



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA – UESB
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
ALIMENTOS**

**CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO DE UM SISTEMA
OSMÓTICO COM COMPENSAÇÃO AUTOMÁTICA DE
SOLUÇÃO**

MÁRCIO PEREIRA SANTOS DE CARVALHO

**ITAPETINGA
BAHIA - BRASIL
2011**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS**

MÁRCIO PEREIRA SANTOS DE CARVALHO

**CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO DE UM SISTEMA OSMÓTICO COM
COMPENSAÇÃO AUTOMÁTICA DE SOLUÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB, como parte integrante das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Área de Concentração em Engenharia de processos de Alimentos, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador:

Profº D.Sc. Luciano Brito Rodrigues

Co - Orientador:

Profº D.Sc. Arienilmar Araújo Lopes da Silva

**ITAPETINGA
BAHIA - BRASIL
2011**

664.02842 Carvalho, Márcio Pereira Santos de.
C325c Construção do protótipo de um sistema osmótico com compensação automática de solução. / Márcio Pereira Santos de Carvalho. – Itapetinga, BA: UESB, 2011.
88p.

Dissertação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB - *Campus* de Itapetinga. Sob a orientação do Prof. DSc. Luciano Brito Rodrigues e co-orientação do Prof. DSc. Arienilmar Araújo Lopes da Silva.

1. Microcontrolador – Osmose. 2. Desidratação osmótica automatizada. 3. Sistema osmótico automatizado - Construção. 4. Controle de processo osmótico. I. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, *Campus* de Itapetinga. II. Rodrigues, Luciano Brito. III. Silva, Arienilmar Araújo Lopes da. IV. Título.

CDD(21): 664.02842

Catálogo na Fonte:

Adalice Gustavo da Silva – CRB 535-5ª Região
Bibliotecária – UESB – Campus de Itapetinga-BA

Índice Sistemático para desdobramentos por Assunto:

1. Osmótica – Compensação automática de soluções
2. Controle de processo – Software
3. Sistema osmótico – Protótipo - Construção



Área de Concentração: Engenharia de Processos de Alimentos

Campus de Itapetinga-BA

DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO

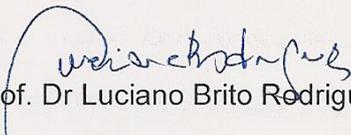
Título: “CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO DE UM SISTEMA OSMÓTICO COM COMPENSAÇÃO AUTOMÁTICA DE SOLUÇÃO”.

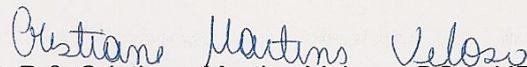
Autor: MÁRCIO PEREIRA SANTOS DE CARVALHO

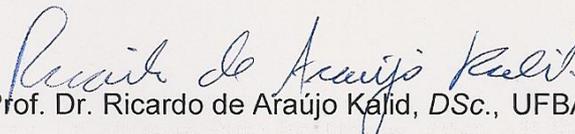
Orientador: Prof. Dr. Luciano Brito Rodrigues, DSc., UESB

Co-orientador: Prof. Dr. Arienilmar Araújo Lopes da Silva

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ENGENHARIA DE PROCESSOS DE ALIMENTOS, pela Banca Examinadora.


Prof. Dr. Luciano Brito Rodrigues, DSc., UESB


Prof.ª. Dr.ª. Cristiane Martins Veloso, DSc., UESB


Prof. Dr. Ricardo de Araújo Kalid, DSc., UFBA

Data da Realização: 20 de junho de 2011.

Dedico este trabalho aos meus pais, Edvaldo e Maria de Lourdes, por todo o carinho, dedicação e esforços dispensados à minha educação e formação como homem e cidadão!

Dedico à minha esposa Cândida, pelo apoio, carinho, conselhos e por sua inestimável confiança nos momentos de dificuldades na realização deste trabalho!

Dedico!

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Alimentos, em especial à Prof^ª Sibelli e Luciano pela força durante o curso de mestrado

A CAPES pela concessão da bolsa de estudos que proporcionou suporte financeiro na realização deste trabalho

Ao Prof^º Luciano Brito Rodrigues, que com sua imensurável competência e amizade assumiu, num momento crítico, a orientação deste trabalho e contribuiu de forma objetiva e eficiente para o término dos experimentos e escrita desta dissertação

Ao Prof^º Ricardo Kalid e a Prof^ª Cristiane Veloso por, gentilmente, participarem da banca examinadora contribuindo com suas valorosas e sábias observações e sugestões para a melhoria deste trabalho

Ao Prof^º Ari, que juntos idealizamos este trabalho mas, por motivos de força maior, ficou impossibilitado de continuar a me orientar

Ao Prof^º Sérgio Castro, amigo, sempre presente nos momentos difíceis

Ao Prof^º Paulo Bonomo pela grande atenção nas análises estatísticas

A Talita pela imensa força no laboratório nas análises deste trabalho

E por último, mas não menos importante, a Cândida, a meus pais, irmãos e amigos que sempre me incentivaram com suas palavras amigas, confortáveis e sinceras

A todos vocês, os meus sinceros agradecimentos!

RESUMO

CARVALHO, M. P. S. **Construção do protótipo de um sistema osmótico com compensação automatizada da solução.** Itapetinga – BA: UESB, 2011. 88p. (Dissertação - Mestrado em Engenharia de Alimentos – Engenharia de Processos de Alimentos).*

A desidratação osmótica consiste na difusão da água do alimento para a solução e a difusão do soluto da solução osmótica para o alimento sendo este processo realizado, na maioria das vezes, em sistemas osmóticos improvisados em laboratório. O projeto e a construção de sistemas osmóticos automatizados e de baixo custo são de grande valia para a diminuição dos custos do processo e aumento da sua eficiência. Neste trabalho, realizado na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia/UESB, Campus de Itapetinga, foi construído um protótipo de um sistema osmótico de baixo custo dotado de monitoramento e controle automatizado de temperatura e de compensações da solução osmótica em intervalos de tempos pré-determinados para a correção da concentração, além do controle do nível da mesma no tanque de desidratação para que seja mantida uma proporção fruta:solução. Foram construídos sistemas de medição da temperatura, de monitoramento do nível e de controle do processo. Foi realizado um ensaio de desidratação osmótica de maçã em palito conduzido a 40°C, com solução 59 °Brix, proporção fruta: solução 1:3 nos sistemas com compensação (SCC) e sem compensação (SSC). O sistema de medição da temperatura apresentou exatidão adequada em relação ao termômetro padrão. O sensor de nível apresentou melhores resultados com a bomba alimentada com tensão de 5Vcc, quando comparada com a alimentação de 12Vcc. O sistema de controle manteve a temperatura nas condições estabelecidas no projeto. Os sistemas com e sem compensação da solução não apresentaram diferença estatística para a perda de água e de peso nas amostras nas condições especificadas para o processo analisado.

Palavras-chave: Medição, compensação, osmótica, condutividade, microcontrolador.

*Orientador: Luciano Brito Rodrigues, Dr., UESB e Co-orientador: Arienilmar Araújo Lopes da Silva, Dr., UESB.

ABSTRACT

CARVALHO, M. P. S. **Construction of an osmotic system prototype with automatic solution compensation.** Itapetinga – BA: UESB, 2011. 88p. (Dissertation – Master Degree in Food Engineering – Food Process Engineering).*

Osmotic dehydration consists in both food water diffusion to solution, as well the diffusion of the osmotic solute solution to the food. This process is performed, in most cases, using osmotic systems makeshift laboratory. The design and construction of automated and low cost osmotic systems are relevant to both process cost reduction and efficiency increase. This work was performed at the State University of Bahia Southwest/UESB, Campus of Itapetinga. It was designed and built an osmotic system prototype equipped with low-cost monitoring and automated temperature control and osmotic solution compensation in order to correct at time intervals predetermined its solution concentration. The level solution in the dehydration tank was also controlled, aimed to maintain a ratio fruit: solution. Electronic systems were built for measuring temperature, level monitoring and process control. An osmotic dehydration test of matchsticks apple was performed at 40° C with 59 °Brix solution, ratio fruit: solution 1:3 with compensation systems (SCC) and without compensation (SSC). The temperature measurement system showed adequate accuracy compared to standard thermometer used. The level sensor showed better results with the pump supplied with 5Vdc voltage rather than 12Vdc. The control system maintained the temperature according to conditions previous established in the project. The systems with and without solution compensation showed no statistical difference for the loss of water weight in the samples under the conditions specified for the process analyzed.

Keywords: Measurement, compensation, osmotic conductivity, microcontroller.

* Adviser: Luciano Brito Rodrigues, Dr., UESB and Co-Adviser: Arienilmar Araújo Lopes da Silva Dr., UESB.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Transferência de Massa no Processo de Desidratação Osmótica: Fluxos concomitantes através do tecido celular.....	15
Figura 2 - Equipamento em escala piloto para desidratação de cubos de maçã.....	22
Figura 3 - Aparato experimental utilizado para avaliar a influência das variáveis de processo, tempo e temperatura, na transferência de massa.....	22
Figura 4 - Banho termostático construído para o estudo da aplicação de modelos matemáticos na desidratação osmótica de frutículos de jaca.....	23
Figura 5 – Sistema semicontínuo construído por Sanjinez Argandoña (2005) para desidratação osmótica de goiabas.....	24
Figura 6 – Exemplo clássico do tiro ao alvo: a) Exato e sem precisão; b) preciso e exato; c) sem precisão e exatidão; d) preciso e sem exatidão.....	27
Figura 7 - Aspecto físico de termistores (NTC) com encapsulamento em vidro (acima) e epóxi (abaixo). A menor divisão na escala corresponde a 0,5 mm.....	29
Figura 8 – Sonda condutiva de medição.....	30
Figura 9 – Sistema com eletrodos para líquidos condutivos.....	31
Figura 10 – Elemento de um diagrama de blocos de um sistema de controle.....	32
Figura 11 – Diagrama de blocos de um sistema de controle de malha aberta.....	33
Figura 12 - Diagrama de blocos de um sistema de controle de malha fechada.....	33
Figura 13 – Diagrama de blocos de controladores <i>on-off</i>	34
Figura 14 – Diagrama de pinos de um relé.....	37
Figura 15 – Disposição dos tanques em série. A – Tanque pulmão, B – Tanque de desidratação e C – Tanque de armazenamento.....	39
Figura 16 – Agitador construído para o tanque de desidratação do protótipo.....	40
Figura 17 – Diagrama esquemático de funcionamento da placa construída.....	40
Figura 18 – Diagrama de blocos do funcionamento da placa de interface entre o computador o protótipo.....	41
Figura 19 - Dimensões em milímetros do termistor.....	42
Figura 20 – Termistor acondicionado em tubo de aço.....	43
Figura 21 – Diagrama de representação esquemática do funcionamento do sistema de medição da temperatura.....	44
Figura 22 – Posicionamento dos sensores para verificação do sistema de medição construído.....	45
Figura 23 – Sensor de nível por condutividade.....	46
Figura 24 – Aparência do software desenvolvido para o controle do protótipo.....	49
Figura 25 – Palitos de maçã obtidos para o processo de desidratação osmótica.....	50
Figura 26 – Sistema sem compensação de solução montado para desidratação osmótica de maçã.....	52
Figura 27 – Curva de verificação do sistema de medição da temperatura.....	57
Figura 28 - Relação entre as temperaturas medidas pelo termômetro padrão e os valores obtidos por meio do sistema de medição construído.....	58
Figura 29 – Erros do sensor de nível com bomba alimentada com 12volts.....	60
Figura 30 – Erros do sensor de nível com bomba alimentada com 5volts.....	60
Figura 31 – Controle de temperatura <i>on-off</i>	62
Figura 32 – Sinais de saída do controlador.....	63
Figura 33 – Perda de água (%) na desidratação osmótica de maçã em SCC e SSC.....	64
Figura 34 – Ganho de sólidos (%) na desidratação osmótica de maçã em SCC e SSC.....	65
Figura 35 – Perda de peso (%) na desidratação osmótica de maçã em SCC e SSC.....	66

LISTA DE FIGURAS (Cont.)

Figura 36 – Aparência dos palitos de maçã tratados osmoticamente no sistema sem compensação	67
---	----

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

A	Área da seção transversal (m ²)
A/D	Analógico para Digital
ADC	Conversor Analógico Digital
AVR	Microcontrolador desenvolvido pela ATMEL
B_0	Sólidos Solúveis Totais do fruto no tempo $t = 0$ (°Brix)
B_t	Sólidos Solúveis Totais do fruto tratado no tempo $t = t$ (°Brix)
CPU	Unidade Central de Processamento
CW	Índice de concordância de Willmott, adimensional
D/A	Digital para Analógico
DIC	Delineamento Inteiramente Casualizado
EAM	Erro médio absoluto (°C)
EIA	Electronic Industries Association
GS	Ganho de sólidos (%)
h	Altura entre os eletrodos (m)
M	Massa inicial da amostra (kg)
M_0	Massa inicial do fruto (kg)
M_t	Massa da amostra no tempo t (kg)
MA_0	Massa de água inicialmente presente na amostra (kg)
MA_t	Massa de água de água no produto no tempo t (kg)
M_{ss}	Massa do soluto (kg)
M_{sol}	Massa da solução (kg)
MS_0	Massa de sólidos inicialmente presentes na amostra (kg)
MS_t	Massa de sólidos no tempo t (kg)
NA	Normalmente Aberto
NDG	Número digital
NF	Normalmente Fechado
NTC	Coefficiente Negativo de Temperatura
PA	Perda de água (%)
PIC	Circuito Integrado Programável
PP	Perda de peso (%)
p/p	Peso por peso
PVC	Cloreto de Polivinila
rpm	Rotações por minuto
RS	Recommended Standard

SCC	Sistema com compensação
SSC	Sistema sem compensação
SST	Sólidos Solúveis Totais
TTL	Transistor-Transistor Logic
U_0	Umidade do fruto, em base úmida, no tempo $t = 0$ (%)
U_t	Umidade do fruto tratado, em base úmida, no tempo $t = t$ (%)
V	Volume (m^3)
VB	Visual Basic
Vca	Volts (corrente alternada)
Vcc	Volts (corrente contínua)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	13
2.1	Objetivo geral	13
2.2	Objetivos específicos	13
3	REVISÃO DE LITERATURA	14
3.1	Desidratação Osmótica	14
3.1.1	Eficiência da desidratação osmótica	16
3.1.2	Fatores que afetam a desidratação osmótica	17
3.2	Sistemas para desidratação osmótica	21
3.3	Conhecimentos relevantes para o projeto do protótipo	24
3.3.1	Sistemas de medição	25
3.3.2	Calibração de sistemas de medição	25
3.3.3	Erro, Precisão e Exatidão	26
3.3.4	Sensores	28
3.3.5	Sistemas de controle	31
3.3.6	Diagrama de blocos	32
3.3.7	Sistemas de controle em malha aberta	33
3.3.8	Sistemas de controle em malha fechada	33
3.3.9	Ação de controle de duas posições	34
3.3.10	Sistemas computadorizados de controle	35
3.3.11	Microcontroladores	35
3.3.12	Padrão de comunicação RS232	36
3.3.13	Relés	37
4	MATERIAL E MÉTODOS	38
4.1	Construção do protótipo: Projeto do sistema osmótico	38
4.2	Placa de submersão das frutas	40
4.3	Interface de comunicação com o computador	41
4.4	Sistema de medição da temperatura	42
4.4.1	Sensor de temperatura	42
4.4.2	Circuito do sensor de temperatura	43
4.4.3	Procedimento de Verificação do sistema de medição da temperatura	44
4.5	Sistema de monitoramento do nível	45
4.5.1	Construção do sensor de nível por condutividade	45
4.5.2	Circuito do sensor de nível	47
4.6	Etapas do projeto e montagem do sistema de controle	48
4.7	Software de controle do processo	49
4.8	Avaliação do protótipo com processo de Desidratação Osmótica de Maçã	50

4.8.1	Finalidade do processo de Desidratação Osmótica de Maçã.....	50
4.8.2	Material	50
4.8.3	Processo de desidratação osmótica.....	51
4.8.4	Métodos Analíticos.....	53
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
5.1	Curva de verificação do sistema de medição da temperatura.....	56
5.2	Validação do circuito eletrônico do sistema de medição da temperatura.....	58
5.3	Validação do circuito do sensor de nível.....	59
5.4	Sistema de controle da temperatura desenvolvido	62
5.5	Desempenho dos processos de desidratação osmótica de maçã: <i>PA</i> , <i>GS</i> e <i>PP</i>	64
6.	CONCLUSÕES	69
APÊNDICE A	78
APÊNDICE B	79
APÊNDICE C	80
APÊNDICE D	81
APÊNDICE E	84
APÊNDICE F	86
APÊNDICE G	87
APÊNDICE H	88

1 INTRODUÇÃO

Em climas tropicais e temperados boa parte da produção de frutas e hortaliças é perdida nos centros de produção, por não se dispor de técnicas eficientes de processamento que assegurem um tempo maior de conservação. As frutas são bastante perecíveis, que junto a manejos inadequados, na colheita e na pós-colheita, aceleram os processos de senescência afetando sensivelmente a qualidade da fruta e limitando ainda mais o período de comercialização. Nos países menos desenvolvidos as perdas pós-colheita de frutas ultrapassam 20% da produção. No caso do Brasil estima-se que este valor chegue até a 40% em alguns locais da região do Nordeste, o que leva a uma procura constante de métodos que permitam minimizar essas perdas.

Como alternativa tecnológica à redução das perdas pós-colheita, a desidratação osmótica de frutas vem despertando grande interesse devido ao seu baixo custo energético frente a outros métodos de desidratação. A desidratação osmótica é uma técnica que consiste na remoção de água das frutas ou hortaliças enquanto estas estão imersas em uma solução de um agente de alta pressão osmótica. Ela tem atraído maior atenção devido às seguintes vantagens: as brandas temperaturas de processamento não afetam as características semi-permeáveis das membranas celulares dos alimentos; podem aumentar a retenção de cor e sabor do produto processado; reduzem a exigência de energia para continuar com outros processos no produto.

Nas últimas décadas, estudos relacionados com a desidratação osmótica revelaram a eficiência da utilização dessa técnica como etapa preliminar ou adicional aos processos de secagem e congelamento, obtendo-se produtos de alta qualidade sensorial e nutricional e mais resistente à contaminação microbiológica e à deterioração química.

A utilização do processo de desidratação osmótica como pré-tratamento ao processo de secagem em ar quente, por exemplo, pode proporcionar produtos de umidade intermediária com boa estabilidade à temperatura ambiente, e tem sido sugerida por diversos pesquisadores como uma forma de diminuir o tempo de residência do produto no secador, colaborando assim com a redução da demanda energética do processo e manutenção do valor nutricional.

Informações sobre a construção de equipamentos para realização de desidratação osmótica ainda são escassas. Além disso, o descarte ou aproveitamento e a necessidade do uso de elevadas quantidades de solução desidratante, bem como o controle das condições de processamento e a aplicação de sistemas contínuos limitam o processo industrial. Diante disso, o estudo da desidratação osmótica em sistemas que favoreçam a ampliação futura em escala industrial ainda é necessário para validar o seu uso como processo comercial.

Os sistemas de processamento encontrados na literatura referem-se, em sua maioria, a sistemas em escala de laboratório utilizando, muitas vezes, béqueres como recipiente para

desidratação. Poucos são os trabalhos sobre sistemas aplicáveis ao processo osmótico industrial ou semi-industrial, mesmo em nível de protótipo. Além disso, não existe um sistema capaz de corrigir a concentração da solução osmótica. Na literatura consultada não foram encontradas propostas de equipamentos para tal atividade no Brasil.

Diante do exposto, o presente trabalho se justifica em construir um protótipo de um sistema osmótico contribuindo assim com o desenvolvimento de equipamentos para realização de desidratação osmótica que favoreçam a aplicação em escala industrial de tal processo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Construir o protótipo de um sistema osmótico de baixo custo, dotado de monitoramento e controle automatizado da temperatura e de compensações da solução osmótica, em intervalos de tempos pré-determinados, para a correção da concentração, além do controle do nível da mesma no tanque de desidratação para que seja mantida uma proporção fruta:solução.

2.2 Objetivos específicos

- Projetar um sistema osmótico com disponibilidade para trabalhar com diversas geometrias de frutas;
- Construir um sistema osmótico com controle de temperatura e do nível da solução, capaz de realizar compensações de solução sem interferência do operador no processo;
- Montagem e calibração dos sistemas de medição e controle da temperatura e do nível para o sistema osmótico;
- Desenvolver de um software para monitorar e controlar o processo osmótico no protótipo;

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Desidratação Osmótica

A diminuição da umidade dos alimentos é um dos métodos mais antigos utilizados para a sua conservação. A redução do conteúdo de água diminui a possibilidade de deterioração microbiológica e reduz apreciavelmente a velocidade de outros mecanismos de deterioração. Além do efeito conservante, a desidratação reduz o peso e o volume do alimento, aumentando a eficiência do transporte e do armazenamento (CALIARI *et al.*, 2004).

A desidratação osmótica é uma técnica que envolve a imersão do produto em soluções desidratante e está diretamente relacionada à remoção de água do material celular de frutas e hortaliças (SERENO *et al.*, 2001; RASTOGI *et al.*, 1997). Nas células vegetais, a parede celular, que contém numerosos interstícios relativamente grandes, não se apresenta como a principal barreira, sendo permeável à água e a pequenos solutos. O plasmalema (membrana plasmática que envolve todo conteúdo da célula, excetuando a parede celular) pode estriar ou dilatar-se sob o aumento de uma pressão gerada no interior das células e, dependendo do soluto, funciona como membrana seletiva. Este tipo de membrana geralmente apresenta permeabilidade diferencial, isto é, permite que solventes a atravessem mais facilmente, mas restringe a passagem de um grande número de solutos (NOBEL, 1991; RASTOGI *et al.*, 2000).

A desidratação osmótica de frutas consiste na redução da umidade através de sua imersão em uma solução desidratante. Este processo (RAOULT-WACK *et al.*, 1992; LENART, 1996) provoca a ocorrência de fluxos concomitantes através do tecido celular, como consequência da diferença de pressão osmótica entre a solução e a fruta: um fluxo de água difundindo-se desde o interior do produto até a solução e outro, em sentido oposto, do soluto desidratante difundindo-se desde a solução até o produto (Figura 1). A existência destes fluxos simultâneos e opostos é uma das principais dificuldades na modelagem da cinética da desidratação osmótica (SPIAZZI e MASCHERONI, 1997). Além disso, há também a saída de alguns constituintes do produto (ácidos, pigmentos, vitaminas), que embora não tenham influência significativa na transferência de massa, podem modificar as propriedades sensoriais e nutricionais do produto final (RAOULT-WACK, 1994; LENART, 1996; TORREGGIANI e BERTOLO, 2001). Este processo pode ser utilizado como tratamento preliminar para outras técnicas de desidratação e visa melhorar a qualidade do produto final, como a estabilidade na cor, maior retenção de vitaminas, melhor qualidade na textura, redução do consumo de energia e possibilita a formulação de novos produtos.

