pinnavaia, G., 1977. "La disidratazione della frutta mediante osmosi diretta. I-Resultati di esperienze effettuate in laboratorio". *Industria Conserve*. 52(2): 125-129.

Lerici, C. R.; Pinnavaia, G.; Dalla Rosa, M.; Bartolucci, 1985. "Osmotic Dehydration of Fruits: Influence of osmotic agents on drying behaviours and product quality". *Journal of Food Science*. 50(5): 1217-1219 y 1226.

Lerici, C. R.; Mastrocola, D.; Pinnavaia, G., 1986. "Esperienze di Osmosi Diretta ad Alta Temperatura per Tempi Brevi". *Industria Conserve*. 61: 223-225.

Lerici, C. R.; Mastrocola, D.; Sensidoni, A.; Dalla Rosa, M., 1988 "Osmotic Concentration on Food Processing". In *Preconcentration and Drying of Food Materials*. De S. Bruin. Elsevier Sciences Publishers. Amsterdam, Netherlands. 123-134.

Levi, A.; Gagel, S.; Juven, B. 1983. "Intermediate Moisture Tropical Fruits Products for Developing Countries. I. Technological data on Papaia". *Journal of Food Technology*. 18(6): 667-685.

Mac Arthur, M.; Wetmore, R. H., 1939. "Developmental Studies in the Apple Fruits in the Varieties McIntosh, Red and Wagener I". *Vascular Anatomy . J. Pomel and Hort. Sci.* 17 218-232..

Mac Arthur, M.; Wetmore, R. H., 1941. "Developmental Studies in The Apple Fruit in the Varieties McIntosh, Red and Wagener II. An Analysis of Development. *Canadian J. Res. Sect. C. Bot. Sci.* 19: 371-382.

Mac Daniels, L. H., 1940. "The Morphology of the Apple and other Pome Fruits". N. Y.(Comell). *Agr. Expt. Sta. Mem.* 230.

Maggee, T. R. A., Hassalballah, A. A.; Murphy, W. R., 1983. "Internal Mass Transfer During Osmotic Dehydration of Apples". *Annals of Warsaw Agricultural University. SGGW-AR. Food Technology and Nutrition.* 16: 17-24.

Maltini, E.; Torregiani, D.; Bertolo, G., 1981. "Recent developments in the productions of shelf-stable fruits by osmosis". *Proc. 6th Int. Congr. Food Science Technol.* (1): 177-178.

Marcotte, M., 1988. "Mass Transport Phenomena in Osmotic Processes. Experimental Measurements and Theoretical Considerations". Ph. D. University of Alberta, Canada. 193 p.

Mastrocola, D.; Severini, C.; Pestalozza, A.; Lericci, C. R., 1988 "Osmosi ad Alta Temperatura ed Essiccamento in Corrente d'aria di Prodotti Ortofruticoli". *Industria Conserve.* 63: 109-113.

Mata, M., 1992. "Aportación al Desarrollo de un Proceso de Deshidratación Osmótica a Vacío para Alimentos". Tese de Doutoramento. Universidade Politécnica de Valência, Espanha.

Mazza, G., 1983. "Dehydration of carrots. Effects of pretreatments on moisture transport and product quality". *J. Food Technol.* 18: 113-123.

Mercado, S. E., 1990 "Deshidratación Osmótica de Manzana Granny Smith: Estudio y Modelización del Transporte de Materia y de la Evolución de algunas Propiedades Físicas y Químicas". Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, España.

Moy, J. H.; Lau, N.B. H.; Dollar, A. M., 1978. "Effects of Sucrose and Acids on Osmovac-dehydration of Tropical Fruits". *Journal of Food Processing and Preservatin.* 2(2): 131-135.

Muguruma, M.; Katayama, K.; Nakamura, M.; Yamaguchi, M.; 1987. "Low-temperature osmotic dehydration improves the quality of intermediate moisture meats". *Meat Science*. 21(2): 99-109.

Nanjundaswamy, A. M.; Shetty, G. R., Saroja, S., 1976. "Studies on the development of newer products from mango". *Indian Food Packer*. 30(5): 95-103.

Pastor, R.; Mata, M.; Fito P., 1991. "Deshidratación Osmótica de Manzana". *Anales de Investigación del Master en Ciencia e Ingeniería de Alimentos*. Vol. I, Universidad Politécnica de Valencia. España.

Pastor, R., 1994. "Modelización de los Fenómenos de transporte en la Deshidratación Osmótica". Tese de Doutorado. Universidade Politécnica de Valência, Espanha.

Pavasovic, V.; Stefanovic, M.; Stefanovic, M.; Stefanovic, R. 1986."Osmotic dehydration". *Drying* 86. Hemisphere Publishing Corp. Mujumdar A. S. Ed.; Vol.(2): 761-764.

Pensaben, J. M., 1994. "Deshidratación Osmótica a Vacío de Piña y Mango". Tese de Doutorado. Universidade Politécnica de Valência, Espanha.

