

UTILIZAÇÃO DO ARDUINO NO CONTROLE DE TEMPERATURA DE SECADOR SOLAR PARA O PROCESSAMENTO DE MANTAS DE MANGABA

Vanina Cardoso Viana Andrade – vaninaviana@hotmail.com

Iraí Tadeu Ferreira de Resende– irairesende@yahoo.com.br

Amélia Gaia Nascimento – ameliagaia17@hotmail.com

Júlia Caroline Santos Vieira – juliacvieira@gmail.com

Diego Lopes Coriolano – diegocoriolano@yahoo.com.br

Alan de Jesus Santos - alanjesussantos88@gmail.com

Luam de Oliveira Santos - luam_oliveirasantos@hotmail.com

Renan Tavares Figueiredo - renan_Figueiredo@itp.org.br

Instituto Federal de Sergipe.

Universidade Tiradentes, Programa em Engenharia de Processos.

Resumo. A energia solar, por se tratar de uma fonte de energia alternativa limpa e renovável, tem sido utilizada para o preparo de alimentos com frequência nos últimos anos. O presente trabalho tem como objetivo estudar e avaliar o uso da energia solar para o processamento da manta de mangaba, com o controle de temperatura utilizando instrumentação eletrônica de baixo custo com o uso da placa de Arduino, coolers e sensores de temperatura e umidade. Foi construído um secador solar de irradiação direta para alimentos, com baixo custo e a formulação da manta de mangaba com testes de bandejas, sendo possível visualizar (i) a curva da temperatura interna do secador em função do tempo de secagem (ii) curvas de degradação da polpa e da manta de mangaba utilizando técnicas de análise térmica (TG/DTA); (iii) determinar as espessuras médias finais que variaram entre 0,60 mm e 2,00 mm \pm 0,05 mm; (iv) calcular o rendimento do produto que foi em torno de 55% e (v) observar a curva da perda de umidade que foram em torno de 63 a 70 % ao longo do processo de secagem da manta. Assim, garantimos a utilização de uma fonte de energia gratuita na produção de alimentos naturais, de baixo custo, sem adição de conservantes e corantes, utilizando matéria-prima regional e processada por meio da agricultura orgânica.

Palavras-chave: Energia Solar, Arduino, Manta.

1. INTRODUÇÃO

A utilização da energia solar nos últimos anos tem recebido um extraordinário destaque, por se tratar de uma fonte de energia alternativa limpa e renovável. Isto se deve ao aumento da escassez dos combustíveis fósseis como o carvão, petróleo e gás (El-Sebaei e Shalaby, 2012).

Para a ascensão de pequenos produtores de alimentos, a união da utilização da energia solar com a diversificação dos produtos, para agregar valor da matéria-prima como a manga e a mangaba, promove a igualdade e a inclusão social. O mesmo pode ser inserido em um mercado competitivo, com alimentos produzidos a partir de uma forma sustentável (Maluf, 2004).

A manta, produto comercializado no exterior, conhecido como “fruit leather”, é uma forma de processamento de frutas, que auxilia no aumento da vida de prateleira, pois utiliza a secagem como tecnologia (Demarchia *et al.*, 2013). A secagem é a remoção de água ou de qualquer outro líquido, de um material sólido, pelo método de evaporação, que combina a transferência de calor e massa. Esta secagem pode ser realizada por secadores de energia solar, que utilizam esta forma de energia de forma direta ou indireta (Evenagelista, 2008).

Com a popularização do uso de sistemas micro controlados na sociedade, busca-se cada vez mais fazer com que a troca e o processamento das informações de um sistema sejam eficientes e rápidos. Muitas vezes, é necessário que um sistema seja controlado à distância tanto para que custos com manutenção sejam reduzidos, quanto para se obter respostas instantâneas de problemas ou a qualquer evento ocorrido. Assim, a eficiência térmica dos secadores pode ser estudada a partir de microcontroladores, como por exemplo, o Arduino, que nas últimas décadas está sendo adotado por indústrias para o monitoramento de temperaturas a partir de sensores em ambiente de produção, materiais ou como no caso do presente trabalho monitorar a média da temperatura no secador, podendo assim ter o controle da temperatura (Alves, 2010).