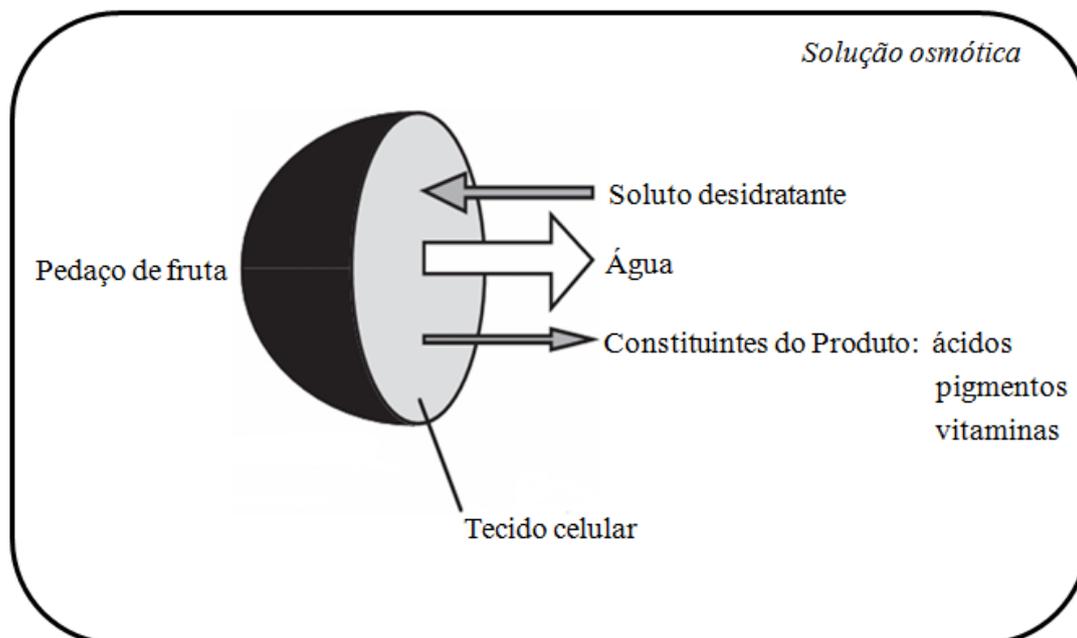


Figura 1 - Transferência de Massa no Processo de Desidratação Osmótica: Fluxos concomitantes através do tecido celular

Comparada com a secagem através do ar ou por congelamento, a desidratação osmótica é estimulada porque a remoção da água ocorre sem mudança de fase. Este processo recebe atenção considerável devido ao potencial de aplicações industriais (BARBOSA-CÁNOVAS e VEGA-MERCADO, 1996). A grande semelhança do produto obtido com o frescor (*in natura*) faz da desidratação osmótica um grande salto tecnológico e uma alternativa para a conservação de alimentos. A qualidade de produtos desidratados pré-tratados osmoticamente acompanha outras técnicas de desidratação: congelamento, vácuo, ar. Portanto, a desidratação osmótica pode fazer parte de uma planta de processamento de alimentos servindo como pré-tratamento para a desidratação de produtos (BARBOSA-CÁNOVAS e VEGA-MERCADO, 1996). Atualmente, o uso da desidratação osmótica como tratamento preliminar visa melhorar a qualidade do alimento desidratado, e não apenas remover água do produto (ELER *et al.*, 2009).

A desidratação osmótica é geralmente realizada à pressão atmosférica e em temperaturas entre (20 e 50) °C. Altas temperaturas diminuem a viscosidade da solução desidratante e favorecem a transferência de massa, elevando o coeficiente de difusividade da água. No entanto, provoca a perda da permeabilidade seletiva da membrana celular e ocasiona uma maior impregnação do soluto no produto, o que em alguns casos não é desejável. Assim, a temperatura ótima de processo depende da estrutura do tecido celular da fruta e das posteriores etapas de conservação. Sendo assim, temperaturas acima de 50°C devem ser evitadas em alguns alimentos.

A fruta submetida ao tratamento osmótico é geralmente cortada em pequenos pedaços (cubos, fatias, palitos) favorecendo uma maior área de contato com a solução desidratante. Com o

tempo, a fruta perde água e ganha sólidos; porém a alteração global em massa é a perda de peso. O objetivo do tratamento osmótico é geralmente alcançar entre as primeiras 2 a 3 horas, uma perda de peso em torno de 50% (RAOULT-WACK, 1994). Durante este período, a velocidade de transferência de massa é alta, tendendo a diminuir com o tempo e, por isso, tratamentos mais longos não são justificados (LAZARIDES *et al.*, 1997).

Souza (2007) relata que a perda de água em frutas, em geral, ocorre principalmente durante as duas primeiras horas, enquanto que em abóbora e cenoura, as maiores taxas de perda de água e de ganho de sólidos ocorreram durante os primeiros 30 min do processo.

O fenômeno de transferência de massa entre o produto e o meio desidratante é estritamente afetado pela natureza do produto (espécie, variedade, nível de maturação, forma e tamanho, pré-tratamento) e pelas variáveis do processo como: composição/concentração do meio osmótico, relação solução/produto, agitação, temperatura, forma de contato e tempo de duração do processo (AZUARA *et al.*, 1992; LAZARIDES *et al.*, 1997; MAYOR *et al.*, 2005).

3.1.1 Eficiência da desidratação osmótica

Apesar das pesquisas realizadas, a transferência de massa do processo osmótico não está bem esclarecida. Existe, portanto, muito que ser estudado nessa área, uma vez que tecidos vegetais são materiais de estrutura complexa, dificultando o estabelecimento de modelos para projeto e controle de processos, sendo necessárias, investigações que possam contribuir para melhor elucidação dos fenômenos envolvidos.

Segundo Córdova (2006) a desidratação osmótica é eficiente na redução de (30 a 50)% do peso do material, pelo motivo de que com o passar do tempo há uma diminuição da taxa de osmose. A eficiência desse processo pode ser quantificada por meio de valores de perda de massa, perda de água e ganho de sólidos.

Os valores de perda de água (*PA*), ganho de sólidos (*GS*) e perda de peso (*PP*) podem ser calculados através das Equações 1, 2 e 3, respectivamente (HAWKES e FLINK, 1978).

$$PA(\%) = \frac{MA_0 - MA_t}{M} \cdot 100 \quad (1)$$

Em que MA_0 é a massa de água inicialmente presente na amostra (kg), MA_t é massa de água no produto (kg) no tempo t , M é a massa inicial da amostra (kg).

$$GS(\%) = \frac{MS_t - MS_0}{M} \cdot 100 \quad (2)$$

Em que MS_0 é a massa de sólidos (kg) inicialmente presente na amostra, MS_t é massa de sólidos (kg) no tempo t.

$$PP(\%) = \frac{M - M_t}{M} \cdot 100 \quad (3)$$

Em que M_t é massa da amostra (kg) no tempo t.

3.1.2 Fatores que afetam a desidratação osmótica

3.1.2.1 Natureza do produto

O fenômeno de transferência de massa entre o produto e o meio desidratante é estritamente afetado pela natureza do produto (espécie, variedade, nível de maturação, forma e tamanho, pré-tratamento). A integridade do tecido é essencial para controlar a entrada do soluto desidratante e a saída dos componentes da fruta. O tecido celular de diferentes espécies e até mesmo de diferentes cultivares da mesma espécie mostra comportamento distinto. Assim, qualquer pré-tratamento físico (branqueamento, congelamento) ou químico (sulfitação) e até mesmo o excesso de amadurecimento da fruta poderá aumentar o efeito da impregnação durante o tratamento osmótico, bem como facilitar a saída dos constituintes hidrossolúveis da fruta (CHIRALT *et al.*, 2001).

3.1.2.2 Solutos e Concentração da solução osmótica

Segundo Tonon (2006) o processo osmótico envolve a utilização de soluções com um ou mais solutos. Os solutos mais utilizados no processo de desidratação osmótica de frutas e vegetais são açúcares e sais, principalmente sacarose e cloreto de sódio.

A escolha do soluto desidratante dependerá do material a ser desidratado e está relacionada com o sabor, o custo e a capacidade de remoção de água (TORREGGIANI e BERTOLO, 2001). Por estas razões, geralmente os açúcares (sacarose, glicose, frutose, maltodextrinas e outros) são usados na desidratação de frutas (CHIRALT *et al.*, 2001; TORREGGIANI e BERTOLO, 2001). A

sacarose é o soluto mais utilizado para frutas em virtude de sua eficiência, conveniência, custo e aroma desejável provocado na fruta (FERRARI, 2005). Entretanto, outros dissacarídeos têm sido empregados no processo osmótico como a maltose, devido ao seu maior efeito protetor nas propriedades de cor, na retenção de ácido ascórbico durante a secagem de produtos previamente desidratados osmoticamente e na preservação da funcionalidade da membrana celular (FORNI *et al.*, 1997).

A escolha do soluto é uma questão fundamental por estar relacionada com as alterações nas propriedades sensoriais e no valor nutritivo do produto final, além do custo de processo (LENART, 1996, QI *et al.*, 1998).

No caso das hortaliças, o cloreto de sódio tem fornecido melhores resultados entre os sais disponíveis. Islam e Flink (1982) citam o cloreto de sódio e o glicerol como substâncias apropriadas para serem empregadas como agentes desidratantes. Há também a utilização de misturas de sais e açúcares, polióis e sorbitol (TORREGGIANI e BERTOLO, 2001; BARONI, 2004; TELIS *et al.*, 2004), havendo, porém, limitações de seu uso devido às alterações no sabor do alimento (SACHETTI *et al.*, 2001).

Características do agente osmótico usado, como o seu peso molecular e seu comportamento iônico, afetam fortemente a desidratação, tanto na quantidade de água removida quanto no ganho de sólidos. Quanto maior a massa molecular do soluto empregado, maior a perda de água para a solução e menor o ganho de sólidos pelo alimento, favorecendo, assim, a perda de massa e o processo de desidratação. A impregnação do alimento com o soluto é, de forma contrária, favorecida com o uso de açúcares com menor massa molecular, como glicose, frutose e sorbitol, em função da maior velocidade de penetração das moléculas no produto (SOUZA, 2007).

O tipo de soluto utilizado na solução osmótica afeta expressivamente a cinética de remoção de água, o ganho de sólidos e o equilíbrio do teor de água (BOLIN *et al.*, 1983).

De acordo com diversos autores (GIRALDO *et al.*, 2003; PARK *et al.*, 2002; RODRIGUES *et al.*, 2003; SABLANI *et al.*, 2002), o aumento na concentração da solução osmótica proporciona uma maior perda de água e, conseqüentemente, uma maior perda de peso pela fruta ou hortaliça. Contreras e Smyrl (1981) estudaram a desidratação osmótica de maçãs utilizando soluções de xarope de milho. Segundo os autores, a concentração da solução exerceu influência significativa na perda de água nas condições estudadas. Os autores compararam os resultados obtidos com os reportados por Hawkes e Flink (1978), que desidrataram maçã em solução de sacarose, e verificaram que a incorporação de sólidos foi muito inferior nas amostras desidratadas com xarope de milho. A justificativa dada para este comportamento foi que o xarope de milho apresenta em sua composição carboidratos de alto peso molecular, o que certamente dificultou a penetração de soluto nas amostras. Concentrações elevadas de soluto do meio

desidratante favorecem a saída da água promovendo uma relação de perda de água e ganho de sólidos maior.

Sablani *et al.* (2002) obtiveram os coeficientes de distribuição de equilíbrio para a desidratação osmótica de cubos de maçã em soluções de sacarose a diferentes concentrações. A faixa de concentração estudada variou de 30% a 70% p/p. O coeficiente de distribuição para os sólidos diminuiu com o aumento na concentração de sacarose, enquanto que, o coeficiente de distribuição para água, aumentou com o aumento da concentração da solução osmótica.

Segundo Lima *et al.*, (2004), os fluxos de massa que ocorrem durante o processo de desidratação osmótica, levam a uma variação da concentração das soluções e à diminuição da transferência de massa entre fruta e solução ao longo do processo. A utilização de maiores quantidades de solução minimiza o efeito da diluição da solução osmótica aumentando a eficiência da desidratação.

3.1.2.3 Tempo de imersão

O tempo é um parâmetro importante na desidratação osmótica. A razão entre a taxa de perda de água e a taxa de impregnação de soluto no alimento será maior no início do processo, uma vez que há uma redução da velocidade de osmose com o tempo, pois a diferença de concentração entre a solução e o alimento tende a reduzir. Logo, a desidratação osmótica deve envolver um curto espaço de tempo, pelo fato de se objetivar a maior remoção de água possível com o menor ganho de sólidos provenientes da solução desidratante (LENART, 1996).

De acordo com Raoult-Wack *et al.* (1994), a transferência de massa, durante a desidratação osmótica de frutas e hortaliças, ocorre principalmente nas duas primeiras horas. Depois, esta se torna progressivamente menor, até que o fluxo de água não ocorra mais, enquanto o ganho de sólidos continua aumentando. A partir desse ponto, o produto tende a aumentar o peso, tornando-se rico em soluto desidratante.

Nieto *et al.* (2004) estudaram a desidratação osmótica de maçã em solução osmótica de glicose e também sacarose. Segundo os autores as maiores taxas de desidratação foram obtidas durante as duas primeiras horas de processo, com gradual redução após este tempo. Já para o ganho de sólidos, um comportamento inverso foi observado, ou seja, o aumento do tempo de imersão promoveu um incremento do ganho de sólidos.

3.1.2.4 Temperatura

Segundo Ponting *et al.* (1966) a taxa de transferência de massa aumenta consideravelmente com o aumento da temperatura, porém o escurecimento não enzimático, o amolecimento da parede vegetal e a deterioração de sabor que se iniciam a partir de 50 °C limitam o processo.

Além do efeito na cinética, Contreras e Smyrl (1981) ressaltam que altas temperaturas permitem melhor circulação da solução osmótica devido à redução da viscosidade. A desidratação osmótica é geralmente realizada em temperaturas na faixa de (20 a 50) °C. Altas temperaturas também favorecem a transferência de massa, elevando o coeficiente de difusividade da água (LENART, 1996; LAZARIDES *et al.*, 1997). No entanto, em temperaturas próximas a 50 °C, as membranas celulares do tecido vegetal começam a passar por mudanças irreversíveis, comprometendo a permeabilidade seletiva das mesmas; como resultado, enzimas responsáveis pelo metabolismo celular são inativadas e tomam lugar reações que afetam a qualidade sensorial e nutricional do produto final (SACHETTI *et al.*, 2001).

Outra desvantagem em relação a altas temperaturas é que a perda da permeabilidade seletiva da membrana resulta em uma maior impregnação do soluto no produto, o que pode não ser desejável. Assim, a temperatura ótima de processo depende da estrutura do tecido celular da fruta e das posteriores etapas de conservação.

O efeito da temperatura sobre a desidratação osmótica de maçãs foi observado por Khin *et al.*, (2007). Segundo esses autores, quando a temperatura foi aumentada de 25 °C para 55 °C a seletividade da membrana celular foi afetada significativamente favorecendo uma maior incorporação de sólidos, o que não é desejável, em alguns casos, para a qualidade final do produto.

3.1.2.5 Agitação

De acordo com Ponting *et al.* (1966) o processo de desidratação osmótica é mais rápido quando conduzido sob agitação, porém, segundo o autor deve-se fazer um controle da agitação para que não haja danos ao produto, além de se levar em consideração os custos relacionados com equipamento, energia, entre outros. Segundo Hawkes e Flink (1978) a agitação tem o papel de diminuir a resistência à transferência de massa, causada pela viscosidade da solução desidratante.

Ertekin e Cakaloz (1996) ao estudarem a influência da agitação nas taxas de perda de água e ganho de sólidos na desidratação osmótica de ervilhas, verificaram que, em solução contendo 40% de sacarose e 20% de citrato, houve um aumento de quatro vezes nos valores de difusividade quando o sistema agitado foi comparado com um sistema estático.

O efeito da agitação e de diferenças estruturais em maçãs foi estudado por Mavroudis *et al.*, (1998). Os experimentos foram realizados na temperatura de 20 °C em solução de sacarose a 50% (p/p), sendo o número de Reynolds utilizado para quantificar a agitação. De acordo com os resultados obtidos, as amostras submetidas a um fluxo turbulento apresentaram perda de água maior que as amostras desidratadas em fluxo laminar, enquanto que, o ganho de sólidos não foi afetado pela agitação.

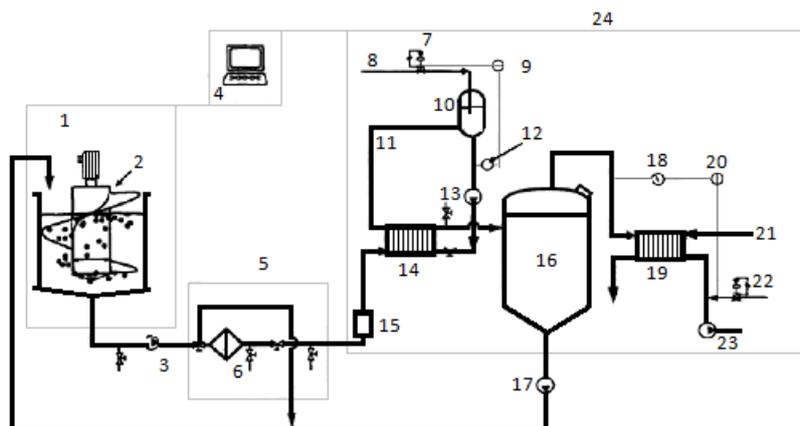
Com a saída de água do produto, uma camada diluída do soluto é formada ao redor da fruta, que por convecção natural, com as diferenças de densidade entre a solução e a camada diluída, chega-se a um equilíbrio de concentração após algum tempo (RAOUL-WACK, 1994). A aplicação de sistemas de agitação acelera esse equilíbrio e aumentam a relação de perda de água (PA) e ganho de solutos (GS) favorecendo a desidratação, especialmente durante a primeira hora de tratamento (MAVROUDIS *et al.*, 1998).

3.2 Sistemas para desidratação osmótica

Marouzé *et al.*, (2001) realizaram um resumo dos principais equipamentos que podem ser utilizados em processos de desidratação osmótica em escala piloto ou versões para uso industrial. Tais equipamentos apresentados foram classificados de acordo com o tipo de contato entre o material e a solução desidratante, sendo estes: material imerso na solução sem agitação (com e sem renovação da solução, com movimento lento do alimento), com agitação contínua (através de agitadores mecânicos, aspersão da solução sob esteiras de leito fixo em contra-corrente ou concorrente com o material) ou com agitação intermitente, entre outros. Porém, o elevado custo dos mesmos limita sua aplicação.

Valdez-Fragoso e Mujica-Paz (2002) propuseram um equipamento em escala piloto para a desidratação de cubos de maçã (Figura 2). O sistema consistia de um vaso desidratador provido de um sistema de agitação para a solução, um filtro para separar as partículas em suspensão e um evaporador para reconcentrar e aquecer a solução de sacarose. O sistema era controlador por computador. Os resultados da transferência de massa obtidos mostraram que o equipamento pode ser adequado para a produção comercial de frutas osmodesidratadas.

Sanjinez Argandoña *et al.*, (2002) avaliaram a influência dos ácidos cítrico e láctico na obtenção de melão osmoticamente desidratado e na qualidade final do produto. A desidratação osmótica foi realizada em uma mesa incubadora à temperatura controlada com agitação (120 rpm) por até três horas.



1- Sistema de processo osmótico, 2 – Agitador, 3- Bomba I, 4- Controle do sistema, 5- Sistema de filtração, 6- Filtro, 7- Válvula de injeção de vapor, 8- Vapor, 9- Regulador de temperatura (TR), 10- Recipiente de mistura, 11- Água quente, 12- Termopar, 13- Bomba III, 14- Trocador de calor de placas I, 15- Densímetro, 16- Ciclone, 17- Bomba II, 18- Manômetro, 19- Trocador de calor de placas II, 20- Regulador de pressão (RP), 21- Água gelada, 22- Válvula de injeção de ar, 23- Bomba de vácuo, 24- Sistema de reconcentração.

Figura 2 - Equipamento em escala piloto para desidratação de cubos de maçã

Fonte: Valdez-Fragoso e Mujica-Paz (2002)

Sato e Cunha (2005) avaliaram a influência das variáveis de processo, tempo e temperatura, na transferência de massa, bem como nos atributos de qualidade de cor e textura durante o cozimento de goiabas em calda. As goiabas foram processadas em calda a 45 °Brix, previamente aquecida no tanque de processo à temperatura de ensaio, em uma relação de 1:3 (fruta:solução). Um tanque com sistema de agitação e encamisado com circulação externa de óleo de silicone foi utilizado para o processamento. A Figura 3 mostra o esquema desse aparato para o processamento.

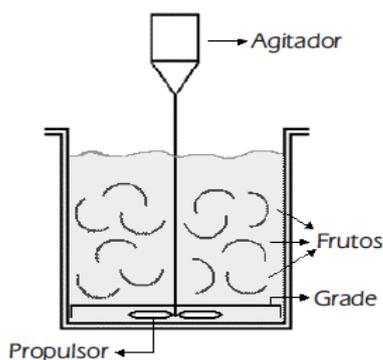


Figura 3 - Aparato experimental utilizado para avaliar a influência das variáveis de processo, tempo e temperatura, na transferência de massa

Um propulsor do tipo turbina a 500 rpm foi utilizado para manter a turbulência do sistema. Para evitar danos na estrutura da fruta, uma grade (0,5 cm de abertura) foi colocada entre a fruta e o propulsor, de maneira que as goiabas não entrassem em contato com as pás do agitador.

Martim *et al.*, (2007) determinaram a perda de peso, o ganho de sólidos e a perda de água em mangas (*Mangifera indica* L. cv. Tommy Atkins). O sistema osmótico foi composto de sacos telados de poliéster com malha de 2 mm, mantidos submersos com o auxílio de uma grade de aço inoxidável. O sistema osmótico montado mostrou-se adequado para o experimento.

Ferrari *et al.*, (2005) estudaram a influência das variáveis tipo de açúcar, concentração e temperatura da solução desidratante na transferência de massa durante a desidratação osmótica de cubos de melão. Os melões, cortados em cubos de 20 mm, foram pesados e então colocados em frascos de 600 mL com a solução desidratante nas concentrações de (40 a 60) °Brix, previamente aquecida em temperaturas de (30 ou 40)°C sendo o processo de desidratação osmótica realizados à temperaturas controladas em banho termostático, aparentemente, adequado para o processo.

Souza (2007) realizou um estudo da aplicação de modelos matemáticos na desidratação osmótica de frutículos de jaca para diferentes concentrações de soluções de sacarose: glicose e diferentes temperaturas. A Figura 4 mostra o banho termostático construído especialmente para o experimento. O banho constava de um tanque de zinco com volume de 100 litros de água, coberto com madeira revestida de filme plástico. No fundo do tanque foi instalada uma resistência elétrica de 3500 W para o controle da temperatura. Na tampa do tanque foi instalado um agitador com rotação de 70 rpm para promover a agitação da água do banho termostático.



Figura 4 - Banho termostático construído para o estudo da aplicação de modelos matemáticos na desidratação osmótica de frutículos de jaca

Fonte: SOUZA (2007)

Sanjinez Argandoña (2005) construiu um sistema semicontínuo para a desidratação osmótica de goiabas. O sistema semicontínuo consistiu na montagem de dois tanques colocados em paralelo, conforme mostrado na Figura 5. Os tanques eram alimentados por bombeamento da solução de sacarose contida no tanque pulmão, mas somente um deles trabalhava por vez. O tanque que não estava trabalhando era limpo e posteriormente alimentado com as goiabas para poder

desidratar no período de parada do outro tanque. A contínua alimentação da solução (recirculação) promoveu a agitação necessária para facilitar a transferência de massa entre o meio e a fruta.