Peppas, N. A., Brannon-Peppas L., 1994. "Water Diffusion and Sorption in Amorphous Macromolecular Systems and Food". *J. of Food Eng.* 22, pp: 189-210..

Ponting, V.; Forrey, R.R.; Jackson, R.; Stanley, W.L., 1966. "Osmotic Dehydration of Fruits". *Food Technology* 20(10) :125-128.

Ponting, J. D. 1973. "Osmotic Dehydration on Fruits Recents modifications and applications". *Process Biochemistry*, 8(12): 18-20.

Ray, P. M., 1960. "On the Theory Osmotic Water Movement". *Plant Physiology*. 35: 783-785.

Raoult- Wack, A., 1991. "Les Procèdes de Dehydration- impregnation par immersion dans des Solutions Concentrees (DII). Etude Experimentale et Modelisation des trans D'eau et de Solute sur Gel Modele". Tesis Doctoral. Universite Montpellier II. França.

Reeve, R. M.; Leinbach, L. R., 1953. "Hystological Investigations of Texture in Apples I. Composition and Influence of Heart on Structure". *Food Research*. 18: 593-603.

Reeve, R. M., 1970. "Relationships of Hystological Struture of Fresh and Processed Fruits and Vegetables". *J. of Texture Studies*. 1: 247-284.

Robert, D.; Roland, J. C., 1989. In *Biologie Vègètale* "Caractéristiques et Stratégies Évolutives des Plantes". Tome 1: Organisation Cellulaire. Doin Ed. Paris 242 p.

Salunkhe, D.K.; Do , J. Y.; Bolin, H.R., 1973. "Developments in Technology and Nutritive Value of Dehydrated Fruits Vegetables and Their Products". *CRC. Critical Review in Food Technology*, 4 (2): 153-192.

Shi, X. Q., 1994. "Deshidratación Osmótica a Vacío de Alimentos: Algunas Aplicaciones en la Preservación de Frutas". Tese de Doutoramento. Universidade Politécnica de Valência, Espanha.

Shipman, J. W.; Rahman, A. R.; Segars, R. A.; Kapsalis, J. G. y Westcot, D.E.;1972. "Improvement of the texture of dehydrated cellery by glycerol treatment". *J. of Food Sci*. 37: 568-571.

Smith, W. H., 1940. "The Histological Structure of the Flesh of the Apple in relation to Growth and Senescence". *J. Pomol. and Hort. Sci.* 18: 249-260.

Smith, W. H., 1950. "Cell-Multiplication and Cell-Enlargement in the Development of the Flesh of the Apple Fruit". *Ann. Bot.* 14: 23-38.

Sokhansanj, S.; Jayas, D.S., 1987. Ed. *Handbook of Industrial Drying*. Ed. Mujumdar, A.S. Marcel Dekker Inc. NY. 517-553.

Speck, P.; Escher, F.; y Solms, J., 1977. "Effect of salt pretreatment on quality and storage stability of air-dried carrots. *Lebensw. - Wiss. u. - Technol.* 10, 308-313.

Tinklepaugh, C.N., 1912. "Desiccated Fruit Product". U.S. Patente 1: 033, 637.

Tomasicchio, M.; Andreotti, R.; Giorgi, A., 1986. "Disidratazione Parziale della Fruta per Osmosi. II. Ananas, Fragole e Susine". *Industria Conserve*, 61: 108-114.

Torregiani, D.; Forni, E.; Rizzolo, A. 1987. "Osmotic Dehydration of Fruits. II. Influence of the Osmosis Time on the Stability Processed Cherries". *Journal of Food Processing*, 12: 27-44.

Trakonvakorn, G., Patterson, M. E.; Swansoo, B. G., 1988. "Scanning Electron Microscopy of Cellular Structure of Granny Smith and Red Delicious Apples". *Food Microstructure* 7: 205-212.

Uzuegbu, J. O.; Ukeka, C.; 1987. "Osmotic dehydration as a method of preserving fruits to minimize ascorbic acid loss". *Journal of Food and Agriculture*. 1 (3): 187-188.

Vial, C.; Guilbert, S.; Cuq, J., 1990. "Osmotic Dehydration of Kiwi-Fruits: Influence of Process Variables on the color and Ascorbic Acid Content". *Science des Aliments*, 11: 63-84.

Zozulevicch, B. V. D'Yachenko, E. N., 1969. "Osmotic Dehydration of Fruits". *Konservnaya I Ovoshchesushil'Naya Promyslennost'*. 7: 32-34.

Apêndice A

Apêndice A

$$\text{Brix} = \frac{\text{massa de sólidos solúveis}}{\text{massa de sólidos solúveis} + \text{massa de água}} \times 100$$

Os Brix são uma medida indirecta de concentração que se correlacionam com os sólidos solúveis medidos por meio de um refractómetro.

*definição
superficial*

essencialmente açúcar

Como medir o Brix da maçã?