O objetivo do presente trabalho é produzir manta de mangaba em um secador solar com radiação solar direta, realizando o monitoramento e controle da temperatura e umidade com o auxílio de microcontrolador, coolers entre outros componentes eletrônicos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Elaboração e montagem do secador solar

O projeto do modelo do secador com exposição solar direta foi feito através do programa *Solidworks*, como pode ser visualizado na, Fig. 1.

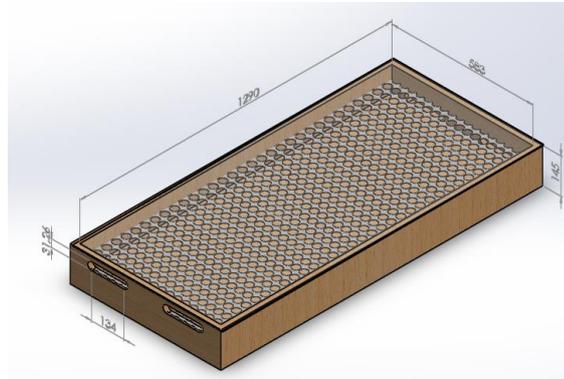


Figura 1 - Modelo do secador com radiação solar direta

Para a montagem do mesmo, foram utilizados materiais de baixo custo como madeira, chapa de zinco, tela tipo moeda de aço inox, lã de rocha e vidro. Tais materiais podem ser visualizados nas, Fig. 2a, e Fig. 2b. A lã de rocha foi utilizada como isolante térmico para reduzir a troca de calor entre o secador e o ambiente externo, Fig. 2b, e vidro.

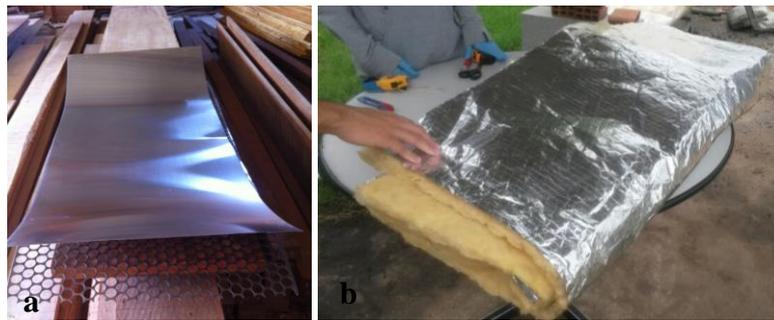


Figura 2 - Materiais para elaboração do secador solar com incidência solar direta (a) madeira, chapa de zinco e tela de moeda de aço inoxidável (b) lã de rocha.

O secador é formado por uma caixa retangular com as dimensões de 58,3 cm de largura, 129 cm de comprimento e 14,5 cm de altura. A lã de rocha foi posta entre a madeira e a chapa de zinco, com a finalidade de servir como isolante térmico, reduzindo a troca de calor entre o secador e o ambiente externo, como demonstra a, Fig. 3a.. Duas aberturas laterais, de alturas diferentes, protegidas por tela de alumínio para evitar contaminação por insetos, foram feitas para que haja a troca de calor dentro do secador por convecção natural e forçada. A chapa de zinco foi pintada de preto fosco para que auxiliasse na absorção do calor solar. Sobre a chapa, foi posta uma tela de aço inoxidável tipo moeda que recebeu uma moldura de madeira para ficar suspensa, Fig. 3b, onde a matéria-prima a ser seca pôde ser exposta diretamente na tela. A parte superior do secador foi coberta com vidro transparente de espessura de 3mm. A última etapa foi impermeabilizar o secador com tinta seladora, Fig. 3c, para que o mesmo não se deteriore com facilidade, em caso do contato com a água da chuva, por exemplo. O secador foi acoplado sobre um suporte de madeira, Fig. 3d.