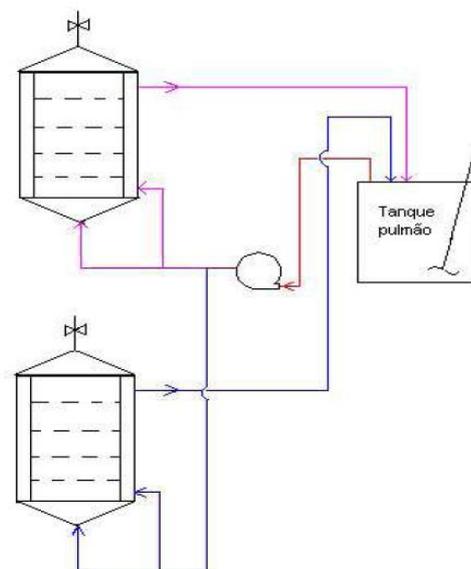


Figura 5 – Sistema semicontínuo construído por Sanjinez Argandoña (2005) para desidratação osmótica de goiabas

Fonte: SANJINEZ ARGANDOÑA (2005)

A maioria dos sistemas propostos na literatura trabalha em batelada, enquanto outros sistemas aplicáveis ao processo osmótico podem operar em modo semicontínuo ou contínuo, sendo seu uso ainda limitado em escala piloto. O tempo de processamento, a necessidade de uma leve agitação e a flutuação das frutas na solução desidratante são fatores que dificultam o desenvolvimento de sistemas de processamento contínuo (QI *et al.*, 1999; VEGA-MERCADO *et al.*, 2001). Uma das limitações dos sistemas é de não corrigir a concentração da solução osmótica em tempo real, ou seja, controlar um dos parâmetros do processo que é a concentração da solução que tende a diminuir com o tempo de processamento em virtude da transferência de massa provocada na desidratação.

3.3 Conhecimentos relevantes para o projeto do protótipo

Além do conhecimento do processo de desidratação osmótica em si, é necessário apresentar e discutir sobre outros conhecimentos fundamentais para o projeto e desenvolvimento do protótipo proposto no presente trabalho. Esses conhecimentos partem da Metrologia, que é a

ciência da medição e suas aplicações, da Instrumentação e da eletrônica. Neste item são apresentados e discutidos alguns conceitos desses temas.

3.3.1 Sistemas de medição

Segundo o Inmetro (2009) a medição é um processo de obtenção experimental de um ou mais valores que podem ser, razoavelmente, atribuídos a uma grandeza. Ela pressupõe uma descrição da grandeza que seja compatível com o uso pretendido de um resultado de medição, de um procedimento de medição e de um sistema de medição calibrado que opera de acordo com um procedimento de medição especificado, incluindo as condições de medição.

Uma grandeza que está sendo medida recebe o nome de *mensurando*. Dessa forma, o mensurando é o objeto da medição. É a grandeza específica submetida à medição. O sistema de medição é o meio pelo qual as medições são efetuadas. Ele construído de forma que permita a comparação do mensurando com a unidade de medição (ALBERTAZZI e SOUSA, 2008).

Segundo Martins e Kalid (2010) em um processo industrial é imprescindível medir variáveis de processo, seja para controlá-las, monitorá-las ou até mesmo investigá-las para um fim metrológico e científico. Entretanto, em qualquer procedimento de medição de uma grandeza física, o resultado da medição será uma estimativa do valor verdadeiro dessa grandeza. Dessa forma, uma indicação quantitativa associada a essa estimativa é necessária para avaliar a qualidade do resultado de medição. O conceito metrológico que aborda esse assunto é a incerteza de medição. Segundo o Vocabulário Internacional de Metrologia (BIPM *et al.*, 2008) a incerteza de medição é “*um parâmetro não-negativo que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser razoavelmente atribuídos a um mensurando, com base nas informações utilizadas*”.

3.3.2 Calibração de sistemas de medição

A indicação de um sistema de medição ideal deve corresponder ao valor verdadeiro do mensurando. No entanto, nos sistemas de medição reais há diferenças. Utilizando o procedimento experimental denominado *calibração*, é possível verificar a maneira efetiva como os valores indicados pelos sistemas de medição se relacionam com os valores do mensurando. Dessa forma, *calibração* é definida como o conjunto de operações que estabelece, sob condições especificadas, a relação entre os valores indicados por um instrumento ou sistema de medição e os valores correspondentes das grandezas estabelecidos por padrão (ALBERTAZZI e SOUSA, 2008).

3.3.3 Erro, Precisão e Exatidão

Não existe uma medida que esteja isenta de algum erro ou desvio do valor real da medida. Por mais que sejam sofisticados os equipamentos utilizados, os erros ou desvios são uma presença constante e o bom experimentador deve aprender a conviver com eles, identificá-los e minimizar suas influências nos resultados de uma medição.

Por definição, o erro é a diferença algébrica entre um valor medido e o valor verdadeiro do mensurando causado por imperfeições ou influências externas originadas na medição (Balbinot e Brusamarello, 2006). Os erros são classificados em três grandes grupos:

- **Erro Grosseiro**

É aquele que ocorre por inabilidade do experimentador e são provenientes de enganos, uso inadequado de instrumentos, técnicas deficientes, etc.

- **Erro Sistemático**

É o componente do erro de medição, que em medições repetidas, permanece constante ou varia de maneira previsível (INMETRO, 2009). São aqueles que ocorrem sempre do mesmo jeito e são provenientes de: erros de calibração de instrumentos, erros do observador na leitura do instrumento, instrumentos utilizados em condições inadequadas, etc. Os erros sistemáticos mais significativos podem ser eliminados ou compensados.

- **Erro Aleatório**

Componente do erro de medição que, em medições repetidas, varia de maneira imprevisível (INMETRO, 2009). Ora obtêm-se um valor ora outro de forma aleatória. Com este tipo de erro é mais difícil de lidar e pode-se apenas obter uma minimização de seus efeitos aumentando-se o número de observações ou ensaios. Geralmente este erro é devido a condições que flutuam como, por exemplo, variações na rede de energia elétrica, variações verificadas no comprimento de um objeto por irregularidades da superfície, etc.

- **Precisão**

A precisão é o grau de concordância entre indicações ou valores medidos, obtidas por medições repetidas, no mesmo objeto ou em objetos similares, sob condições especificadas INMETRO (2009). A precisão de um instrumento ou método refere-se à invariabilidade com que são obtidos os valores de medidas realizadas em condições rigorosamente similares. É um conceito

quantitativo utilizado para caracterizar resultados que contenham erros estatísticos pequenos, tais como pequenas dispersões em torno do valor médio verdadeiro (BALBINOT e BRUSAMARELLO, 2006). A precisão pode ser quantificada pelo desvio padrão experimental.

- **Exatidão**

Exatidão, por outro lado, é o grau de concordância entre um valor medido e um valor verdadeiro de um mensurando. A “exatidão de medição” não é uma grandeza e não lhe é atribuído um valor numérico. Uma medição é dita mais exata quando é caracterizada por um erro de medição menor INMETRO (2009).

Embora exista o uso como sinônimos na linguagem do dia-a-dia, exatidão e precisão são, conforme apresentado, coisas distintas no conceito técnico. A Figura 6 usa o clássico exemplo do tiro ao alvo para ilustrar graficamente a diferença.

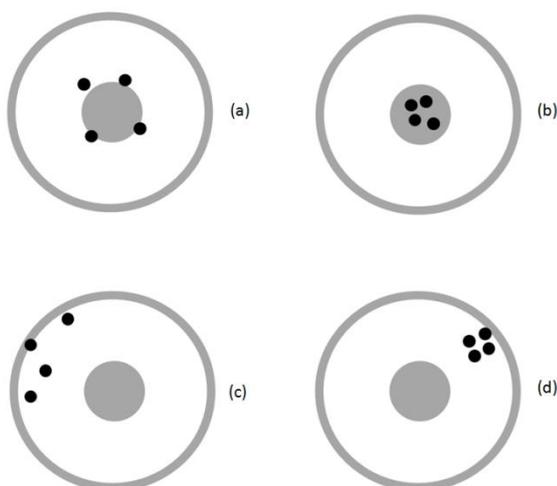


Figura 6 – Exemplo clássico do tiro ao alvo: a) Exato e sem precisão; b) preciso e exato; c) sem precisão e exatidão; d) preciso e sem exatidão

Na Figura 6a os resultados são exatos porque, em média, estão próximos do valor verdadeiro, mas não são precisos porque há certa dispersão. A Figura 6b mostra a situação ideal, ou seja, tem-se precisão e exatidão. Na Figura 6c, observa-se a pior situação, isto é, imprecisão e inexatidão e a Figura 6d mostra resultados precisos porque estão próximos entre si, mas não são exatos porque estão distantes do valor verdadeiro.

3.3.4 Sensores

Diversos tipos de sensores estão sendo utilizados no monitoramento e no controle de variáveis em processos industriais, em especial na indústria alimentícia.

Segundo Thomazini e Albuquerque (2007) o termo sensor é empregado para designar dispositivos sensíveis a alguma forma de energia do ambiente que pode ser luminosa, térmica, cinética, relacionando informações sobre uma grandeza que precisa ser medida, como temperatura, pressão, velocidade, corrente, aceleração, posição, etc.

Balbinot e Brusamarello (2006) definem sensores como elementos específicos que transformam uma determinada variável física de interesse (ou faixas de operação dessa variável) em uma grandeza passível de processamento. Uma observação a ser feita é que, em geral, a variável de interesse é transformada em uma grandeza elétrica, uma vez que com os recursos oferecidos pela eletrônica pode-se efetuar uma série de processamentos posteriores.

Um sensor nem sempre tem as características elétricas necessárias para ser utilizado em um sistema de controle. Normalmente o sinal de saída deve ser manipulado antes da sua leitura no sistema de controle. Isso geralmente é realizado com um circuito de interface para a produção de um sinal que possa ser lido pelo controlador. Supondo que a saída de um sensor, ao ser sensibilizado por um nível de tensão muito baixo, torna-se necessária a sua amplificação. Essa interface seria então um amplificador capaz de elevar o nível de sinal para sua efetiva utilização (THOMAZINI e ALBUQUERQUE, 2007).

3.3.4.1 Sensores de Temperatura

Dentre todas as grandezas físicas, a temperatura é provavelmente aquela que é medida com mais frequência, pois é relevante em muitas áreas científicas e tecnológicas. Medidas de temperatura são fundamentais em pesquisa e desenvolvimento em ciências e tecnologia, pois grande parte das propriedades físicas e químicas apresenta alguma dependência com a temperatura.

Também, medidas de temperatura são fundamentais em controle de processos em que a temperatura é uma variável importante. Vários aparatos de medida de temperatura vêm sendo desenvolvidos, utilizando sensores elétricos e não elétricos, em busca de leituras mais exatas para a finalidade a que se destinam (MICHALSKI *et al.*, 2001). Existem vários tipos de sensores de temperatura, dentre eles pode-se citar os termopares, os termistores e as termorresistências.

Dentre os sensores elétrico de temperatura, os termistores (Figura 7) do tipo NTC são dispositivos semicondutores, de baixo custo, que exibem um coeficiente negativo de resistência elétrica com a temperatura, e são utilizados para medidas de temperatura entre $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $+300\text{ }^{\circ}\text{C}$,

bem como para medidas precisas de pequenas variações de temperatura em experimentos calorimétricos (HANSEN e HART, 2004).

Os termistores destinados a medidas de temperatura usualmente possuem pequena massa e dimensões, facilitando seu posicionamento no meio em que se deseja efetuar a medida. Essa característica física, juntamente com o tipo de resposta a ser correlacionada com a temperatura, que é uma resposta elétrica, confere ao termistor a dupla vantagem de proporcionar medidas de variações rápidas de temperatura e minimizar trocas de calor entre o mesmo e o corpo que se deseja medir a temperatura. Os termistores podem possuir encapsulamento em epóxi ou em vidro, sendo este último mais apropriado para efetuar medidas em líquidos contendo substâncias que podem danificar o sensor. O encapsulamento em vidro também confere ao termistor maior estabilidade de suas características ao longo do tempo, pois limita a difusão de líquidos e gases através da sua superfície (GUADAGNINI e BARLETTE, 2005).

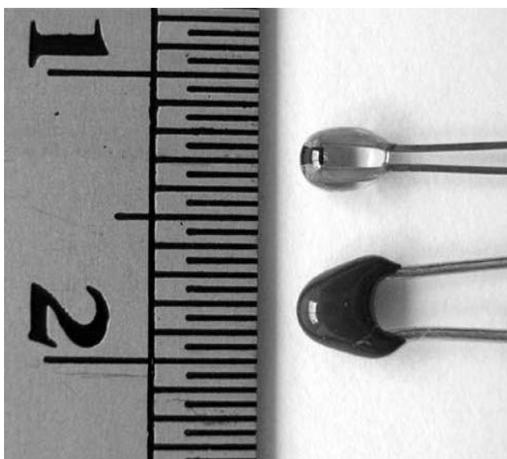


Figura 7 - Aspecto físico de termistores (NTC) com encapsulamento em vidro (acima) e epóxi (abaixo). A menor divisão na escala corresponde a 0,5 mm

3.3.4.2 Sensores de nível eletricamente condutivos

A medição de nível, embora tenha conceituação simples, requer por vezes artifícios e técnicas apuradas. O nível é uma variável importante na indústria não somente para a operação, mas também para fins de cálculo e de custo do processo. Os sistemas de medição de nível variam em complexidade desde simples visores para leituras locais até indicação remota, registro ou controle automático.

A medição do nível de um reservatório contendo líquido ou sólido é efetuada a fim de manter esta variável em um valor desejado ou entre dois valores predeterminados, ou ainda para

determinar a massa (ou peso), o volume de um fluido ou sólido contido num reservatório, ou a porcentagem do nível.

A escolha do tipo de sensor de nível não é uma tarefa tão simples quanto parece ser a princípio. A especificação do sensor deve levar em consideração:

- As características químicas e físicas do meio a ser medido
- O estado da matéria
- As interferências das variáveis temperatura e pressão
- Custo do sensor
- Local da instalação

Basicamente, o monitoramento do nível pode ser efetuado de duas formas distintas: diretamente (onde o medidor observa a camada superior do fluido em questão) ou indiretamente (através do conhecimento de outra grandeza que possibilite uma relação entre o seu valor e o nível do reservatório). Bóias, por exemplo, são sensores de nível do tipo direto. Sensores de pressão podem ser considerados como medidores indiretos de nível. Para a medição de níveis de líquidos há diversos tipos de sensores, cada um apresentando suas características, vantagens e desvantagens (MELO e BERNARDES, 2006).

Existem muitos modelos de sensores de nível elétricos. A Figura 8 ilustra uma sonda condutiva de medição. Pode ser utilizada em líquidos condutores de eletricidade, como, por exemplo, água. Outro exemplo de sensores condutivos é o sistema com eletrodos para líquidos condutivos (Figura 9), onde através de um transformador de isolamento, é aplicada uma tensão alternada no eletrodo e, pela condutibilidade elétrica do líquido, é acionado um relé, que está em série como carga.



Figura 8 – Sonda condutiva de medição



Figura 9 – Sistema com eletrodos para líquidos condutivos

3.3.5 Sistemas de controle

A necessidade de se controlar sistemas e processos físicos existe desde tempos remotos. O controle manual, primeira forma de controle utilizada pelo homem, e ainda presente em muitos processos, apresenta a necessidade de um operador humano que deve conhecer o sistema e ter razoável experiência e habilidade. Com o crescente aumento no grau de sofisticação das atividades humanas surgiu o interesse e a necessidade de automatizar ou semi-automatizar determinados processos. Isso foi possível a partir do desenvolvimento científico e tecnológico, que dentre os diversos conhecimentos nos trouxe as teorias clássicas de controle (JÚNIOR *et al.*, 2005).

Um Sistema de Controle é um conjunto de dispositivos que mantém uma ou mais grandezas físicas dentro de condições definidas na sua entrada. Tais dispositivos que compõe o sistema de controle podem ser elétricos, mecânicos, ópticos e até seres humanos (DORF e BISHOP, 2001).

De acordo com Humphries e Sheets (1999), um sistema de controle possui entradas ou ajustes, que representam os comandos fornecidos ao sistema, perturbações ou distúrbios, que causam alterações nas variáveis controladas, e saídas, que são as ações que devem ser executadas para manter as variáveis controladas dentro de limites preestabelecidos. A função do sistema de controle é regular os valores das variáveis controladas, quando perturbações as modificam, por meio de dispositivos atuadores.

Os controles automáticos têm tido importante papel na modernização de processos industriais. Os avanços nesta área são concentrados em atingir a performance ótima de sistemas dinâmicos, proporcionando diversos benefícios como maior qualidade e menor custo, aumento da taxa produtiva, dentre outros (BERTO, 2004).

Um controlador compara o valor real da saída do processo com o valor desejado, determina o desvio, e produz um sinal de controle que é transmitido a um elemento final de controle, que manipula um fluxo de massa ou energia para o processo, e assim reduz o desvio entre o valor desejado e o valor medido da variável controlada. A maneira pela qual o controlador produz o sinal de controle é denominada ação de controle (OGATA, 2003).

3.3.6 Diagrama de blocos

Um sistema de controle, em geral, é composto de vários componentes. Para mostrar as funções que são executadas por cada um desses componentes, normalmente utiliza-se uma representação denominada diagrama de blocos. Um diagrama de blocos de um sistema é uma representação gráfica das funções desempenhadas por cada componente e o fluxo de sinais entre eles. Esses diagramas descrevem o inter-relacionamento que existe entre vários componentes do sistema de controle. Um diagrama de blocos tem a vantagem de indicar mais realisticamente o fluxo de sinais do sistema real. Em um diagrama de blocos, todas as variáveis do sistema são ligadas umas às outras por meio de blocos funcionais (OGATA, 2003).

As vantagens da representação de um sistema por diagrama de blocos consistem no fato de que é fácil a construção de um diagrama de blocos para todo sistema pela simples interligação dos blocos componentes, de acordo com o fluxo de sinais, e na possibilidade de avaliar a contribuição de cada componente para o desempenho global do sistema. Um diagrama de blocos contém informações relativas ao comportamento dinâmico, mas não inclui nenhuma informação sobre a construção física do sistema. Conseqüentemente, muitos sistemas que não apresentam semelhança e não estão relacionados podem ser representados pelo mesmo diagrama de blocos (OGATA, 2003). A Figura 10 mostra um elemento de um diagrama de blocos. A seta que aponta para o bloco indica a entrada e a seta que aponta para fora do bloco representa a saída. Essas setas são designadas como sinais.



Figura 10 – Elemento de um diagrama de blocos de um sistema de controle

O diagrama de blocos é útil para a representação gráfica da dinâmica dos sistemas de controle e é amplamente utilizado na análise e projeto de sistemas de controle (OGATA, 2003).

3.3.7 Sistemas de controle em malha aberta

Um sistema de controle é denominado em malha aberta quando a variável de saída não exerce influência sobre a ação de controle, ou seja, a variável de saída não é medida nem retroalimentada para ser comparada com a entrada. Na presença de distúrbios internos ou externos ao sistema, este tipo de malha não consegue realizar a operação desejada com precisão, devido à ausência de correção dos desvios (OGATA, 2003). Na Figura 11 é apresentado o diagrama de blocos em malha aberta.

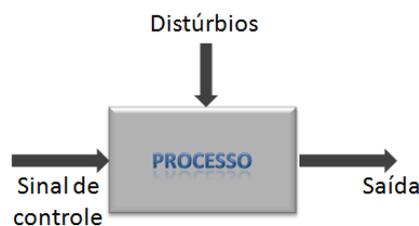


Figura 11 – Diagrama de blocos de um sistema de controle de malha aberta

3.3.8 Sistemas de controle em malha fechada

Um sistema que estabeleça uma relação de comparação entre a saída e a entrada de referência, utilizando a diferença como meio de controle, é denominado sistema de controle com realimentação. Os sistemas de controle com realimentação são, com frequência, denominados também sistemas de controle de malha fechada. A Figura 12 mostra o diagrama de blocos de um sistema de controle de malha fechada.

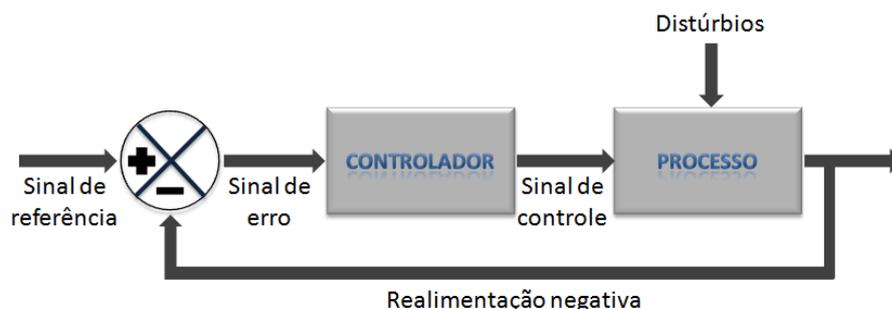


Figura 12 - Diagrama de blocos de um sistema de controle de malha fechada

Em um sistema de controle de malha fechada, o sinal de erro atuante, que é a diferença entre o sinal de entrada e o sinal de realimentação (que pode ser o próprio sinal de saída ou uma função dos sinais de saídas e suas derivadas e/ou integrais), realimenta o controlador, de modo que minimize o erro e acerte a saída do sistema ao valor desejado. O termo “controle de malha fechada” sempre implica a utilização do controle com realimentação para efeito de reduzir o erro do sistema (OGATA, 2003).

3.3.9 Ação de controle de duas posições

Conhecido popularmente como liga-desliga (*on-off*) este tipo de controle caracteriza-se pelo elemento atuante possuir apenas duas posições fixas que são, em muitos casos, a posição de ligado e desligado do sistema. É um tipo de controle simples e econômico. A resposta a este controle é oscilatória e a amplitude de oscilação de saída pode ser reduzida diminuindo-se o intervalo diferencial entre as ações de ligar e desligar. Porém uma diminuição excessiva deste diferencial aumenta a frequência das operações da chave podendo gerar diminuição da vida útil do componente (BERTO, 2004).

Considere o sinal de saída $m(t)$ e o sinal erro atuante $e(t)$. Em um controle de duas posições o sinal $m(t)$ permanece em um valor máximo ou em um valor mínimo, dependendo de o sinal erro atuante ser positivo ou negativo, de modo que:

$$m(t) = M_1 \quad \text{para } e(t) > 0$$

$$m(t) = M_2 \quad \text{para } e(t) < 0$$

onde M_1 e M_2 são constantes.

O valor mínimo M_2 usualmente é zero ou $-M_1$. As Figuras 13a e 13b mostram os diagramas de blocos para controladores de duas posições.

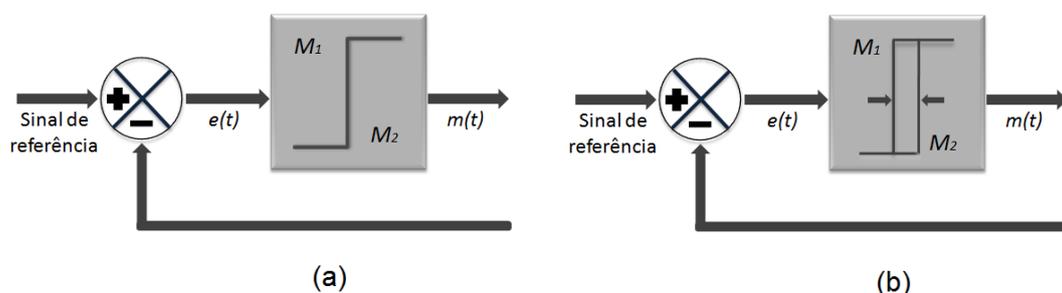


Figura 13 – Diagrama de blocos de controladores *on-off*

O intervalo através do qual o sinal erro atuante deve mover-se antes de ocorrer o chaveamento é denominado intervalo diferencial. Um intervalo diferencial é indicado na Figura 13b. Este intervalo diferencial faz com que a saída do controlador $m(t)$ mantenha seu valor presente até que o sinal erro atuante tenha-se movido ligeiramente além do valor zero. Normalmente o intervalo diferencial é intencionalmente colocado de modo a prevenir uma operação freqüente demais do mecanismo *on-off* (OGATA, 2003).

3.3.10 Sistemas computadorizados de controle

Sistemas de controle em malha aberta ou malha fechada, baseados em um computador, consistem de uma combinação de *hardware* e *software* que atuam como supervisores e gerenciadores das operações de um determinado processo. Dentre as vantagens da utilização do computador como controlador, destaca-se a possibilidade de controlar, ao mesmo tempo, diversas malhas abertas e/ou fechadas com um único computador. Além disso, modificações e ajustes mais simples no sistema de controle podem ser realizados atuando-se diretamente no programa computacional (*software*) e não na estrutura física (*hardware*) (NISE, 1998).

De acordo com Boman *et al.*, (2002), o processo de tomada de decisão, relacionado aos comandos do sistema computadorizado, é realizado a partir de um conjunto de operações lógicas que constituem o algoritmo da estratégia de controle incluído no programa computacional. Nos sistemas computadorizados, a estratégia de controle pode ser elaborada com diferentes níveis de complexidade, variando desde um simples controle temporizado até a utilização de sofisticados modelos de estimativa e de simulação alimentados por sensores, para decidir as ações de controle.

Nos sistemas computadorizados de controle em malha fechada, os sinais elétricos provenientes dos sensores são aplicados em uma placa de aquisição de dados conectada ao computador, sendo a mesma responsável pela conversão analógica-digital destas medições. As informações coletadas podem ser processadas por meio do programa computacional, empregadas na retroalimentação da estratégia de controle, armazenadas em unidades de disco rígido ou flexível e exibidas graficamente na tela do monitor, permitindo ao usuário acompanhar, em tempo real, as oscilações dos valores das variáveis monitoradas (ZAZUETA *et al.*, 2002).

3.3.11 Microcontroladores

O microcontrolador é definido como sendo um sistema computacional integrado, pois possui unidade de processamento, memória, entradas e saídas integradas em um único chip. É

assim denominado, pois, a partir de dados de entrada, executa algum processamento mediante um programa armazenado em uma memória gerando uma saída (NUMAJIRI, 2003).

Souza (2003) define um microcontrolador como um componente eletrônico dotado de “inteligência” programável, ou seja, esse componente possui uma memória interna que possibilita a gravação de uma seqüência de instruções estruturadas na forma de programa, que serão executadas seqüencialmente ou respondendo a eventos internos ou externos.

Os microcontroladores são conhecidos como computadores em um circuito integrado. Em um microcontrolador podemos encontrar memória, CPU, entrada e saída de dados. Alguns ainda possuem periféricos como conversores (A/D) e (D/A), comparadores e outros. Os microcontroladores chegam a custar, muitas vezes, menos que um transistor (REBELLO JUNIOR, 2004).

Existe uma grande quantidade de microcontroladores no mercado, como por exemplo:

- Família 8051 – fabricante Intel
- PIC – fabricante Microchip
- AVR – fabricante Atmel
- BASIC Stamp – fabricante Parallax
- BASIC Step – fabricante Tato Equipamentos

3.3.12 Padrão de comunicação RS232

Segundo Canzian (2011) “RS” é uma abreviação de “Recommended Standard”. Ela relata uma padronização de uma interface comum para comunicação de dados entre equipamentos, criada no início dos anos 60, por um comitê conhecido atualmente como EIA. Naquele tempo, a comunicação de dados compreendia a troca de dados digitais entre um computador central (mainframe) e terminais de computador remotos, ou entre dois terminais sem o envolvimento do computador. Estes dispositivos poderiam ser conectados através de linha telefônica, e conseqüentemente necessitavam um modem em cada lado para fazer a decodificação dos sinais.

Dessas idéias nasceu o padrão RS232. Ele especifica as tensões, temporizações e funções dos sinais, um protocolo para troca de informações, e as conexões mecânicas. Há mais de 30 anos desde que essa padronização foi desenvolvida, a EIA publicou três modificações. A mais recente, EIA232E, foi introduzida em 1991. Ao lado da mudança de nome de RS232 para EIA232, algumas linhas de sinais foram renomeadas e várias linhas novas foram definidas. Embora tenha sofrido poucas alterações, muitos fabricantes adotaram diversas soluções mais simplificadas que tornaram impossível a unificação da padronização proposta.

3.3.13 Relés

São dispositivos que podem ser usados para acionar equipamentos de potência como motores, válvulas, bombas, etc., utilizando-se pequenas tensões e/ou correntes típicas das que podem ser fornecidas pelas saídas digitais de placas de aquisição de sinais. Os relés mecânicos são escolhidos devido a sua versatilidade. Contatos NA, NF, bem como múltiplos contatos estão disponíveis. Eles não possuem corrente de fuga no estado desligado. No entanto, possuem uma resposta mais lenta, menor vida útil, e em alguns casos, geram ruídos elétricos, tanto na bobina quanto nos contatos.

O relé é formado basicamente por uma bobina e pelos seus conjuntos de contatos. Energizando-se a bobina os contatos são levados para suas novas posições permanecendo enquanto houver alimentação da bobina. Um relé, construtivamente pode ser formado por vários conjuntos de contatos. Uma das grandes vantagens do relé é a isolamento galvânica entre os terminais da bobina e os contatos do mesmo. Outra vantagem dos relés é a possibilidade de acionar cargas com tensões diferentes através de um único relé (DE NEGRI *et al.*, 1998). A Figura 14 mostra o diagrama de pinos de um relé mecânico.

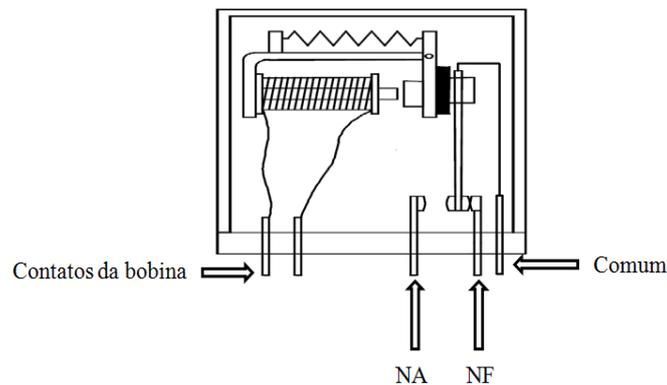


Figura 14 – Diagrama de pinos de um relé

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Construção do protótipo: Projeto do sistema osmótico

O projeto do protótipo foi realizado com base na informação de que o tratamento osmótico é um processo de transferência de massa em uma interface sólido-líquido, em que a fruta (fase sólida) entra em contato com a fase líquida (solução osmótica) de forma a promover a transferência de massa entre soluto e solvente. Assim, foram estabelecidas algumas condições para a construção do protótipo de um equipamento que proporcionasse as melhores taxas de transferência de massa e possibilitasse, com facilidade, a avaliação dos resultados obtidos. Tais condições foram:

- 1) Facilidade no controle do processo: temperatura no tanque de processamento e compensação da solução.
- 2) Agitação contínua da solução desidratante para evitar a formação de camadas de soluto ou do solvente ao redor da fruta;
- 3) Ausência de dano mecânico na fruta (quebra, esmagamento ou esfarelamento);
- 4) Disponibilidade para trabalhar com frutas em diferentes geometrias (frutas inteiras, em fatias, cubos, metades, etc);
- 5) Diferentes proporções entre a fruta e a solução;
- 6) Praticidade na introdução e remoção das frutas;
- 7) Pequena interferência do operador do equipamento no processo.

A estrutura física projetada para o protótipo foi concebida conforme representado na Figura 15. O projeto dessa estrutura foi realizado com base em um processo osmótico onde fossem realizadas compensações da solução osmótica, no tanque de processamento, em intervalos de tempos pré-determinados com volumes de solução conhecidos com a finalidade de corrigir a concentração da solução osmótica, uma vez que no processo de desidratação osmótica a concentração da solução diminui com o tempo de processo. Portanto, a estrutura física do protótipo deveria apresentar:

- Um tanque pulmão, para o armazenamento de solução osmótica com concentração conhecida, que iria alimentar o tanque de processamento no momento das compensações;
- Um tanque de processamento, onde iria ocorrer o processo osmótico propriamente dito, de onde seria retirado o volume de solução com conseqüente reposição (compensação);
- Um tanque de armazenamento da solução oriunda das retiradas do tanque de processamento.

Para isso, foram utilizados como tanques, três baldes de polipropileno com capacidade de 20 L cada. O último tanque A foi escolhido para funcionar como tanque pulmão, ou seja, fornecer solução osmótica padrão (na concentração especificada para o processo) para o tanque de desidratação (tanque B) no momento da compensação da solução osmótica.

O tanque B foi adotado como o tanque de processamento osmótico, ou seja, o tanque onde ocorreu o processo de desidratação osmótica propriamente dito. Nesse tanque foram instalados o sensor de temperatura, o sensor de nível da solução osmótica, a resistência elétrica para o controle da temperatura da solução e o agitador.

O tanque C foi direcionado para armazenar a solução osmótica oriunda das compensações da solução. Nas especificações do projeto, essa solução poderia ser reconcentrada e reutilizada em novos processos de desidratação.

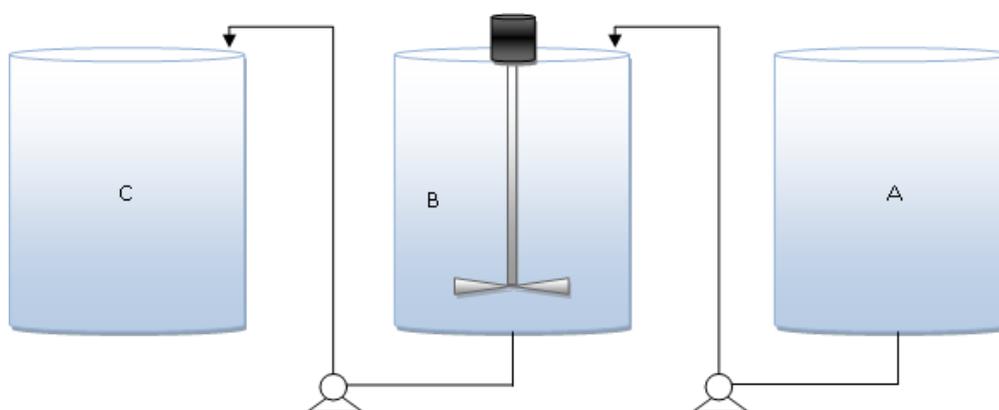


Figura 15 – Disposição dos tanques em série. A – Tanque pulmão, B – Tanque de desidratação e C – Tanque de armazenamento

O agitador foi construído com um motor de 12 volts com rotação de 70 rpm utilizado originalmente para o levantamento automático dos vidros de automóveis. A este motor foi acoplado um eixo de alumínio de 12 mm de diâmetro, em cuja extremidade foi fixada uma chapa de alumínio (13 x 2,5 cm) atuando como propulsor. Sousa (2007) também utilizou um motor similar para confeccionar um agitador. A Figura 16 apresenta o agitador construído.



Figura 16 – Agitador construído para o tanque de desidratação do protótipo

4.2 Placa de submersão das frutas

Durante ensaios prévios realizados com o protótipo, verificou-se que as frutas não ficaram totalmente submersas na solução proporcionando uma condição inadequada para o processo comprometendo assim o tratamento osmótico nas mesmas. Para solução desse problema foi adicionado ao tanque de processamento uma placa de alumínio dotada de furos (Figura 17) para forçar as frutas a ficarem submersas na solução durante o processo. Essa placa foi afixada por suportes com barras de alumínio na tampa do tanque de forma que com a abertura do tanque a placa era removida junto à tampa.

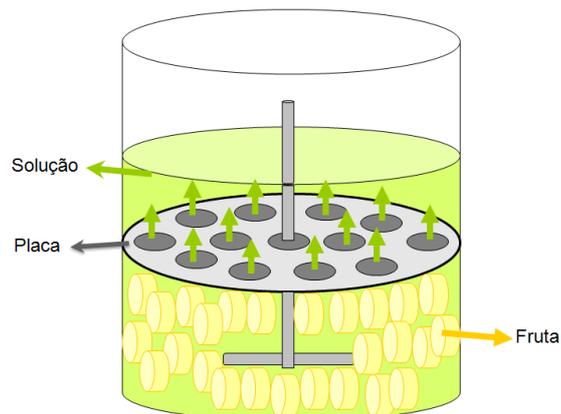


Figura 17 – Diagrama esquemático de funcionamento da placa construída

4.3 Interface de comunicação com o computador

Para o monitoramento e controle da temperatura e do nível da solução no tanque de desidratação, foi construído um circuito para realizar a comunicação entre o computador e os atuadores no protótipo (bombas, agitador e resistência) além de realizar a leitura dos sensores e enviar para o computador para o processamento dos dados. A Figura 18 mostra o diagrama de blocos que descreve o funcionamento do circuito. O componente principal desse circuito foi um microcontrolador PIC (16F628A, Microchip Technology Inc, EUA). Tal componente foi responsável pela comunicação com o computador no formato serial. Esse microcontrolador foi escolhido por se tratar de um microcontrolador de baixo custo, fácil programação a apresentar boa disponibilidade no mercado. Além disso, o mesmo atendeu as exigências do projeto. As informações técnicas sobre o PIC16F628A podem ser visualizadas no APÊNDICE D.

O circuito foi alimentado com uma fonte de 12 Vcc devido ao fato de utilizar relés para o acionamento dos atuadores do processo e de os mesmos necessitarem de tal tensão para o seu funcionamento. Entretanto, um regulador de tensão (LM7805, National Semiconductor Corporation, EUA) fornecia os 5 Vcc necessários para alimentar o microcontrolador e o conversor de nível de tensão (MAX232, Maxim, EUA). As informações técnicas sobre o conversor de nível podem ser visualizadas no APÊNDICE D.

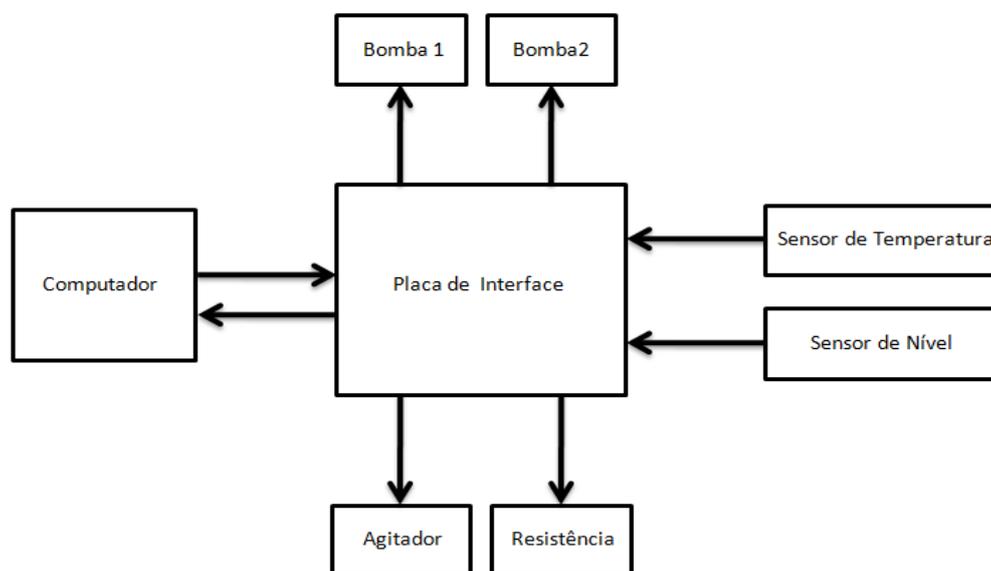


Figura 18 – Diagrama de blocos do funcionamento da placa de interface entre o computador e o protótipo

No momento em que o circuito de comunicação era alimentado, os circuitos dos sistemas de medição da temperatura e do nível também eram alimentados. Após alguns milésimos de

segundos, tempo necessário para os microcontroladores iniciarem, o microcontrolador do circuito de comunicação recebia as informações oriundas dos sensores de temperatura e de nível e as enviavam no formato TTL serial para o conversor de nível. Essas informações eram convertidas para o formato serial RS232 e logo após enviadas ao computador pela porta serial, que as processavam e enviava o sinal de controle para o protótipo a fim de manter o controle do processo. O código utilizado para programar a placa de interface com computador encontra-se no APÊNDICE E.

4.4 Sistema de medição da temperatura

Optou-se por construir um sistema de medição de temperatura pelo fato de que a construção do mesmo apresentava baixo custo em relação a sistemas de medição dessa grandeza. Além disso, a construção de tal sistema apresenta como vantagem a possibilidade de utilizar um sistema de medição específico que atendesse as necessidades do projeto. O sistema de medição foi construído considerando uma resolução de 1°C.

4.4.1 Sensor de temperatura

Para a construção do sensor de temperatura do sistema de medição proposto no presente projeto foi utilizado um sensor do tipo termistor (B57540G0103J, EPCOS, BRASIL). A Figura 19 mostra as dimensões deste termistor.

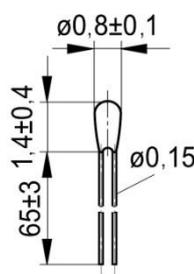


Figura 19 - Dimensões em milímetros do termistor

O primeiro passo para a construção do sensor de temperatura foi proteger o termistor do meio a se realizar a medição, acondicionando-o em um tubo metálico. Para tal tarefa foi utilizado um tubo de aço inoxidável com dimensões de 15 cm de comprimento e 3 mm de diâmetro. Um dos lados do tubo foi vedado sendo o termistor introduzido no lado oposto do tubo. Para uma melhor

resposta do elemento sensor às variações de temperatura foi introduzida também, no tubo, pasta térmica com o intuito de preencher os espaços entre o termistor e o tubo e facilitar a transferência de calor entre o meio de medição e o termistor considerando que o tubo apresentava um bom coeficiente de transferência de calor (Figura 20).

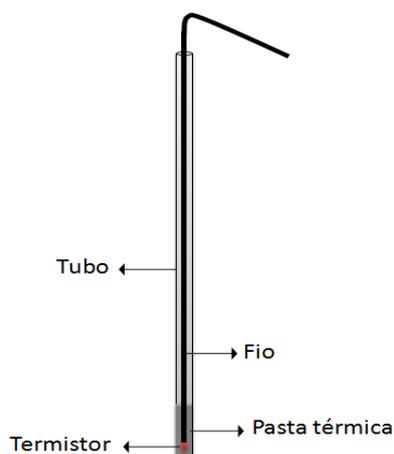


Figura 20 – Termistor acondicionado em tubo de aço

Posteriormente o circuito de amplificação e condicionamento do sinal oriundo do termistor foi concebido.

4.4.2 Circuito do sensor de temperatura

Para a construção do circuito do sistema de medição da temperatura foi adotado e modificado um circuito proposto por Guadagnini e Barlette (2005). Esses autores construíram um sistema de medição de temperatura para leitura direta com um multímetro baseado em um termistor, um amplificador operacional e componentes auxiliares. Tal sistema se caracterizava por fornecer uma saída analógica para uma faixa de temperatura linearizada de 0 a 40° C.

O circuito proposto no presente trabalho foi montado utilizando-se um amplificador operacional (LM358, Fairchild Semiconductor Corporation, EUA) para amplificar o sinal. Foi realizado um aumento do ganho no circuito proposto por Guadagnini e Barlette (2005) a fim de facilitar a digitalização da tensão analógica que representava a temperatura. Para a digitalização da tensão analógica fornecida pelo circuito foi adicionado ao circuito um microcontrolador PIC (12F675, Microchip Technology Inc, EUA) As informações técnicas sobre esse componente podem ser encontradas o APÊNDICE D. Esse componente tem em seus periféricos um conversor

analógico/digital de 10 bits de resolução o que significa que numa tensão de trabalho de 5Vcc a cada 4,88 mV ocorre um incremento no número digital. Dessa forma, o microcontrolador recebia por um de seus canais ADC, a tensão correspondente a uma determinada temperatura, digitalizava e enviava no formato serial para o circuito de interface com o computador. O código utilizado para programar a placa do circuito de medição da temperatura encontra-se no APÊNDICE F. A Figura 21 mostra o diagrama de uma representação esquemática do funcionamento do sistema de medição da temperatura.

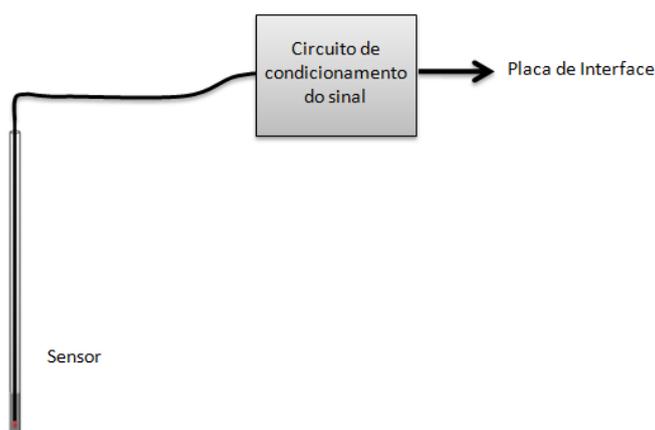


Figura 21 – Diagrama de representação esquemática do funcionamento do sistema de medição da temperatura

4.4.3 Procedimento de Verificação do sistema de medição da temperatura

Para realizar a verificação do sistema de medição da temperatura construído neste trabalho foi executado o seguinte procedimento: O sistema de medição foi devidamente instalado no tanque de trabalho e ao sensor construído foi fixado, por meio de presilhas plásticas, o sensor do controlador de temperatura (TIC 107, FULLGAGE, BRASIL) (Figura 22) adotado como termômetro padrão. Em seguida, o tanque foi completado com água até o volume máximo de trabalho (10 L). Posteriormente procedeu-se o aquecimento da água sob leve agitação para uma distribuição uniforme da energia térmica dissipada pela resistência. O procedimento de verificação foi realizado observando-se uma faixa de temperatura de (20 a 50)°C. Durante o aquecimento foram monitorados e registrados os valores das temperaturas e dos respectivos números digitais fornecidos pelo sistema de medição construído, ou seja, para cada temperatura exibida no controlador foi atribuído um valor digital fornecido pelo sistema.