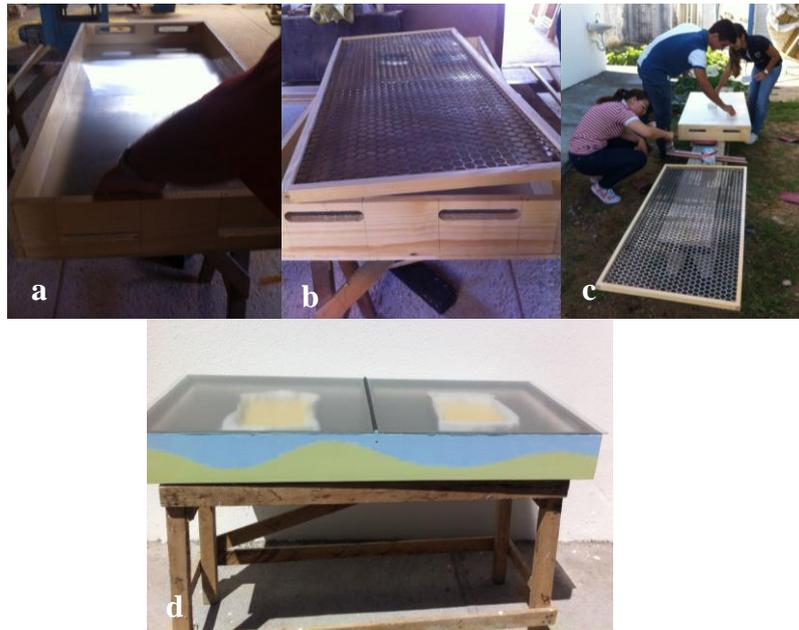


Figura 3 - Etapas da montagem do secador horizontal (a) caixa de madeira com a chapa de alumínio e lã de vidro (b) tela com borda de madeira (c) impermeabilização da madeira (d) secador finalizado.

2.2 Monitoramento da temperatura e umidade interna do secador

O monitoramento da temperatura interna do secador solar com exposição direta foi com auxílio de sensores de temperatura tipo DS18B20, acoplados a plataforma Arduino. Este por sua vez, fazia o processamento e controle da temperatura interna do secador. O envio dos dados foi feito através de um módulo *bluetooth* tipo HC-05, acoplado ao sistema eletrônico, e um *tablet* com aplicativo apropriado para a aquisição/visualização dos mesmos. O sistema eletrônico atuava de forma automática no controle de temperatura interna, através da atuação de seis *coolers*, instalados nas aberturas do secador, dois na entrada, propiciando troca de calor por convecção forçada de ar e quatro na saída, propiciando insuflação do ar, à medida que a temperatura era superior ao estabelecido para assim refrigerar o sistema. As temperaturas utilizadas foram 60 °C e 70 °C com erro de ± 2 °C. Foi utilizado também um sensor de umidade tipo DHT11, que atuava em conjunto com o Arduino, para o monitoramento da umidade interna do secador. As, Fig. 4a e 4b, demonstram respectivamente o sistema eletrônico utilizado para o monitoramento e controle do processo e os materiais instalados no secador.



Figura 4 - Monitoramento da temperatura de secagem (a) arduino montado com os componentes eletrônicos (b) coolers instalados no secador.

2.3 Elaboração das mantas de mangaba

Com o secador de exposição solar direta finalizado, foram iniciados testes para elaboração das mantas, e o processo de preparo da mesma foi montado.

A fruta *in natura* foi selecionada, lavada, Fig. 5a, batida no liquidificador da marca Philips, modelo RI2103/91, durante 1 minuto, Fig. 5b, peneirada em peneira convencional de 1,0 mm e mash número 18, Fig. 5c, e formado o purê.

Após o purê pronto, volumes de 50, 75 e 100 ml foram postos em bandejas de silicone pretas com 8,3 cm de largura por 21,3 cm de comprimento, e seco no secador solar com radiação solar direta. Após secagem, as mantas foram retiradas das bandejas, enroladas, cobertas por filme de PVC transparente e, finalmente, armazenadas em temperatura ambiente.

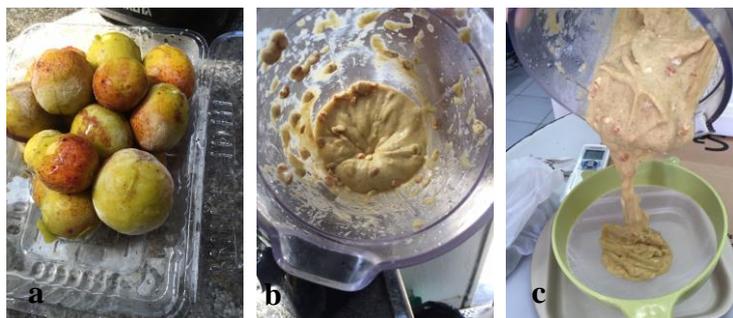


Figura 5 - Etapas de elaboração da manta de mangaba. Fruta in natura (a) fruta batida no liquidificador (b) fruta peneirada (c).