Figura 22 – Posicionamento dos sensores para verificação do sistema de medição construído

Os dados oriundos da verificação foram submetidos à análise de regressão para a obtenção de uma curva de verificação. Não foi realizada a determinação da incerteza de medição na construção do presente sistema de medição de temperatura por duas razões. A primeira é que tal sistema trata-se de um protótipo e o objetivo maior era construir e testar um sistema de controle da temperatura do processo independentemente da certeza com essa temperatura fosse medida. E a segunda é que o controlador, adotado como termômetro padrão, não tinha o certificado de calibração impossibilitando afirmar que o mesmo era um padrão confiável.

4.5 Sistema de monitoramento do nível

Foi construído um sensor de nível por condutividade elétrica (chave de nível). Esse tipo foi adotado por se tratar de um tipo de sensor de baixo custo, de fácil instalação e operação não requerendo uma tecnologia muito refinada para a sua construção. Além disso, esse tipo de sensor facilita sua limpeza sem a necessidade da remoção do mesmo.

4.5.1 Construção do sensor de nível por condutividade

Para o monitoramento do nível no tanque de desidratação foi construído um sensor do tipo chave de nível. O sensor de detecção do nível do tanque de desidratação foi construído utilizando-se três hastes cilíndricas em aço inox (eletrodos), uma conexão (tipo luva) de 30 mm de PVC e 30 cm de cabo coaxial blindado (Figura 23).

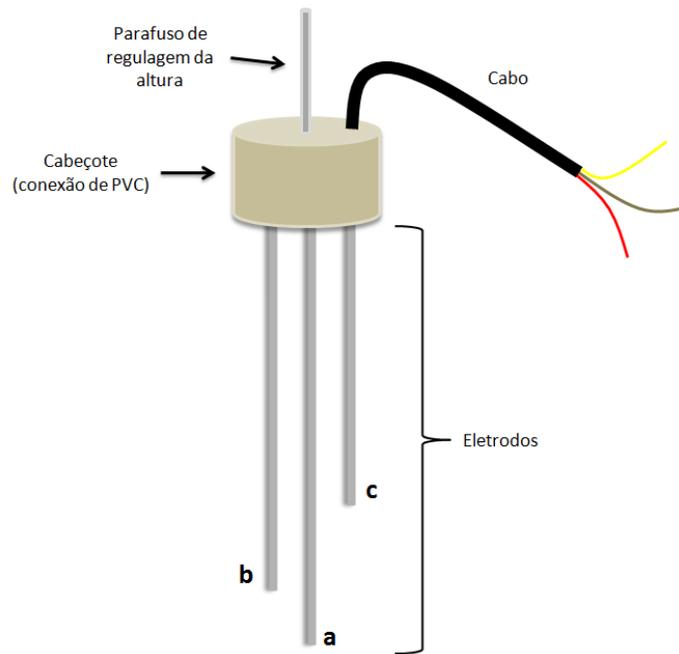


Figura 23 – Sensor de nível por condutividade

Este sensor foi instalado no interior do reservatório de desidratação e a sua altura em relação ao fundo foi ajustada através de um parafuso fixado no na conexão de PVC. O sensor foi instalado a aproximadamente 2 cm da parede interna do tanque.

Foi estipulado um volume arbitrário de 0,8 L de solução a ser compensado para verificar o sistema de controle do nível. Partindo desse valor, da Equação 4 e da área da seção transversal do tanque encontrou-se a altura, em m, entre o eletrodo b e c.

$$V = Ah \tag{4}$$

O cabo do sensor construído foi conectado a um circuito eletrônico específico permitindo ao computador quando da compensação da solução osmótica, desligar a bomba de retirada de solução do tanque B e ligar a bomba de injeção de solução do tanque A ao ser atingida a altura mínima preestabelecida no tanque de desidratação. Desta maneira, quando a altura máxima de solução no tanque B era detectada, a bomba era desligada evitando assim o transbordamento da solução e garantindo a proporção correta entra fruta e solução.

O princípio de funcionamento do sensor desenvolvido no presente projeto baseou-se na condutividade da corrente elétrica por parte do fluído (solução osmótica). Dessa forma, a um dos eletrodos, o eletrodo a, foi conectado um dos fios da fonte de alimentação, 9 Vca. A utilização de corrente alternada é necessária para que não ocorra deposição eletrolítica nos eletrodos. O eletrodo a, ficou caracterizado como o eletrodo comum e era o primeiro que entrava em contato com o

fluido. O eletrodo b foi utilizado como o de detecção de nível mínimo. Quando a solução tocava esse eletrodo o circuito entre o eletrodo comum e de nível mínimo era fechado e o sistema de medição entendia que o nível mínimo havia sido atingido e então enviava essa informação, no formato digital, para a placa de interface. O mesmo acontecia quando o nível atingia o eletrodo do nível máximo, ou seja, o eletrodo c.

4.5.2 Circuito do sensor de nível

O circuito elétrico do sensor de nível foi caracterizado por retificar a tensão alternada oriunda do sensor e posteriormente quantificá-la digitalizando a mesma. Esse processo foi realizado por um circuito projetado para este fim e por um microcontrolador PIC (12F675, Microchip Technology Inc, EUA).

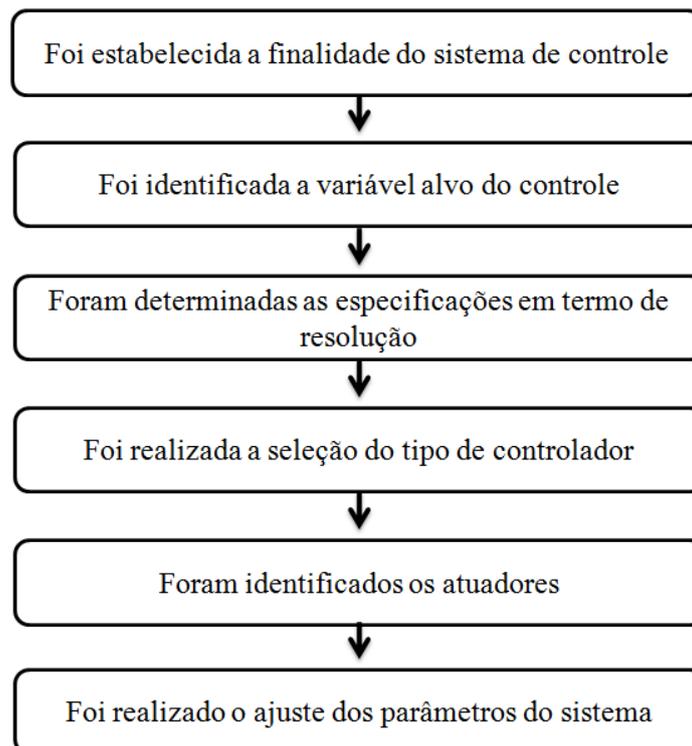
Os eletrodos de detecção de nível máximo e nível mínimo foram conectados a circuitos independentes de retificação de tensão e as saídas desses circuitos, com a tensão retificada, foram conseqüentemente conectadas em pinos separados do microcontrolador. Dessa maneira os níveis máximos e mínimos eram monitorados separadamente. Uma vez que o fluido atingia o nível mínimo uma tensão de 2,360 Vcc era fornecida pelo circuito de retificação no canal 1 do ADC do microcontrolador que por sua vez a convertia em um número digital igual a 484. O mesmo procedimento era realizado para o nível máximo. A mesma tensão era fornecida no canal 2 do ADC do PIC. O microcontrolador digitalizava as tensões oriundas dos dois canais comparava se esses resultados eram maiores que o número 10. Esse procedimento era realizado para evitar que houvesse erro na informação pela presença de ruídos. Caso o resultado fosse maior que 10 era atribuído para esse nível a letra “H”, caso não era atribuído a letra “L”. Essas informações eram enviadas no formato serial para a placa de interface na seguinte ordem: “nHL”. Esse processo era efetuado a cada 10 milésimos de segundos. No exemplo citado, o “n” indicava à placa de interface que a informação que seguia era do sensor de nível, o “H” indicava que o fluido já havia atingido o nível mínimo e o “L” que o fluido ainda não havia atingido o nível máximo. Dessa forma, estabeleceram-se dois níveis limites dentro dos quais eram realizadas as compensações de solução. O microcontrolador foi programado utilizando-se a linguagem PIC BASIC PRO. O código utilizado para programar a placa do sensor de nível encontra-se no APÊNDICE G.

Para se obter os melhores resultados no monitoramento do nível foram testadas duas vazões na bomba de alimentação do tanque de processo. Para tal, foram realizadas compensações com a bomba alimentada em (12 e 5) Vcc. Para cada tensão foram promovidas 10 compensações em 3 repetições sendo a homogeneidade dos resultados para a bomba alimentada nas duas tensões avaliada pelo teste F. Para avaliar as medias de cada situação, bomba alimentada com (12 e 5) Vcc,

os dados foram submetidos ao teste t de student. Durante a realização das compensações, foi mantida a agitação no tanque.

4.6 Etapas do projeto e montagem do sistema de controle

Para o projeto e montagem do sistema de controle foram seguidas as etapas apresentadas abaixo (DORF e BISHOP, 2001):



Foram realizadas análises preliminares (qualitativas) de desempenho no sistema de controle projetado. A ação de controle escolhida foi a *on-off*. Para essa ação de controle foi atribuída, por método experimental (tentativa e erro), uma histerese de ± 1 °C baseado na informação de que no processo osmótico variações de ± 1 °C em torno do *set point* não provocam alterações sensíveis na transferência de massa entre a fruta e a solução. Oscilações de ± 1 °C em torno da temperatura de controle garantiam a melhor resposta do sistema de controle pelo fato de o sistema de medição ter sido projetado para indicar temperaturas com resolução de 1 °C. A análise qualitativa tempo liga e desliga, demonstrou um tempo de aproximadamente de 4 minutos para esse parâmetro.

4.7 Software de controle do processo

O computador foi destinado a atuar no controle do processo. As informações foram trocadas com a placa de interface através da porta serial RS232 as quais eram transmitidas e recebidas continuamente. Para gerenciar e controlar o processo foi desenvolvido um aplicativo com a plataforma VB 6.0. A Figura 24 apresenta a aparência deste software.

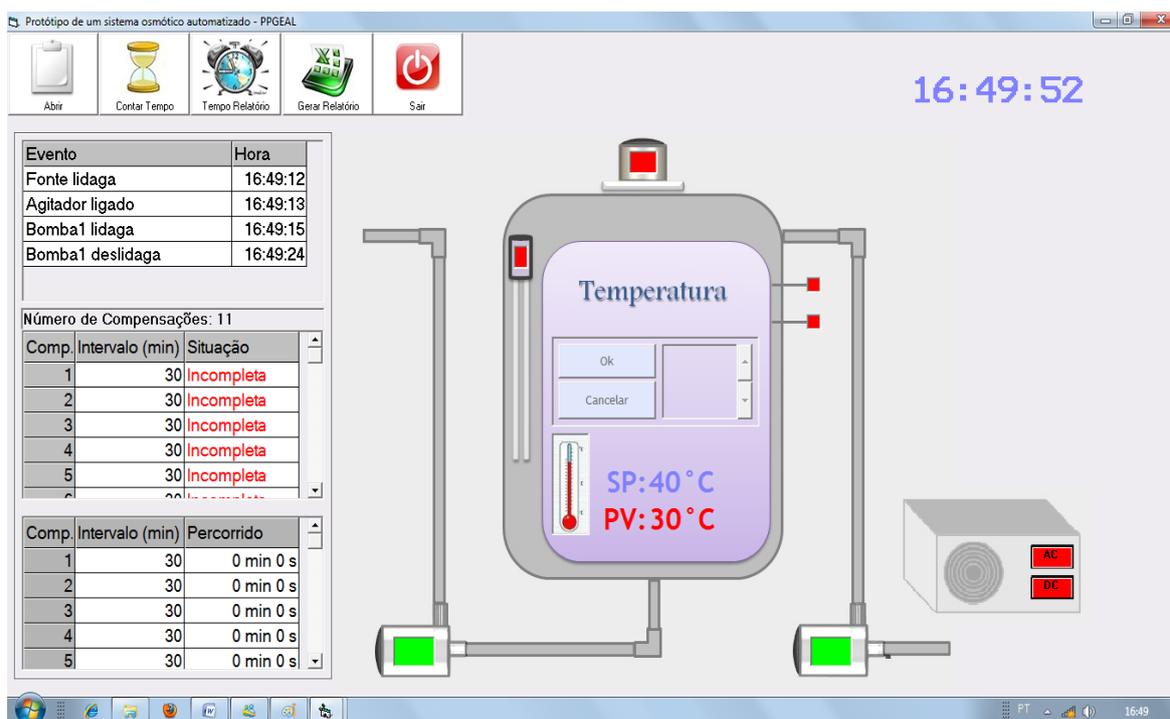


Figura 24 – Aparência do software desenvolvido para o controle do protótipo

Para iniciar um processo o usuário deveria informar através de um arquivo de entrada (formato txt) o número n de compensações (primeira linha do arquivo) e os intervalos de tempos (nas linhas seguintes) em que ocorreriam as n compensações de solução. Esse arquivo era aberto e carregado e os dados eram armazenados em uma matriz para serem consultados no momento da compensação. Além disso, esses dados eram exibidos na tela do aplicativo. Uma vez iniciado o processo, também era iniciada a contagem de tempo e o usuário podia dar início ao armazenamento de informações como *set point*, temperatura, tempo de processo e estado da resistência com o intuito de gerar um relatório ao final de cada processo através de um arquivo no formato xls.

4.8 Avaliação do protótipo com processo de Desidratação Osmótica de Maçã

4.8.1 Finalidade do processo de Desidratação Osmótica de Maçã

Com a finalidade de avaliar um processo de desidratação osmótica de maçã no protótipo construído, foram realizados experimentos com o mesmo no Laboratório de Secagem da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia/UESB, Campus Juvino Oliveira, Itapetinga – BA.

4.8.2 Material

4.8.2.1 Matéria-prima

Foram utilizadas maçãs (*Malus pumila*) da variedade nacional, foram adquiridas no comércio de Itapetinga-BA. As frutas foram selecionadas de acordo com o peso (130 a 140) g, tamanho, aparência (frutas saudas), formato (uniforme) e grau de maturação (frutas maduras, porém firmes) a fim de obter amostras mais homogêneas. As maçãs utilizadas no experimento apresentavam sólidos solúveis totais em torno de (11 a 12) °Brix.

4.8.2.1.1 Preparação da matéria-prima

As maçãs foram lavadas, por imersão, em água clorada (50 mg/L de cloro ativo/15 min) e descascadas, para facilitar a manipulação e o posterior fatiamento com uso de um fatiador em aço inoxidável para a obtenção de amostras na forma de palitos. Após o fatiamento os palitos de maçã foram selecionados manualmente para obtenção de amostras com geometria similares de aproximadamente (1 x 1 x 3)cm. Na Figura 25 estão apresentados os palitos de maçã utilizados.



Figura 25 – Palitos de maçã obtidos para o processo de desidratação osmótica

4.8.2.2 Preparação da solução osmótica

O agente desidratante utilizado foi a sacarose. As soluções utilizadas (processo com compensação de solução e sem compensação) foram preparadas utilizando sacarose comercial (marca Coceal).

A solução desidratante usada em todo o experimento com concentração padronizada em 60 °Brix foi preparada com base na Equação 5.

$$^{\circ}\text{Brix} = (M_{ss}/M_{sol}) * 100 \quad (5)$$

As soluções osmóticas foram preparadas com água destilada na temperatura ambiente em um liquidificador industrial e tiveram seu teor de sólidos solúveis estimados em 59 °Brix, com o uso de refratômetro portátil (RMM, ATAGO, JAPAN), obtendo-se uma boa homogeneização.

4.8.3 Processo de desidratação osmótica

4.8.3.1 Sistema de desidratação osmótica com compensação (SCC)

A desidratação no sistema com compensação foi realizada com 2660 g de maçãs, cortadas em palitos e sem sementes. As maçãs foram pesadas e colocadas no tanque contendo 7980 g de solução de sacarose caracterizando uma relação fruta:solução de 1:3 (p/p) e aquecida a 40 °C. Inicialmente, o tanque de desidratação foi alimentado com a solução previamente pesada (7980 g). Em seguida a solução foi aquecida a uma temperatura estimada em 40 °C pelo sistema de controle da temperatura do sistema osmótico com compensação da solução e agitada a 70 rpm. Essa temperatura foi mantida até o momento da adição dos palitos de maçã e posteriormente controlada durante o processo. A cada 30 min foram coletadas amostras da maçã (três palitos), de aproximadamente 3 g cada um, e da solução. Para a retirada das amostras, a maçã foi drenada, enxaguada com água destilada para retirar o excesso de xarope, e colocada sobre papel absorvente. As amostras da maçã foram submetidas à análise do teor de sólidos solúveis (°Brix) e de umidade.

A cada 30 min, o sistema realizou uma compensação de solução retirando um valor médio de 791,5 mL de solução através do bombeamento do tanque de processamento e repondo, também por bombeamento, com solução do tanque pulmão. Foram realizadas um total de 7 compensações. Foram coletadas amostras durante 5 horas de processo, nos tempos (30, 60, 90, 120, 150, 210 e 270) min. As análises das amostras de maçã foram realizadas em triplicata e para cada tempo foram retiradas três amostras aleatoriamente, totalizando nove amostras para análise por tempo.

4.8.3.2 Sistema de desidratação osmótica sem compensação (SSC)

Para avaliar o efeito da compensação da solução na cinética de desidratação das maçãs em palitos, foi realizado também, paralelamente, um processo de desidratação osmótica sem compensação, observando-se os mesmos parâmetros do processo anterior, ou seja, o processo de desidratação osmótica sem compensação foi realizado com 2660 g de maçãs, cortadas em palitos e sem sementes. As maçãs foram pesadas e colocadas no tanque contendo 7980 g de solução de sacarose a 59 °Brix caracterizando uma relação fruta:solução de 1:3 (p/p) numa temperatura estimada em 40 °C com agitação de 70 rpm. Na Figura 26 é mostrado o sistema montado para esse fim dotado de um controlador de temperatura (TIC800, FULL GAUGE, BRASIL) e agitador.



Figura 26 – Sistema sem compensação de solução montado para desidratação osmótica de maçã

Para a retirada das amostras, os palitos de maçã foram drenados, enxaguados com água destilada para retirar o excesso de xarope das superfícies, colocados sobre papel absorvente e pesados. Foram coletadas amostras da maçã (três palitos), de aproximadamente 3 g cada palito, e da solução nos tempos (30, 60, 90, 120, 150, 210 e 270) min. As amostras da maçã foram submetidas à análise de sólidos solúveis totais (SST) e de umidade. As análises das amostras de maçã foram realizadas em triplicata e para cada tempo foram retiradas três amostras aleatoriamente, totalizando nove amostras para análise por tempo. Esse processo foi realizado concomitantemente com o processo de desidratação com compensação de solução.

4.8.3.3 Cálculo da eficiência do processo de desidratação osmótica

A perda percentual de água (com base na massa inicial do material) foi definida pela Equação 6:

$$PA(\%) = \frac{(Mo * Uo) - (Mt * Ut)}{Mo} \quad (6)$$

O ganho percentual de sólidos (com base na massa inicial do material) foi definido pela Equação 7:

$$GS(\%) = \frac{(Mt * Bt) - (Mo * Bo)}{Mo} \quad (7)$$

A perda percentual de peso foi definida pela Equação 8:

$$PP(\%) = \frac{Mo - Mt}{Mo} * 100 \quad (8)$$

Essas equações foram utilizadas para quantificar a eficiência dos processos de desidratação osmótica realizados segundo metodologia adotada por Souza Neto *et al.* (2005).

4.8.4 Métodos Analíticos

4.8.4.1 Determinação do teor de sólidos solúveis totais

O teor de SST, expresso em °Brix foi determinado pelo método proposto pela AOAC (1990) nas frutas *in natura* e das frutas desidratadas nos tempos determinados. Uma alíquota da amostra diluída e triturada foi colocada sobre o prisma de um refratômetro portátil (RMM, ATAGO, JAPAN) com escala (0 a 32) °Brix, procedendo-se a correção da temperatura da leitura do índice refratométrico indicado pelo aparelho.

4.8.4.2 Determinação da Umidade

A determinação de umidade das amostras dos palitos de maçã *in natura* e desidratados foi realizada pelo método de secagem em estufa (A-HT, FANEM, BRASIL) a 105 °C por 24 horas, conforme recomendado pela norma do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 1985).

4.8.4.3 Planejamento experimental e análises estatísticas

Para avaliar quantitativamente os desvios do sensor de temperatura em relação ao termômetro padrão, utilizou-se o índice de concordância de Willmott de e o erro absoluto médio, descritos pelas Equações 9 e 10, respectivamente de acordo com Steidle Neto (2007). Segundo o autor (Willmott, 1981) citado por Valiati (2005), o coeficiente “d” foi elaborado a partir do RMSE (a raiz do erro ao quadrado médio) e do MSE (erro quadrado médio), apresentando vantagens como, a não necessidade de testes de significância e algoritmo computacional.

Outra vantagem é que o coeficiente “d” é mais severo que R^2 , com relação a valores extremos, medindo com mais eficiência se os valores estão próximos da reta 1:1 em um gráfico de dispersão entre dados estimados e observados. Ainda, segundo Valiati (2005), o coeficiente “d” é capaz de discriminar melhor a relação entre duas variáveis quando estas possuem diferenças sistemáticas (proporcionais), como diferenças aditivas constante, o que não acontece com o coeficiente de determinação R^2 , que apenas descreve qual a proporção da variância total dos dados observados, que é explicada pelos dados simulados.

$$CW = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (y - x)^2}{\sum_{i=1}^n (|y - x| + |x - \bar{x}|)^2} \right] \quad (9)$$

$$EAM = \frac{\sum_{i=1}^n |y - x|}{n} \quad (10)$$

em que,

x - temperatura medida por meio do termômetro padrão, °C;

\bar{x} - média aritmética das temperaturas obtidas por meio do termômetro padrão, °C;

y - temperatura medida por meio do termistor, °C;

n - número de dados de temperatura do sensor.

Os dados oriundos de 10 compensações, realizadas em 3 repetições, analisados pelo teste F e o teste t de student foram utilizados para avaliar o desempenho do sistema de monitoramento do nível.

Para se avaliar o desempenho dos processos de desidratação osmótica foi utilizado um Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), em esquema fatorial 2x7. Ou seja, foram 2 processos de desidratação osmótica: processo com compensação da solução e sem compensação e foram 7 períodos de desidratação, totalizando 14 tratamentos. O efeito desses tratamentos foi avaliado, em três repetições, sobre as seguintes variáveis dependentes: Perda de Água *PA* (%), Perda de Peso *PP* (%) e Ganho de Sólidos *GS* (%). Os dados foram submetidos à ANOVA e Análise de Regressão utilizando-se o software estatístico SigmaPlot 11.0.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Curva de verificação do sistema de medição da temperatura

As temperaturas indicadas pelo termômetro padrão e os respectivos números digitais fornecidos pelo sistema de medição construído oriundos do procedimento de verificação, bem como as temperaturas indicadas pelo sistema de medição são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Temperaturas do termômetro padrão, NDG e temperaturas fornecidas pelo sistema de medição

Termômetro padrão (°C)	NDG	Sistema de medição (°C)
25,0	40	24,5
26,0	45	25,6
27,0	50	26,8
28,0	56	27,9
29,0	60	29,0
30,0	66	30,1
31,0	71	31,2
32,0	76	32,0
33,0	82	33,3
34,0	87	34,3
35,0	92	35,3
36,0	97	36,4
37,0	102	37,4
38,0	107	38,2
39,0	111	39,3
40,0	116	40,3
41,0	121	41,4
42,0	125	42,2
43,0	130	43,2
44,0	134	44,1
45,0	139	45,1
46,0	143	45,9
47,0	147	46,8
48,0	151	47,6
49,0	155	48,4
50,0	160	49,2

O gráfico com a equação de regressão que relaciona a temperatura do termômetro padrão e o NDG, correspondente ao circuito eletrônico de medição da temperatura, é apresentado na Figura 27 para a faixa de temperatura de (25 a 50)°C. A equação de regressão, obtida a partir da verificação do circuito de medição da temperatura, foi adicionada ao programa computacional mencionado anteriormente no item 4.7.

Observando a Figura 27 verifica-se que a o circuito construído apresenta uma resposta relativamente linear para a faixa de temperatura utilizada para a verificação. Esse fato torna o circuito adequado para o uso no presente projeto.

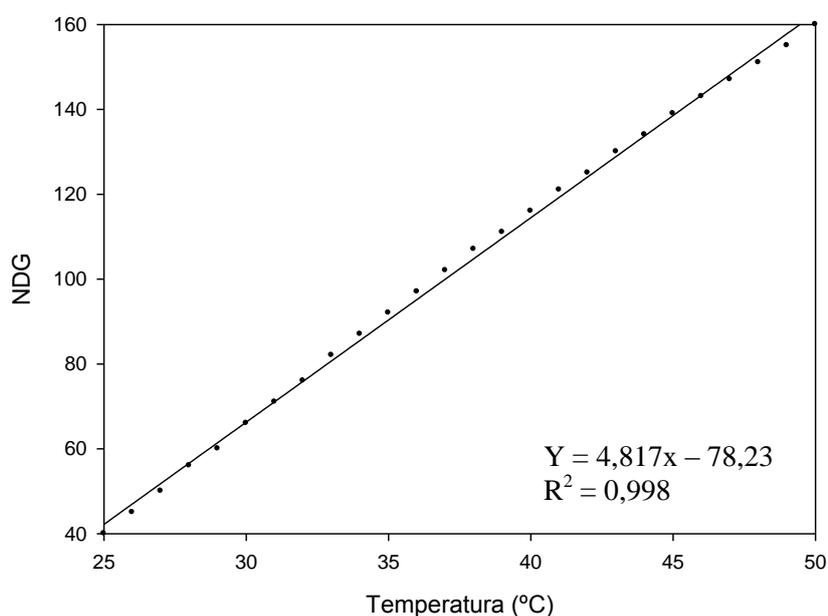


Figura 27 – Curva de verificação do sistema de medição da temperatura

Apesar de apresentar um bom coeficiente de determinação (R^2), a equação obtida pelo processo de verificação é uma equação determinística, ou seja, ela fornece uma relação única entre a temperatura estimada no termômetro padrão e o NDG fornecido pelo sistema de medição construído. Deve-se lembrar que o coeficiente de determinação apenas traz informações sobre a precisão do modelo matemático obtido, porém nada revela sobre a sua exatidão. O coeficiente de determinação mede a proporção da variabilidade total da variável dependente que é explicada pelo modelo adotado. Esse coeficiente, porém, tem algumas limitações, sendo que uma delas é de possuir grande influência devido ao tamanho da amostra, no sentido de que o modelo ajustado com amostras pequenas tende a apresentar alto R^2 . Entretanto, existe o parâmetro incerteza proveniente de erros durante o processo de verificação do próprio sistema de medição ou do termômetro

adotado como padrão que deveria estar adicionado na equação para que a temperatura indicada pelo sistema construído fosse mais correta.

Segundo Martins *et al.*, (2010) em qualquer procedimento de medição de uma grandeza física o resultado será uma estimativa do valor verdadeiro desta grandeza, então uma indicação quantitativa desta estimativa é necessária para avaliar a qualidade do resultado de medição. O conceito metrológico que aborda tal assunto é a incerteza de medição.

A estimativa da incerteza de uma medição é importante para se saber o quão confiável é o resultado de uma medição tendo aplicação na indústria, no comércio e em pesquisas científicas (NERY e KALID, 2009). Dessa forma não se pode afirmar o quão a temperatura indicada pelo sistema de medição construído no presente trabalho é confiável, sendo correto se referir a tal temperatura como uma estimativa apenas aproximada uma vez que não foi realizada a análise de incerteza de medição.

5.2 Validação do circuito eletrônico do sistema de medição da temperatura

Os resultados da validação do circuito eletrônico de temperatura são apresentados graficamente na Figura 28.

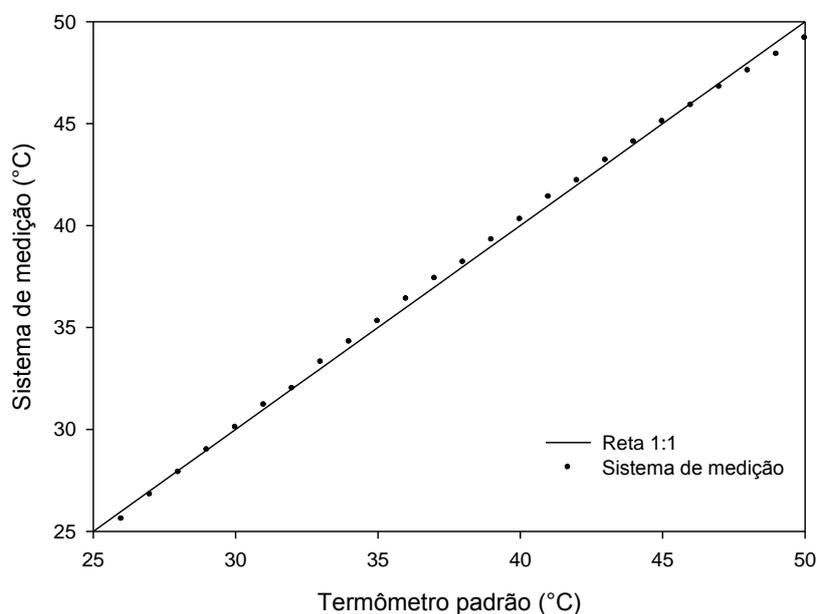


Figura 28 - Relação entre as temperaturas medidas pelo termômetro padrão e os valores obtidos por meio do sistema de medição construído

Embora a verificação e a validação do circuito eletrônico de temperatura tenham sido conduzidas considerando-se a faixa de (25 a 50) °C, o sistema de medição da temperatura foi utilizado em uma faixa de temperatura menor (30 a 45) °C com resolução de 1 °C, para atender as necessidades do presente projeto. No processo de validação foram confrontadas, com o termômetro padrão, temperaturas de (25 a 50)°C.

A Tabela 2 apresenta os valores do EAM e do CW para três processos de medições numa faixa de (25 a 50) °C do sistema de medição de temperatura em relação ao termômetro padrão para três processos de medições sucessivas.

Tabela 2. Erro Absoluto Medio (EAM) e Índice de Concordância de Willmott do sistema de medição da temperatura com base no termômetro padrão

Medição	Parâmetros	
	EAM	CW
A	0,23	0,9982
B	0,21	0,9979
C	0,22	0,9987
Valores medios	0,22	0,9983

Segundo Steidle Neto (2007) quanto menor for o erro absoluto médio (EAM), menor será o desvio do sensor em relação ao padrão. Para a concordância de Willmott (CW), quanto mais próximo for este índice de 1 (um), melhor será a exatidão do sensor de temperatura.

De acordo com a Tabela 2 os valores medios encontrados para o EAM e o CW estão em conformidade com os resultados encontrados por Steidle Neto (2007) que utilizou um termistor como sensor para construir um sistema de medição da temperatura. O CW encontrado demonstra uma ótima exatidão do sistema de medição de temperatura construído, em relação ao termômetro padrão para a faixa analisada (25 a 50)°C, justificando, portanto, a sua validação como um sistema de estimativa da temperatura para o presente trabalho.

5.3 Validação do circuito do sensor de nível

Os resultados das sucessivas compensações realizadas pelo sistema de controle com a bomba alimentada em (12 e 5) Vcc com a finalidade de avaliar e validar o sensor de nível construído são apresentados graficamente nas Figuras 29 e 30.

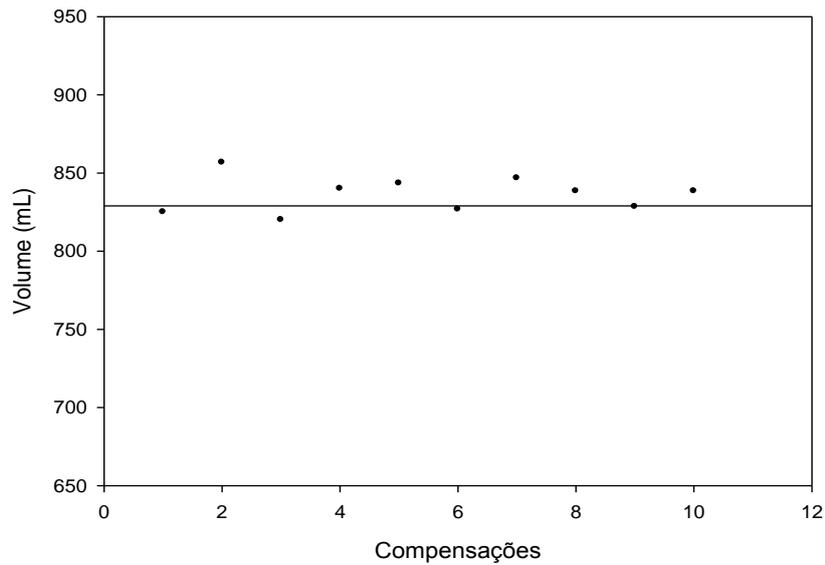


Figura 29 – Erros do sensor de nível com bomba alimentada com 12volts

Os resultados gráficos demonstram que com a bomba de alimentação do tanque de processo conectada em 12 Vcc houve um desvio maior dos valores em relação a media. Esse fato se deu por causa do efeito do não espalhamento do fluído na parede do tanque provocando oscilações no nível e consequentemente interferindo a leitura do sensor. Ou seja, na primeira compensação o sistema retirou do tanque de processo um volume estimado em 825 mL, mas quando o sistema repôs esse volume a alta velocidade do fluído provocou uma onda intensa na superfície do mesmo subestimando a leitura do sensor provocando alteração no volume do tanque em relação ao volume inicial. Esse fato se propagou durante as sucessivas compensações. Além disso, durante as compensações a solução estava sob agitação o que também contribui com a instabilidade do nível.

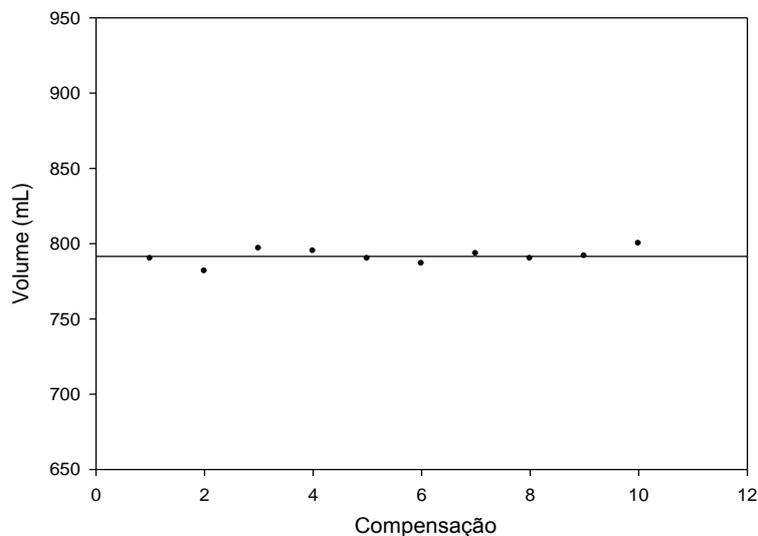


Figura 30 – Erros do sensor de nível com bomba alimentada com 5volts

Analisando a Figura 30 observa-se que com a bomba alimentada com 5Vcc os desvios foram menores em relação a media. A explicação física para esse fato é que em virtude da menor pressão do fluido no momento em que o mesmo atingia tanque, provocada pela menor vazão, ocorria uma menor variação no nível e conseqüentemente uma leitura mais exata do sensor em relação às leituras com a bomba alimentada em 12 Vcc.

Embora a análise dos resultados gráficos tenha demonstrado que com a bomba alimentada em 5 Vcc houve uma menor dispersão dos dados em torno da media, esse resultado não revela todo o cenário da distribuição desse conjunto de dados.

A Tabela 3 apresenta os parâmetros estatísticos utilizados para avaliação do sistema de monitoramento do nível. A análise estatística demonstrou que, pelo teste Shapiro-Wilk, os dados apresentaram uma distribuição normal.

Tabela 3. Parâmetros estatísticos utilizados para avaliação do sistema de monitoramento do nível

Parâmetros	Tensão na bomba	
	5volts	12volts
Volume media (mL)	791,5	836,3
Variância (mL ²)	26,8	127,0
Desvio Padrão (mL)	5,2	11,3

A análise dos dados pelo teste F demonstrou que as variâncias das amostras dos volumes de solução com a bomba alimentada com tensões de (12 e 5) Vcc diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade. Esse fato traduz uma melhor homogeneidade dos dados para os volumes retirados com a bomba alimentada com uma tensão de 5 Vcc, uma vez que tal amostra obteve uma menor variância. Para esse conjunto de dados observa-se também um valor menor do desvio padrão o que torna esse conjunto de dados mais homogêneo em relação à sua media e mais preciso.

Embora o teste F tenha demonstrado que com a bomba alimentada com uma tensão de 5 Vcc obteve-se uma melhor homogeneidade dos volumes retirados em cada compensação e conseqüentemente, um menor desvio padrão experimental e uma melhor precisão, o teste t de student das medias das amostras dos volumes com a bomba alimentada com tensões de (12 e 5) Vcc mostrou que as duas medias diferem estatisticamente de 800 mL (volume medio esperado) ao nível de 5% de probabilidade revelando o fato de que as duas medias não foram tão exatas. Esse resultado aponta para o fato de que o aparato construído para o controle do nível do tanque do protótipo não apresenta um resultado tão exato.

5.4 Sistema de controle da temperatura desenvolvido

O Quadro 1 mostra as especificações do sistema de controle da temperatura, em malha fechada, com ação de controle *on-off*, projetado e montado. Os resultados gráficos deste sistema de controle são apresentados nas Figuras 31 e 32.

Quadro 1 – Especificações do sistema de controle da temperatura

Finalidade do sistema	Controlar a temperatura do tanque de desidratação de sistema osmótico
Variável a ser controlada	Temperatura
Exatidão adequada	$\pm 1^{\circ}\text{C}$
Atuador	Resistência elétrica 1000W (220V)
Ação de controle	Ação de controle <i>on-off</i> em malha fechada

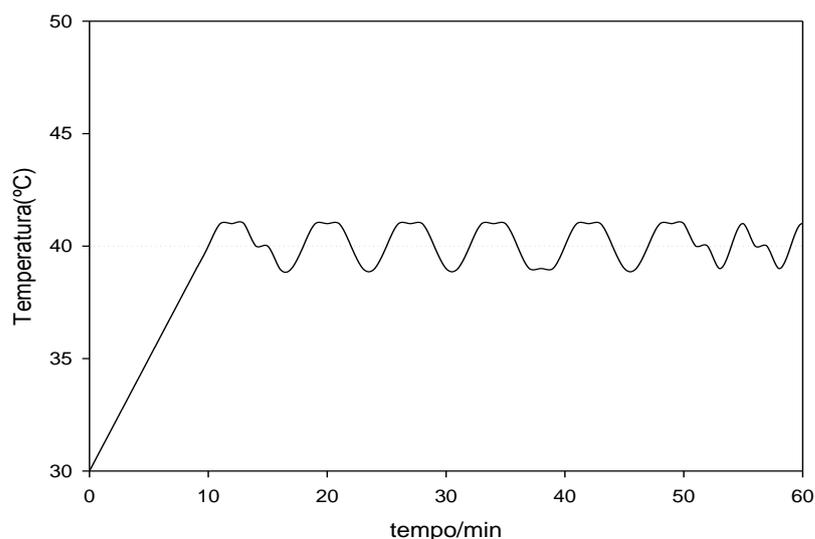


Figura 31 – Controle de temperatura *on-off*

Analisando a Figura 31, observa-se que o sistema de controle construído demonstrou um bom comportamento dentro das condições estabelecidas. No gráfico da Figura 31 podem ser visualizados 60 minutos de controle da temperatura com *set point* fixado em uma temperatura estimada de 40 °C. Observa-se, nos dez primeiros minutos, uma dinâmica de aquecimento razoavelmente lento em virtude do tempo necessário que o sistema gastou para atingir a temperatura de controle e provocar uma variação de temperatura de 10 °C no meio de aquecimento (solução osmótica com 59 °Brix), sendo necessários 5 minutos para que o meio perdesse energia

térmica o suficiente para alterar a temperatura em um número estimado de 2 °C provocando, como era esperado para a ação de controle *on-off*, uma resposta oscilatória (BERTO, 2004).

A Figura 32 mostra os sinais de saída do controlador para a realização do controle da temperatura, onde em “0” o controlador aplica 0% de potencia no processo e em “1” aplica 100% de potencia. Em um sistema de controle de duas posições (*on-off*), o elemento atuante possui apenas duas posições fixas que são, em muitos casos, simplesmente ligado e desligado (do inglês *on-off*) (OGATA, 2003).

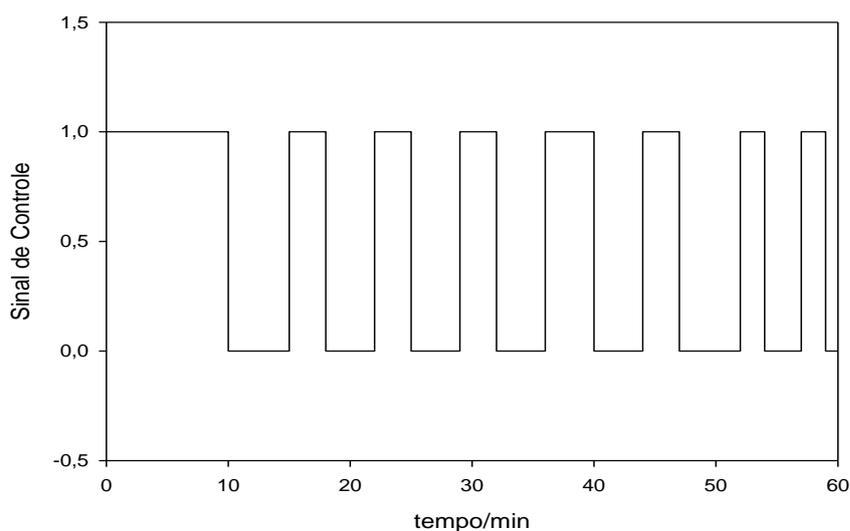


Figura 32 – Sinais de saída do controlador

O sistema de controle desenvolvido operou com histerese de 1 °C, ou seja, quando a resistência era acionada o aquecimento do meio era iniciado até que o valor da estimativa da temperatura fosse levemente maior que o valor do *set point* + 1 (erro < -1). Dessa forma, a resistência era desligada e assim permanecia até que qualquer pequena variação no valor da temperatura provocasse a uma situação que o valor da mesma fosse menor que o valor do *set point* - 1, ou seja, erro > 1. Nesse caso, a resistência era ligada novamente para assegurar o controle da temperatura em torno de um valor nominal de 40 °C. Esse intervalo diferencial foi intencionalmente colocado de modo a prevenir uma operação frequente demais do mecanismo *on-off* (OGATA, 2003), o que acarretaria em um grande desgaste desse mecanismo.

Os requisitos impostos aos sistemas de controle normalmente são designados como especificações de desempenho. Geralmente são relativos à precisão, estabilidade relativa e velocidade de resposta (OGATA, 2003).

A relativa estabilidade apresentada pelo sistema construído, aliado ao baixo custo, justificam a construção e a implementação de um controlador *on-off*. Além disso, no sistema em questão, variações de ± 1 °C em torno do *set point* parece não apresentar uma relação muito

sensível com a transferência de massa no processo de desidratação osmótica. Durante a desidratação osmótica de maçã, Khin *et al.* (2007) verificaram que a razão entre perda de água e ganho de sólidos não variou significativamente entre o processo realizado a temperaturas de (40 a 55) °C, entretanto, para a temperatura de 25 °C a razão de transferência de massa foi bem menor.

5.5 Desempenho dos processos de desidratação osmótica de maçã: PA, GS e PP

Os dados para PA, GS e PP são apresentados nas figuras 33, 34 e 35 respectivamente para os dois processos

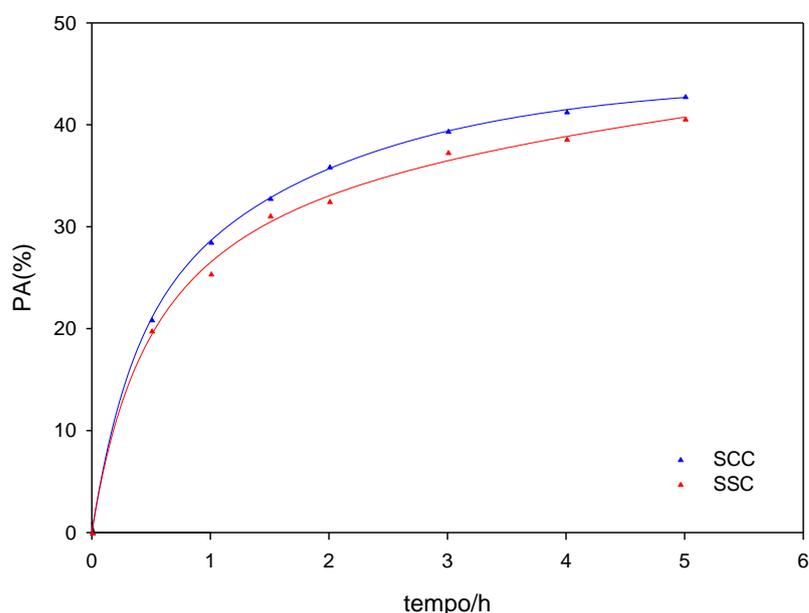


Figura 33 – Perda de água (%) na desidratação osmótica de maçã em SCC e SSC

Analisando o gráfico acima se observa que nos primeiros 30 min de processo houve uma perda de água levemente maior para o sistema com compensação da solução osmótica, 20,9% para o sistema com compensação e 19,6% para o sistema sem compensação. A perda de água ocorreu em maior intensidade até 30 min de processamento. Córdova (2006) obteve a maior taxa de desidratação de maçã, em solução de sacarose a 50%, em 60 min de processo.

Segundo Giangiacomo *et al.*, (1987) a perda de água em frutas ocorre como maior intensidade durante as duas primeiras horas, enquanto Kowalska e Lenart (2001) relataram que em maçã, abóbora e cenoura, as maiores taxas de perda de água e de ganho de sólidos ocorreram durante os primeiros 30 min do processo.

Essa taxa de perda de água é de suma importância para esse processo, uma vez que, um dos objetivos da desidratação osmótica é a pequena incorporação de sólidos e a grande perda de água. Lenart (1996) relata que o tratamento osmótico deve ser realizado por um pequeno período de tempo suficiente para atingir altas taxas de redução de água e baixos ganhos de sólidos, para que as características da fruta possam ser preservadas.