Com secador de exposição solar direta finalizado, foram realizados testes para elaboração das mantas. A temperatura interna do secador foi controlada com o uso de Arduino com os coolers e outros componentes, como também o monitoramento da umidade relativa do ar. Para observar a eficiência da secagem sobre o produto formulado, foram realizadas as análises térmicas, as espessuras médias finais do produto, rendimento e perda de umidade durante a secagem.

2.4 Análise Termogravimétrica TG/DTA

A análise termogravimétrica (TGA) mede a estabilidade térmica de substâncias submetida a uma atmosfera de gás definida, com uma programação específica de temperatura/tempo, e é realizado o registro da variação de massa da amostra. Os resultados experimentais de TG obtidos a partir de configurações específicas dependem de vários parâmetros experimentais como a rampa de aquecimento, massa inicial, atmosfera de gás, natureza da amostra e perda/aumento de massa (Heym *et al.*, 2015).

Os dados de análise térmica diferencial (DTA) foram obtidos simultaneamente com os dados de TGA. As curvas DTA permitem a detecção de picos exo e endotérmicos, que ocorrem na amostra quando submetidos a aquecimento controlado e comparado com um material de referência inerte (Moropoulou *et al.*, 1995).

Nas análises térmicas da manta e da polpa de mangaba foram estudadas as decomposições dos compostos e as estabilidades térmicas utilizando o equipamento da Shimadzu Simultaneous DTA-TG Apparatus. Com aproximadamente 10,0 mg de cada amostra as análises foram realizadas a partir da temperatura ambiente até 1000°C a uma taxa de aquecimento de 10°Cmin⁻¹, com fluxo de N₂ de 50 mLmin⁻¹ utilizando cadinhos de platina.

2.5 Avaliação da espessura da mantas

A espessura foi avaliada com a utilização de um paquímetro universal -150mm 6" leitura 0,05mm marca Vonder, em 5 (cinco) posições aleatórias e foram utilizadas as médias dessas medições para indicar o valor da espessura.

2.6 Fator de Rendimento.

Para calcular o Fator de rendimento do produto, basta dividir o peso líquido (PL) pelo Peso Bruto (PB) do alimento, logo obtém-se a Eq (1):

$$FR = PL/PB \quad (1)$$

PL=Peso líquido, é o peso do produto pronto.

PB=Peso bruto, é o peso da matéria-prima, antes de ser processada.

2.7 Perda de umidade.

Para a realização da medição da perda de umidade do produto ao longo da secagem, foi utilizado o método de perda por dessecação, nesta metodologia pesa de 2 a 10 gramas da mostra e aquece na estufa a 105 °C, até o peso constante. Posteriormente se aplica os valores da Eq. 2 (Instituto Adolfo Lutz, 1985).

$$\text{Umidade, \% (m/m)} = ((P_i - P_f)/P_i) * 100 \quad (2)$$

P_i = Peso inicial da amostra (amostra úmida) em gramas (descontado o peso da cápsula)

P_f = Peso final da amostra (amostra seca) em gramas (descontado o peso da cápsula)

Assim, foi possível alcançar os resultados que serão visualizados e discutidos no próximo item.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Monitoramento e Controle da Temperatura

Com o presente trabalho, foi possível observar que sem o controle de temperatura, a estabilidade do processo era afetada, tendo grandes oscilações na temperatura interna do secador, afetando diretamente a qualidade do produto. Com a inserção do controle eletrônico automático de temperatura, pode-se perceber a estabilidade da temperatura interna do secador. A Fig. 6a, demonstra o resultado do monitoramento da temperatura sem o controle da mesma, onde a temperatura máxima atingida foi de 88,15°C, enquanto as, Fig. 6b e 6c, demonstram os resultados do controle nas temperaturas de 60 °C e 70 °C.