No início da desidratação osmótica são observadas, na Figura 33, as maiores taxas de transferência de massa devido à diferença de pressão osmótica entre a solução e a parede celular do alimento e a pequena resistência da transferência de massa, o que está de acordo com as conclusões apresentadas por (NIETO *et al.*, 2004; BARBOSA-CÁNOVAS e VEGA-MERCADO, 2000).

De acordo com Figura 33, observa-se uma perda de água máxima para o SCC de 42,7% e de 40,6% para o SSC, o que está na ordem de grandeza encontrada por Eler *et al.*, (2009) que encontraram 36% de perda máxima de água em maçãs verdes após 240 min de processamento sob

Os dados apresentados na Figura 34 indicam que inicialmente, no período de 30 minutos, ocorreu uma incorporação de sólidos nas amostras dos dois sistemas de desidratação e, que após esse período ela diminuiu gradativamente no decorrer do tempo.

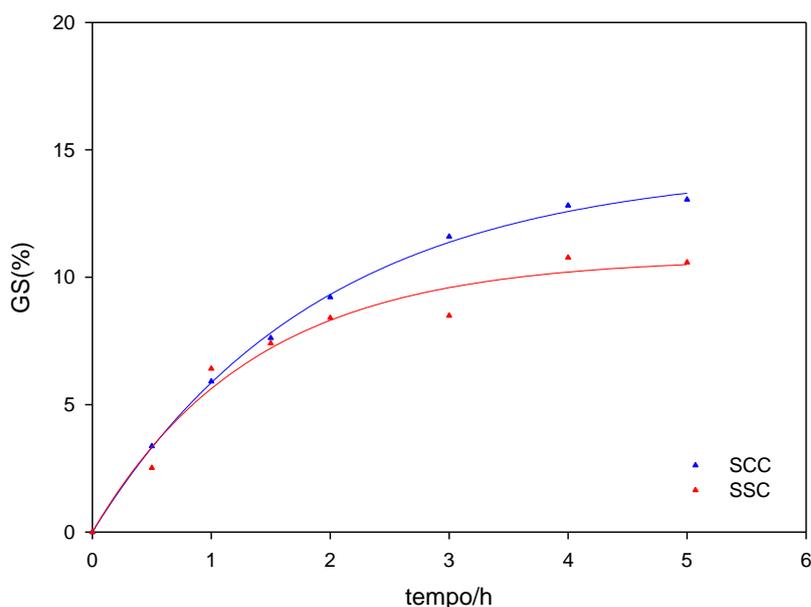


Figura 34 – Ganho de sólidos (%) na desidratação osmótica de maçã em SCC e SSC

No SSC, observa-se que após 180 minutos de processo, o ganho de sólidos tende a ficar constante, ou seja, esse parâmetro tende a entrar em equilíbrio com a solução. Já para o SCC, esse tempo parece ser maior. Córdova (2006) também encontrou um tempo de 30 minutos para a taxa máxima de ganho sólidos e 180 minutos para o equilíbrio do ganho de sólidos na desidratação osmótica de maçã. Esses resultados confirmam os obtidos por Moura (2004) e Kowalska e Lenart

(2001). Esses autores relatam que a maior transferência de massa do sistema ocorre na primeira hora de tratamento osmótico.

Os dados mostrados na Figura 34 indicam que após 4 horas é atingido o equilíbrio no ganho de sólidos para o SSC o que concorda com Souza Neto *et al.*, (2005), que estudando a cinética de desidratação de manga, verificaram que a perda de água e o ganho de sólidos foram maiores na primeira hora da desidratação, tendendo ao equilíbrio no final do período de 5 horas, não sendo observadas alterações significativas dos valores percentuais de perda de água e ganho de sólidos a partir de 4 horas de osmose. Este comportamento está de acordo com o que foi observado por Panagiotou *et al.*, (1999), os quais estudaram a cinética de desidratação osmótica de diversas frutas, tais como maçã, banana e kiwi.

Na Figura 35 são apresentados os dados da perda de peso para os dois sistemas de desidratação de maçã.

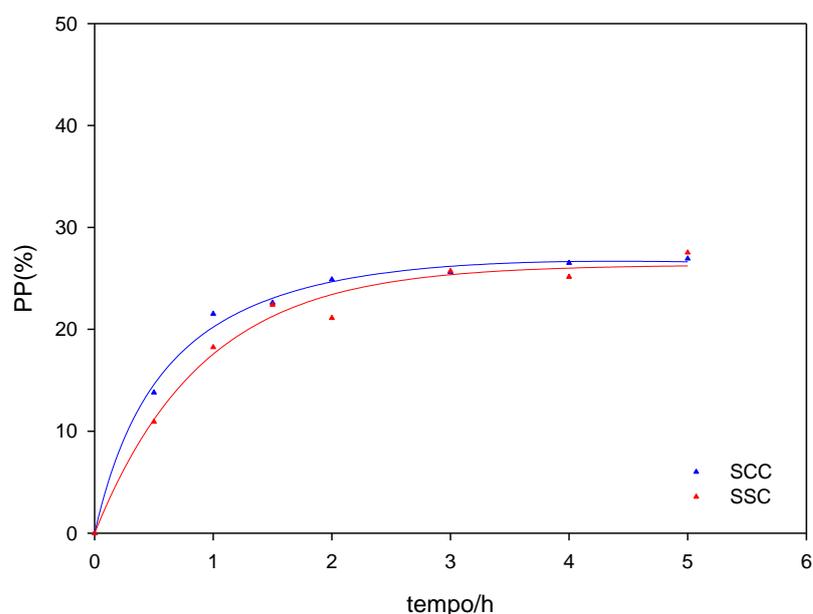


Figura 35 – Perda de peso (%) na desidratação osmótica de maçã em SCC e SSC

Comparando os dados das Figuras 33 e 34, e analisando a Figura 35, observa-se que a predominância da perda de água sobre o ganho de sólidos durante todo o processo osmótico explica a razão do balanço de massa negativo, registrado pela perda de peso.

Segundo Torreggiani (1993), na desidratação osmótica a perda de água é acompanhada por incorporação de sólidos como consequência das trocas difusionais que ocorrem durante o processo, devido aos gradientes de concentração.

Beristain *et al.*, (1990), Lima *et al.*, (2004) e Sousa (2002) trabalhando com a desidratação osmótica de abacaxi, banana e melão, respectivamente, realizaram observações semelhantes. Este

fato ocorreu devido à dificuldade de difusão da sacarose através da parede celular em virtude do seu elevado peso molecular, ao contrário das moléculas de água, que tem sua difusão favorecida.

Nas células vegetais, a parede celular, que contém numerosos interstícios relativamente grandes, não se apresenta como a principal barreira, sendo permeável à água e à pequenos solutos. O plasmalema (membrana plasmática que envolve todo conteúdo da célula, excetuando a parede celular) pode estriar ou dilatar-se sob o aumento de uma pressão gerada no interior das células e, dependendo do soluto, funciona como membrana seletiva. Este tipo de membrana geralmente apresenta permeabilidade diferencial, isto é, permite que solventes a atravessem mais facilmente, mas restringe a passagem de um grande número de solutos (NOBEL, 1991).

Segundo Ponting *et al.* (1966) e Raoult-Wack (1994), a desidratação osmótica é eficiente na redução de (30 a 50)% do peso do material, pelo motivo de que com o passar do tempo há uma diminuição da taxa de osmose. O mesmo resultado pode ser visualizado na Figura 35.

A Figura 36 mostra a aparência dos palitos de maçã tratados no sistema com compensação.

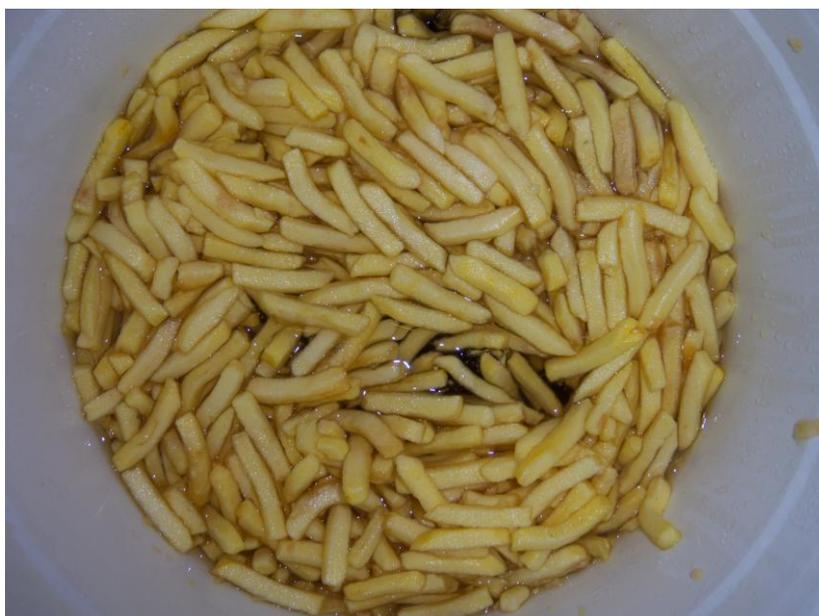


Figura 36 – Aparência dos palitos de maçã tratados osmoticamente no sistema sem compensação

Não foram realizadas análises sensoriais ou instrumentais, mas foi possível observar duas alterações nas características físicas maçãs tratadas pelos dois processos osmóticos. A primeira foi a cor. As maçãs apresentaram mudança de cor após o tratamento com uma coloração mais incorporada. A segunda foi a textura. Após o tratamento as maçãs apresentaram textura macia e pouco elástica em relação à fruta *in natura*. Ressalta-se que tais modificações não foram avaliadas de forma instrumental.

A análise de variância (ANOVA) (APÊNDICE H) demonstrou que não houve interação do tempo com os dois processos, SCC e SSC, para os parâmetros analisados. Esse fato demonstra que

em nenhum dos tempos analisados os resultados dos dois sistemas foram influenciados pelo intervalo de tempo do processo de desidratação osmótica. Isso pode ser constatado pela semelhança das curvas nas Figuras 33, 34 e 35 para a *PA*, *GS* e *PP* respectivamente.

Embora os resultados gráficos tenham demonstrado aparentes diferenças entre os sistemas, a análise de variância revelou que não houve diferenças significativas entre os dois sistemas, *SCC* e *SSC*, ao nível de 95% de confiança ($p < 0,05$) pelo teste F com relação à perda de água e perda de peso para os tempos de (30, 60, 90, 120, 180, 240 e 300) min. Para o ganho de sólidos, a mesma análise demonstrou que ao nível de 5% de probabilidade os processos diferiram estatisticamente. Sendo assim, as frutas processadas no *SCC* apresentaram um ganho maior de sólidos, principalmente a partir de 90 minutos de processamento.

6. CONCLUSÕES

Diante dos resultados deste trabalho pode-se concluir que:

- ✓ Analisando o CW para os dados do sistema de medição construído pode-se afirmar que o mesmo apresentou exatidão adequada em relação ao termômetro de referência sendo adequado para a finalidade para a qual foi construído. Há a necessidade de realizar avaliação da incerteza desse sistema de medição para que se possa indicar com melhor qualidade metrológica a temperatura medida pelo sistema construído. Pode-se, de acordo a necessidade, diminuir a resolução do sistema.
- ✓ O sensor de nível apresentou melhores resultados com a bomba alimentada em uma tensão de 5Vcc. Nessa condição, os valores foram mais precisos embora o valor médio tenha sido estatisticamente diferente do valor especificado para o volume de solução retirado do tanque.
- ✓ O sistema de controle com ação de controle *on-off* construído controlou a temperatura no valor especificado demonstrando ser adequado para tal atividade sendo eficaz na resolução do problema de controlar a temperatura do tanque de desidratação. Como sugestão para trabalhos futuros pode-se implantar outra ação de controle da temperatura no tanque de desidratação de acordo com a necessidade.
- ✓ Os processos de desidratação osmótica com os sistemas com compensação (SCC) e sem compensação (SSC) mostraram que para a desidratação de maçã em palitos, nas especificações utilizadas neste trabalho, a compensação da solução osmótica não influenciou no aumento de perda de água e perda de peso da maçã uma vez que os resultados para os dois processos foram estatisticamente iguais. Isso pode ser atribuído ao fato de que a compensação, nas condições realizadas, não foi suficiente para restabelecer a concentração da solução no tanque de desidratação e proporcionar maiores valores para a perda de água e perda de peso.
- ✓ Há a necessidade de realizar uma avaliação no sentido de verificar se as diferenças gráficas dos dois processos, para a perda de água e perda de peso, podem ser representativas em ambiente industrial e, caso seja, até que ponto essas diferenças são representativas justificando assim a compensação da solução no processo osmótico de frutas.
- ✓ Há a necessidade de realizar vários testes com tempos de compensações diferentes, relação fruta:solução diferente e frutas diferentes para se obter mais resultados e outras conclusões sobre o sistema com compensação. É necessário mais estudos com relação ao processo de compensação da solução osmótica para verificar se esse método é realmente vantajoso ou não.

- ✓ O sistema osmótico construído apresentou um baixo custo e boas condições operacionais. Ao sistema construído, poderá ser acrescentado um sensor de Brix para o monitoramento da concentração da solução em tempo real facilitando o controle do teor de sólidos solúveis na solução ou construir um sistema computacional com modelos matemáticos capazes de predizerem o momento da compensação da solução.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- ✓ Realizar a avaliação da incerteza para se obter um sistema de medição de temperatura confiável;
- ✓ Realizar testes com o sistema osmótico desenvolvido para investigar melhor o processo de desidratação osmótica com compensação da solução,
- ✓ Realizar simulações computacionais do processo de desidratação osmótico visando o melhoramento do efeito das compensações da solução;
- ✓ Acrescentar um sistema de medição da concentração da solução para se obter em tempo real o valor de tal parâmetro no tanque de processamento para otimizar as compensações de solução e facilitar o monitoramento do processo de transferência de massa;
- ✓ Construir um equipamento sanitário que permita o processamento de frutas em escala semi-industrial ou piloto e conseqüentemente facilitar a utilização da desidratação osmótica como uma etapa de pré-processamento

8. REFERÊNCIAS

- ALBERTAZZI, A.; SOUSA, A. R. **Fundamentos de metrologia científica e industrial**. Barueri, SP: Manole, 2008.
- ALVES, D. G. **Obtenção de acerola (*Malpighia puniceifolia* L.) em passa utilizando processos combinados de desidratação osmótica e secagem**. Tese (Doutorado), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.
- ALZAMORA, S.; GERSCHENSON, L.; VIDALES, S. e NIETO, S. **Structural changes in the minimal processing of fruits: some effects of blanching and sugar impregnation**. Report of the meeting between CYTED and UNILEVER Representatives, 1997.
- AOAC - Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis of AOAC International**, Williams, S. (Ed.) 14 Ed. Arlington, 1990. 1141p.
- AZUARA, E.; CORTÊS, R.; GARCIA, H. S.; BERISTAIN, C. I. Kinetic model for osmotic dehydration and its relationship with Fick's second law. **International Journal of Food Science and Technology**, 27, 409-418, 1992.
- BALBINOT, A.; BRUSAMARELLO, V. J. **Instrumentação e fundamentos de medidas**. v.1. Rio de Janeiro: LCT, 2006.
- BARBOSA-CÁNOVAS, G. e VEGA-MERCADO, H. **Deshidratación de alimentos**. Zaragoza: Editorial Acirbia S.A., 2000.
- BARBOSA-CÁNOVAS, G. V., VEGA-MERCADO, H. **Dehydration of foods**. International Thomson Publishing Chapman & Hall, p265-281, 1996.
- BARONI, A. F. **Propriedades mecânicas, termodinâmicas e de estado de tomate submetido à desidratação osmótica e secagem**. Tese (Doutorado), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.
- BERISTAIN, C. I.; AZUARA, E.; CORTÊS, R.; GARCIA, H. S. Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple rings. **Food Science and Technology International**, London, v. 25, n. 5, p. 576-582, 1990.
- BERTO, M. I. **Avaliação experimental do controle da pasteurização contínua de um fluido modelo de suco de laranja**. Tese (Doutorado), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.
- BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP e OIML (2008). **International vocabulary of metrology: Basic and general concepts and associated terms (vim)**. Joint committee for guides in metrology, *Technical report*, Bureau International des Poids et Mesures, JCGM 200:2008.
- BOLIN, H.R., HUKSOLL, C.C., JACKSON, R., NG, K.C Effect of osmotic agents and concentration on fruit quality. **Journal of Food Science**, 48 (5):202-205, 1983.
- BOMAN, B.; SMITH, S.; TULLOS, B. **Control and automation in citrus microirrigation systems**. Agricultural and Biological Engineering Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, CIR 1413. 15 p. 2002.

CALIARI, M.; JÚNIOR, M. S. S.; FERNANDES, T. N.; JÚNIOR, S. G. Desidratação osmótica de batata baroa (*Arracacia xanthorrhiza*). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 34 (1):15-20, 2004.

CANZIAN, Edmur. **Minicurso comunicação serial RS-232**. Disponível em: www.coinfo.cefetpb.edu.br/professor/leonidas/irc/apostilas/comun_serial.pdf Acesso em: 16 fev. 2011.

CHIRALT, A.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N.; MARTÍNEZ-MONZÓ, J.; TALENS, P.; MORAGA, G. Changes in mechanical properties throughout osmotic processes (Cryoprotectant effect). **Journal of Food Engineering**, 49, 129-135, 2001.

CONTRERAS, J. E.; SMYRL, T. G. An evaluation of osmotic concentration of apple rings using corn syrup solids solutions. **Can. Inst. Food Science Technology**, 14 (4): 310- 314, 1981.

CÓRDOVA, K. R. V. Desidratação Osmótica e secagem convectiva de maçã Fuji comercial e industrial. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Paraná – UFPR. Curitiba, 2006. 167p.

DE NEGRI, V.J.; KINCELER, R.; SILVEIRA, J. **Automação e controle experimental em hidráulica e pneumática**. Laboratório de Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos. Universidade Federal de Santa Catarina, 1998.

DORF, R. C.; BISHOP, R. H. **Sistemas de controle modernos**. Tradução de Bernardo Severo da Silva Filho. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos, 2001. 659 p.

ELER, F. M.; SILVA, T. C. da; SOUZA, B. M. de; MANCINI, M. C. **Estudo da desidratação osmótica de fatias de maçã verde em batelada**. VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, Uberlândia, Minas Gerais, 27 a 30 de julho de 2009.

ERTEKIN, F. K.; CAKALOZ, T. Osmotic dehydration of peas: influence of process variables on mass transfer. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.20, p.87-104, 1996.

FERRARI, C. C.; RODRIGUES, L. K.; TONON, R. V.; HUBINGER, M. D. Cinética de transferência de massa de melão desidratado osmoticamente em soluções de sacarose e maltose. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, 25(3): 564-570, 2005.

FORNI, E.; SORMANI, A.; SCALISE, S.; TORREGGIANI, D. The Influence of Sugar Composition on the Color Stability of Osmodehydrofrozen Moisture Apricots. **Food Research International**, 30, 87-94, 1997.

GIANGIACOMO, R., TORREGGIANI, D., ABBO, E. Osmotic dehydration of fruit: Part 1. Sugar and Extracting Syrups. **Journal of Food Processing and Preservation**, 11, 183-195, 1987.

GIRALDO, G.; TALENS, P.; FITO, P.; CHIRALT, A. Influence of sucrose solution concentration on kinetics and yield during osmotic dehydration of mango. **Journal of Food Engineering**, 58 (1): 33-43, 2003.

GUADAGNINI, P.H.; BARLETTE, V.E. Um termômetro eletrônico de leitura direta com termistor. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, 27 (3) 369-375, 2005.

HANSEN, L. D.; HART, R.M. **Thermochinica Acta** 417, 257, 2004.

HAWKES, J.; FLINK, J. Osmotic concentration of papaya: influence of process variables on the quality. **Journal of Food Processing and Preservation**, 2, 265-284, 1978.

HUMPHRIES, J. T.; SHEETS, L. S. **Industrial electronics**. 4. ed. Albany: Delmar Publisher Inc., 1999. 718 p.

IAL – NORMAS ANALITICAS DO INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. São Paulo. O Instituto. V.1. 1985.

INMETRO. Vocabulário Internacional de Metrologia: conceitos fundamentais e gerais e termos associados (VIM 2008). 1ª Edição Brasileira. Rio de Janeiro, 2009. 78 p.

ISLAM, M. N.; FLINK, L. N. Dehydration of potato II – Osmotic concentration and its effect on drying behavior. **Journal of Food Technology**, 17(3):387-403, 1982.

JÚNIOR, F. G. F.; LOPES, J. S. B.; MAITELLI, A. L.; ARAÚJO, F. M. U.; OLIVEIRA, L. A. H. G. **Implementação de controladores PID utilizando lógica Fuzzy e instrumentação industrial**, VII Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, São Luís, MA, 2005.

KHIN, M. M.; ZHOU, W.; PERERA, C. O. A study of the mass transfer in osmotic dehydration of coated potato cubes. **Journal of Food Engineering**, 77, 84–95, 2006.

KHIN, M.M.; ZHOU, W.; PERERA, C.O. Impact of process conditions and coatings on the dehydration efficiency and cellular structure of apple tissue during osmotic dehydration. **Journal of Food Engineering**. 79, 817–827, 2007.

KOWALSKA, H.; LENART, A. Mass exchange during osmotic pretreatment of vegetables. **Journal of Food Engineering**, 49, 137-140, 2001.

LAZARIDES, H.N.; GEKAS, V.; MAVROUDIS, N. Apparent mass diffusivities in fruit and vegetable tissues undergoing osmotic processing. **Journal of Food Engineering**, 31, 315-324, 1997.

LENART, A. Osmo-convective drying of fruits and vegetables: Technology and Application. **Drying Technology**, 14(2) 391-413, 1996.

LIMA, A. S.; FIGUEIREDO, R. W.; MAIA, G. A.; RIBEIRO, J.; SOUZA NETO, M. A.; SOUZA, A. C. Estudo das variáveis de processo sobre a cinética de desidratação osmótica de melão. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, 24(2): 282-286, 2004.

MAROUZÉ, C.; GIROUX, F.; COLLIGNAN, A.; RIVIER, M. Equipment design for osmotic treatments. **Journal of Food Engineering**, 49, 207-221, 2001.

MARTIM, N. S. P. P.; WASZCZYNSKYJ, N.; MASSON, M. L. Cálculo das variáveis na desidratação osmótica de manga cv. Tommy Atkins. **Ciência e Agrotecnologia**, 31(6): 1755-1759, 2007.

MARTINS, M.A.F.; KALID, R.A. **Avaliação da incerteza de medição em sistemas multivariáveis baseada em simulações de Monte Carlo**. VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Campina Grande, PB, 18 a 21 de Agosto 2010.

MAVROUDIS, N. E.; GEKAS, V.; SJÖHOLM, I. Osmotic Dehydration of Apples-Effects of Agitation and Raw Material Characteristics. **Journal of Food Engineering**, 35, 191–209, 1998.

MAYOR, L.; MOREIRA, R.; CHENLO, F.; SERENO, A. M. Kinetics of osmotic dehydration of pumpkin with sodium chloride solutions. **Journal of Food Engineering**, 74 (2): 253-262, 2005.

MELO, G. A. F.; BERNARDES, M. C. **Instrumentação e controle de uma maquete de nível de líquidos com quatro tanques interligados**. Trabalho de Graduação – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Brasília: [s.n.], 2006.

MICHALSKI, L.; ECKERSDORF, K.; KUCHARSKI, J.; MCGHEE, J. **Temperature Measurement**, 2nd edition, John Wiley, England, 2001, p. 103.

MICROCHIP TECHNOLOGY INC. PIC16F628A Data Sheet: Flash-Based, 8-Bit CMOS Microcontrollers with nanoWatt Technology. Chandler, Arizona, 2009. Disponível em: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/40044G.pdf> .Acesso em 16/03/2010.

MICROCHIP TECHNOLOGY INC. PIC12F675 Data Sheet: 8-Pin, Flash-Based 8-Bit CMOS Microcontrollers. Chandler, Arizona, 2010. Disponível em: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41190G.pdf>. Acesso em 22/08/2010.

MOURA, C. P. **Aplicação de redes neuronais para a predição e otimização do processo de secagem de yacon (*Pilymnia sonchifolia*) com pré-tratamento osmótico.** Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Curitiba – PR. 2004. 98p.

NERY, G.; KALID, R. **Estimativa da incerteza pelo método de Monte Carlo: Comparação entre diferentes procedimentos de cálculo.** V Congresso Brasileiro de Metrologia: Metrologia para a competitividade em áreas estratégicas, Salvador, Bahia, 9 a 13 de novembro de 2009.

NIETO, A.B.; SALVATORI, D.M.; CASTRO, M.A.; ALZAMORA, S.M. Structural changes in apple tissue during glucose and sucrose osmotic dehydration: shrinkage, porosity, density microscopic features. **Journal of Food Engineering.** 61, 269-278, 2004.

NISE, N. S. **Control systems engineering.** 2. ed. Singapore: Addison Wesley Longman Inc., 1998. 853 p.

NOBEL, P.; S. **Physicochemical and environmental plant physiology.** San Diego: Academic Press, 1991, 635 p.

NUMAJIRI, D.A. **Desenvolvimento de um sistema de controle de dispositivos via acesso remoto.** Lavras: UFLA, 2003. 86p.

OGATA, K. **Engenharia de Controle Moderno,** 4ª ed. São Paulo: Editora Prentice Hall, 2003.

PANAGIOTOU, N. M.; KARATHANOS, V. T.; MAROULIS, Z. B. Effect of osmotic agent on osmotic dehydration of fruits. **Drying Technology,** 17 (1): 175-189, 1999.

PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R. Drying of pear d' Anjou with and without osmotic dehydration. **Journal of Food Engineering.** 56, 97-103, 2002.

PONTING, J. D., WARRERS, G. G., FORREY, R. R., JACKSON, R., STANLEY, W. L. Osmotic dehydration os fruits. **Food Techonology,** 20, 1365-1368, 1966.

QI, H.; LE MAGUER, M.; SHARMA, S. K. Design and selection of processing conditions of a pilot scale contactor for continuous osmotic dehydration of carrots. **Journal of Food Processing and Engineering,** 21, 75-88, 1998.

QI, H.; SHARMA, S. K.; LE MAGUER, M. Modeling Multicomponent Mass Transfer in Plant Material in Contact with Aqueous Solutions of Sucrose and Sodium Chloride During Osmotic Dehydration. **International Journal of Food Properties,** 2 (1):39-54, 1999.

RAOULT-WACK, A. L.; LAFONT, F.; GUILBERT, S. **Osmotic Dehydration: Study of Mass Transfer in Terms of Engineering Properties.** In Drying'89, ed. A.S. Mujumdar. International Science Publishers, New York, p.487-495, 1992.

RAOULT-WACK, A. L. Recent advances in the osmotic dehydration of foods. **Trends in Food Science & Technology,** v.5, p.255-260, 1994.

RASTOGI, N. K.; RAGHAVARAO, K. S. M. S.; NIRANJAN, K. Mass transfer during osmotic dehydration of banana: fickian diffusion in cylindrical configuration. **Journal of Food Engineering**, 31, 423-432, 1997.

RASTOGI, N.K; ANGERSBACH, A.; KNORR, D. Synergistic effect of High Hydrostatic Pressure Pretreatment and Osmotic Stress on Mass Transfer During Osmotic Dehydration. **Journal of Food Engineering**, 45, 25–31, 2000.

REBELLO JUNIOR, C. J. **Sistema de aquisição de dados agrometeorológicos baseado no microcontrolador “Basic Step”**. Lavras: UFLA, 2004. 53p.

RODRIGUES, A. C. C.; CUNHA, R. L.; HUBINGER, M. D. Rheological properties and colour evaluation of papaya during osmotic dehydration processing. **Journal of Food Engineering**, 59, 129-135, 2003.

SABLANI, S. S.; RAHMAN, M. S. Effect of syrup concentration, temperature and sample geometry on equilibrium distribution coefficients during osmotic dehydration of mango. **Journal of Food Engineering**, 36, 65-71, 2002.

SACHETTI, G.; GIANOTTI, A.; DALLA ROSA, M. Sucrose-salt combined effects on mass transfer kinetics and product acceptability. Study on apple osmotic treatments. **Journal of Food Engineering**, 49, 163-173, 2001.

SANJINEZ ARGANDOÑA E. J.; NISHIYAMA, C.; HUBINGER, M. D. Qualidade final de melão osmoticamente desidratado em soluções de sacarose com adição de ácidos. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, 37 (12): 1803-1810, 2002.

SANJINEZ ARGANDOÑA, E. J. **Goiabas desidratadas osmoticamente e secas: avaliação de um sistema osmótico semicontínuo, da secagem e da qualidade**. Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, 2005.

SATO, A. C. K.; CUNHA, R. L. Avaliação da Cor, Textura e Transferência de Massa durante o Processamento de Goiabas em Calda. **Braz. J. Food Technol.**, 8 (2): 149-156, 2005.

SERENO, A. M.; MOREIRA, R.; MARTINEZ, E. Mass transfer coefficients during osmotic dehydration of apple in single and combined aqueous solutions of sugar and salt. **Journal of Food Engineering**, 47, 43-49, 2001.

SOUSA, P. H. M. **Desidratação osmótica de banana com e sem vácuo com complemento de secagem em estufa de circulação de ar**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Ceará – UFC. Fortaleza, 2002. 90p.

SOUSA, P. H. M. de; FILHO, M. S. M. S.; MAIA, G. A.; FIGUEIREDO, R. W. de; NETO, M. A. S.; CARVALHO, J. M. de. Avaliação das curvas de secagem e da alteração de cor e textura da banana processada por desidratação osmótica seguida de secagem. **Revista Ciência Agronômica**, 34(2): 179–185, 2003.

SOUZA, D. J. de. **Desbravando o PIC**. 2. ed. São Paulo: Érica. 2003. 250 p.

SOUZA, T. S. de. **Desidratação osmótica de frutículos de jaca (*Artocarpus Integrifolia L.*): aplicação de modelos matemáticos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB. Itapetinga, 2007. 65p.

SOUZA NETO, M. A. de; MAIA, G. A.; LIMA, J. R.; FIGUEIREDO, R. W. de; SOUZA FILHO, M. M. de; SILVA, A. S. Desidratação osmótica de manga seguida de secagem convencional: avaliação das variáveis de processos. **Ciência e Agrotecnologia**, 29 (5): 1021-1028, 2005.

SPIAZZI, E.; MASCHERONI, R. Mass transfer model for osmotic dehydration of fruits and vegetables. I. Development of the simulation model. **Journal of Food Engineering**, 34: 387–410. 1997.

STEIDLE NETO, A. J. **Sistema computadorizado para preparo e aplicação de soluções nutritivas com base na estimativa da transpiração do tomateiro cultivado em casa de vegetação**. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa, 2007. 159p.

TELIS, V. R. N.; MURARI, R. C. B. D. L.; YAMASHITA, F. Diffusion coefficients during osmotic dehydration of tomatoes in ternary solutions. **Journal of Food Engineering**, 61 (2): 253-259, 2004.

THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, U. B. **Sensores Industriais: Fundamentos e Aplicações**. 3ª ed. São Paulo: Érica, 2007.

TONON, R. V.; BARONI, A. F.; HUBINGER, M. D. Estudo da desidratação osmótica de tomate em soluções ternárias pela metodologia da superfície de resposta. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, 26(3): 715-723, 2006.

TORREGGIANI, D. Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. **Food Research International**, n.26, p.59-68, 1993.

TORREGGIANI, D.; BERTOLO, G. Osmotic pre-treatments in fruit processing: chemical, physical and structure effects. **Journal of Food Engineering**, 49, 247-253, 2001.

VALDEZ-FRAGOSO, A.; MUJICA-PAZ, H. Reuse of sucrose syrup in pilotscale osmotic dehydration of apple cubes. **Journal of Food Process Engineering**, 25(3): 125-139, 2002.

VALIATI, M. I. **Calibração e Validação do Modelo RadEst3.0 para estimativa da irradiação solar global em função das medidas de temperaturas do ar máxima e mínima**. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista – UNESP. Botucatu, 2005. 63p.

VEGA-MERCADO, H.; GONGORA-NIETO, M.M. e BARBOSA-CANOVAS, G.V. Advances in dehydration of foods. **Journal of Food Engineering**, 49, 271-289, 2001.

WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Phys. Geogra.**, 2, 184-194, 1981.

ZAZUETA, F. S.; SMAJSTRLA, A. G.; CLARK, G. A. **Irrigation system controllers**. Agricultural and Biological Engineering Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, SSAGE22. 8 p. 2002.

APÊNDICE A

A Figura 1A mostra o protótipo montado e em operação.



Figura 1A - Protótipo montado e em operação

APÊNDICE B

As Figuras 1B 2B mostram as fotos do sensor de nível construído.



Figura 1B - Sensor de nível por condutividade

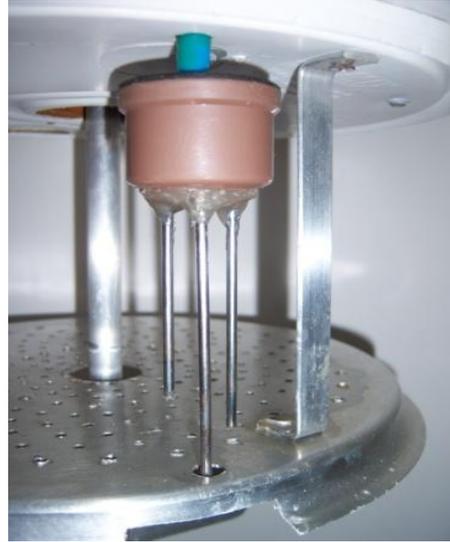


Figura 2B - Sensor de nível instalado

APÊNDICE C

As Figuras 1C e 2C mostram o circuito de medição da temperatura acondicionado em caixa plástica. As Figuras 3C e 4C mostram os circuitos de monitoramento do nível.



Figura 1C – Vista de cima



Figura 2C – Vista em perspectiva

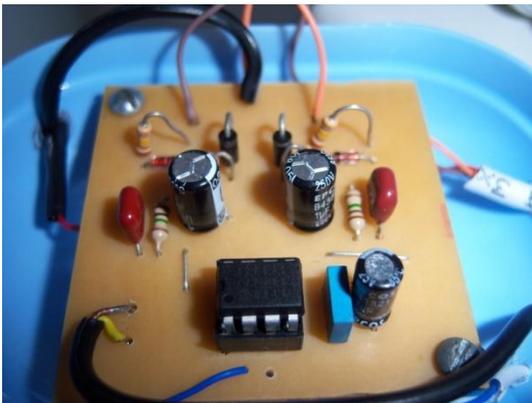


Figura 3C – Aparência do circuito de nível



Figura 4C – Circuito de nível no protótipo

APÊNDICE D

Microcontrolador PIC16F628A

O PIC16F628A é um microcontrolador da Microchip Technology Inc. membro da família PIC16F627A/628A/648A de 18 pinos baseado em memória Flash, versátil, de baixo custo e alta performance. Os Dispositivos PIC16F627A/628A/648A integram recursos para reduzir os componentes externos, reduzindo assim o custo do sistema, aumentando a confiabilidade e reduzindo consumo de energia (MICROCHIP, 2009).

As principais características do PIC16F628A são as seguintes (MICROCHIP, 2009):

- Baixo custo
- Facilidade de programação
- Grande diversidade de periféricos internos
- Memória de programa tipo FLASH
- Excelente velocidade de execução
- 1024 x 14 bits de memória FLASH (2048 x 14) 224 x 8 bits de memória SRAM – memória de dados
- 128 x 8 bits de memória EEPROM interna
- pilha com 8 níveis
- 15 pinos de I/O – entrada ou saída
- 1 timer/contador de 8 bits
- 1 timer/contador de 16 bits
- 1 timer de 8 bits
- 1 canal PWM com captura e amostragem (CCP)
- 1 canal de comunicação USART serial
- 2 comparadores analógicos com referência interna de tensão
- capacidade de corrente de 25 mA por pino de entrada / saída
- 35 instruções
- frequência de operação de até 20 MHz
- oscilador interno de 37 kHz ou 4 MHz
- tensão de operação entre 3.0 a 5.5 volts

A Figura 1D mostra o microcontrolador PIC16F628A.

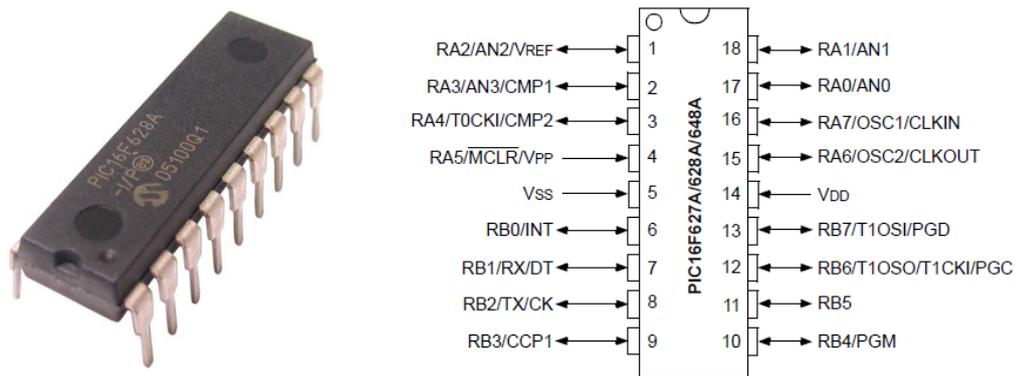


Figura 1D – Microcontrolador PIC16F628A.

(a) Microcontrolador PIC16F628A; (b) diagrama de pinos Microcontrolador PIC16F628A

Microcontrolador PIC12F675

O PIC12F675 é um microcontrolador da Microchip Technology Inc. de 8 pinos. Também é baseado em memória Flash, é versátil, de baixo custo e alta performance. De acordo com MICROCHIP, 2010 as principais características do PIC12F675 são as seguintes:

- Memória de programa tipo FLASH
- Opções de oscilador Interno e externo
- Precisão do oscilador interno de 4MHz calibrado de fábrica em até $\pm 1\%$
- 1024 words de memória FLASH e 64 bytes de memória SRAM
- 128 bytes de memória EEPROM interna
- Módulo conversor A/D (04 canais) com 10 bits de resolução
- 6 pinos I/O com controle de direção individual
- Ampla Faixa de Tensão - 2.0V até 5.5V
- Frequência de operação de até 20 MHz

A Figura 2D mostra o microcontrolador PIC12F675.

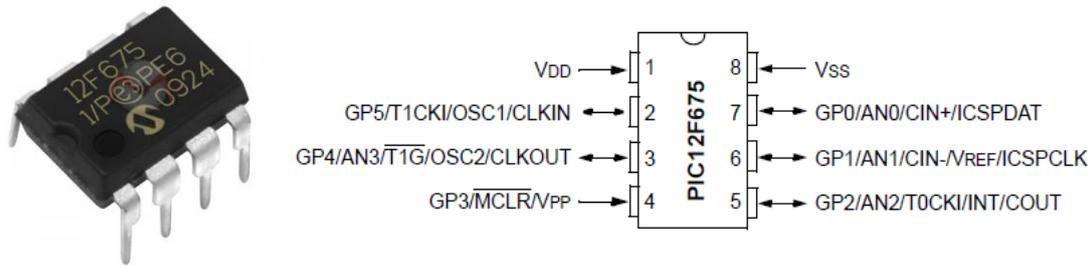


Figura 2D – Microcontrolador PIC12F675

(a) Microcontrolador PIC12F675; (b) diagrama de pinos Microcontrolador PIC12F675

MAX 232

Para utilizar o protocolo RS232 com microcontroladores é necessário um pequeno circuito integrado que é identificado pelo modelo/marca e o código de protocolo. Várias empresas fabricam esse circuito integrado que permite um MCU, que na maioria dos casos utiliza a lógica TTL na representação dos níveis lógicos 0 e 1, interfacear com o padrão RS-232. O que esse CI faz na verdade é converter os níveis de tensão correspondentes à lógica TTL no padrão RS-232 e vice-versa.

O MAX232, da MAXIM, é um circuito integrado que possibilita a conversão entre os níveis de tensões TTL e RS232. Existem diversos circuitos integrados deste fabricante que exercem esta mesma função (tais como: MAX225, MAX237, etc.) e que possuem recursos extras, como controle de habilitação de entradas e saídas, modo de baixo consumo, etc. Mas este integrado em particular é bastante prático e funcional, além de ser um padrão industrial entre os fabricantes. Sua configuração é de 16 pinos e sua tensão de alimentação é de +5 Vcc. A Figura 3D mostra o MAX232.

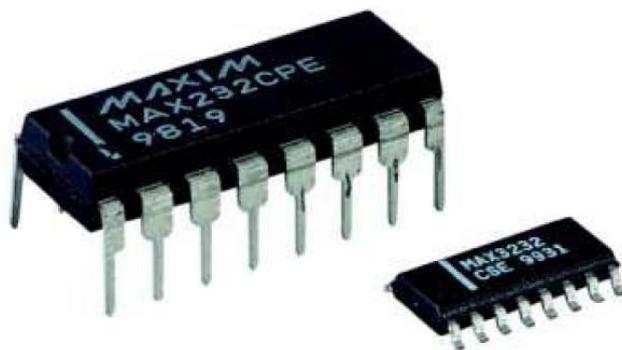


Figura 3D - Multi-Channel RS-232 Driver/Receiver MAX232 da MAXIM

APÊNDICE E

Código desenvolvido na linguagem PIC BASIC PRO para o funcionamento da placa de interface do protótipo com o computador.

```
DEFINE OSC 4
```

```
ENERGY VAR WORD
```

```
RESIS VAR WORD
```

```
BOMB2 VAR WORD
```

```
BOMB1 VAR WORD
```

```
CANAL5 VAR WORD
```

```
AGITA VAR WORD
```

```
NIVEL_MIN VAR WORD
```

```
NIVEL_MAX VAR WORD
```

```
TEMP VAR WORD
```

```
NDIGITAL VAR WORD
```

```
CMCON = 7
```

```
PAUSE 1000
```

```
SOUND PORTA.0, [115,15]
```

```
Loop:
```

```
  SERIN PORTB.2, 4, ["s"], NDIGITAL
```

```
  SERIN PORTB.3, 4, ["n"], NIVEL_MIN, NIVEL_MAX
```

```
  If NDIGITAL < 100 Then
```

```
    SEROUT PORTA.2, 2, ["0", #NDIGITAL, NIVEL_MIN, NIVEL_MAX]
```

```
  Else
```

```
    SEROUT PORTA.2, 2, [#NDIGITAL, NIVEL_MIN, NIVEL_MAX]
```

```
  End If
```

```
  SERIN PORTA.5, 2, ["c"], ENERGY, RESIS, BOMB2, BOMB1, CANAL5, AGITA
```

```
  If ENERGY = "H" Then
```

```
    HIGH PORTB.0
```

```
  Else
```

```
    LOW PORTB.0
```

```
  End If
```

```
  If RESIS = "H" Then
```

```
HIGH PORTB.1
Else
  LOW PORTB.1
End If
If BOMB2 = "H" Then
  HIGH PORTB.5
Else
  LOW PORTB.5
End If
If BOMB1 = "H" Then
  HIGH PORTB.4
Else
  LOW PORTB.4
End If
If CANAL5 = "H" Then
  HIGH PORTB.7
Else
  LOW PORTB.7
End If
If AGITA = "H" Then
  HIGH PORTB.6
Else
  LOW PORTB.6
End If
GOTO Loop
```

APÊNDICE F

Código desenvolvido na linguagem PIC BASIC PRO para o funcionamento da placa do sistema de medição da temperatura.

```
DEFINE OSCCAL_1K    1
DEFINE ADC_BITS    10
DEFINE ADC_CLOCK    3
DEFINE ADC_SAMPLEUS 100
NDIGITAL VAR WORD
TEMPERATURA VAR WORD
TEMP_PROVISORIA VAR WORD
REFE VAR WORD
NIVEL VAR WORD
ADCON0.7 = 1
CMCON = 7

PAUSE 1000
Loop:
  ADCIN 0, NDIGITAL
  PAUSE 100
  If NDIGITAL < 100 Then
    SEROUT GPIO.5, 4, ["s", "0", NDIGITAL]
  Else
    SEROUT GPIO.5, 4, ["s", NDIGITAL]
  End If
GOTO Loop
```

APÊNDICE G

Código desenvolvido na linguagem PIC BASIC PRO para o funcionamento da placa do sistema de medição do nível.

```
DEFINE OSCCAL_1K    1
DEFINE ADC_BITS     10
DEFINE ADC_CLOCK    3
DEFINE ADC_SAMPLEUS 50

NIVEL1 VAR WORD
NIVEL2 VAR WORD
LEVEL1 VAR WORD
LEVEL2 VAR WORD
ADCON0 0.7 = 1
CMCON = 7

PAUSE 1000
Loop:
  ADCIN 0, NIVEL1
  PAUSE 5
  ADCIN 1, NIVEL2
  PAUSE 5
  If (NIVEL1 / 10) > 10 Then
    LEVEL1 = "H"
  Else
    LEVEL1 = "L"
  End If
  If (NIVEL2 / 10) > 10 Then
    LEVEL2 = "H"
  Else
    LEVEL2 = "L"
  End If
  SEROUT GPIO.5, 4, ["n", LEVEL1, LEVEL2] 'ENVIAR P/ O CONTROLE
GOTO Loop
```

APÊNDICE H

Quadros das análises de variância (ANOVA) para o processo de desidratação osmótica nos SCC e SSC.

Quadro da ANOVA para a perda de água (PA)

Fontes de variação	GL	SQ	QM	F
Sistema	1	11.82468	11.82468	0.117
Tempo	6	1956.675	326.1124	3.216
Sistema * Tempo	6	33.94417	5.657362	0.056
Resíduo	26	2636.774	101.4144	-

Quadro da ANOVA para o ganho de sólidos (GS)

Fontes de variação	GL	SQ	QM	F
Sistema	1	34.78482	34.78482	3.494
Tempo	6	276.9547	46.15912	4.636
Sistema * Tempo	6	32.71691	5.452818	0.548
Resíduo	26	258.8771	9.956813	-

Quadro da ANOVA para a perda de peso (PP)

Fontes de variação	GL	SQ	QM	F
Sistema	1	1.904171	1.904171	0.012
Tempo	6	821.5471	136.9245	0.896
Sistema * Tempo	6	84.75389	14.12565	0.092
Resíduo	26	3972.889	152.8034	-