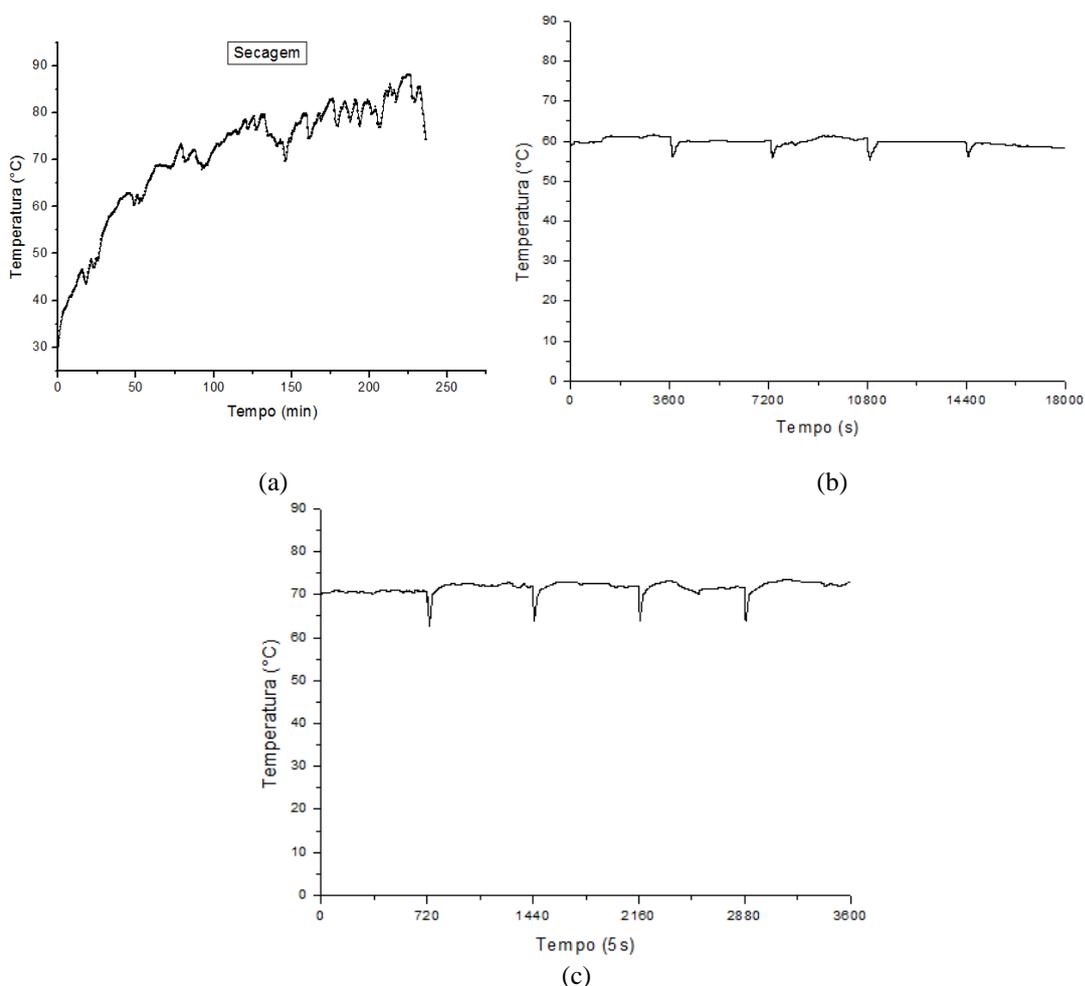


Figura 6- Gráficos das temperaturas internas do secador durante a secagem das mantas sem controle de temperatura (a) com controle na temperatura de 60 °C (b) e com controle de temperatura de 70 °C (c).

As secagens foram realizadas no estado de Sergipe, município de Aracaju cuja latitude é 10° 54' 40" S e longitude 34° 04' 18" W com altitude de 4m. E as condições ambientais foram temperatura máxima 30,1°C, umidade relativa do ar 92%, velocidade do vento 2,9m/s, radiação solar de 2471 kJ/m².

3.2 Testes com as bandejas

Foram realizados testes, para elaboração da manta, utilizando bandejas de forma e material diversificados, dentre elas, bandejas com antiaderente, Fig. 7a, com papel manteiga, Fig. 7b, com a retirada das bordas ao longo da secagem, Fig. 7c, sempre buscando uma maneira para que o purê da fruta ficasse distribuído de forma homogênea, e fosse garantida uma manta única e uniforme.

A manta foi obtida com a utilização de bandejas de silicone pretas, Fig.7d, estas foram postas sobre as bandejas de alumínio, onde foi possível remover todo o produto, Fig. 7e.



Figura 7 - Teste das bandejas. Bandeira com antiaderente (a) bandeja com papel manteiga (b) com a retirada das bordas ao longo da secagem (c) e bandejas de silicone (d) manta de mangaba.

3.3 Análise Termogravimétrica TG/DTA

Foram realizados experimentos utilizando técnicas de análises Termogravimétricas tanto com a polpa da mangaba, imediatamente antes de serem colocadas no secador solar, como também da manta de mangaba pronta. Os resultados obtidos podem ser visualizados nas, Fig. 8 a e b.

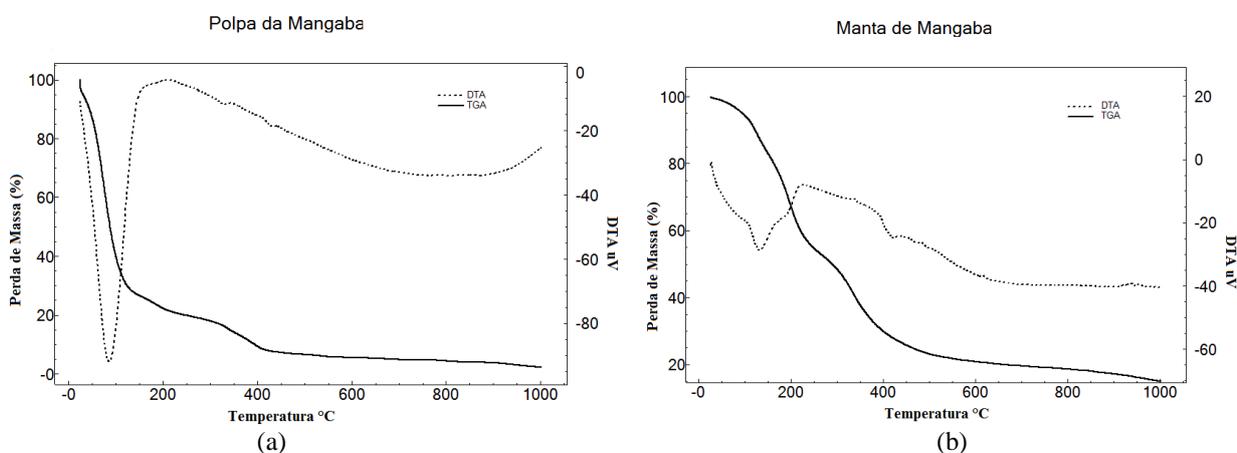


Figura 8 - Resultado da Termogravimetria (TG/DTA) para a polpa de mangaba (a) e manta de mangaba (b)

A decomposição da polpa da mangaba passa por três etapas, como pode ser observado na, Fig. 8a. Na etapa inicial existe perda de água até 230 °C com perda de 79,52%; na segunda fase ocorreu perda de massa de 11,18% na faixa de 230 a 400 °C com a decomposição da hemicelulose e a partir de 400 °C a perda de massa foi de 7,12% relacionada à degradação da celulose. Santos *et al.* (2015), realizaram estudos termogravimétricos da mangaba e a primeira fase de decomposição da água e compostos voláteis, ocorreu desde a temperatura ambiente até 230 °C, a segunda de 230 a 360 °C com perda de hemicelulose e a terceira de 360 a 500 °C com degradação da celulose e triglicerídeos.

Para a manta de mangaba, foi possível verificar que o material apresentou três etapas de perda de massa (Fig. 8b). Na primeira etapa, ocorreu perda de água de 42,15% entre 25 e 230 °C, com menor intensidade em relação à polpa da fruta, por ser um produto que passou pelo processo de secagem. Na segunda etapa ocorreu a decomposição da hemicelulose a uma temperatura entre 230 e 400 °C, com uma perda de massa de 28,00%. A etapa final de degradação apresentou a perda de massa de 14,99% em temperaturas posterior a 400 °C relativas à perda de celulose.

3.4 Espessura e o fator de rendimento do produto obtido.

Foram elaboradas três amostras de manta de mangaba, com 50, 75 e 100mL de polpa, para ser analisadas em relação à espessura final e o rendimento médio de cada manta pode ser visualizado na Tab.1.

Tabela 1: Espessura média e Rendimento da Manta

Quantidade Inicial de Polpa de Mangaba	Espessura média final (mm±0,05mm)	Rendimento da manta (%)
50 mL	0,6 mm	53,5
75 mL	0,9 mm	56,8
100 mL	1,4 mm	62,0

Foi possível observar que à medida que aumenta a quantidade inicial da polpa da mangaba na forma de silicone, a espessura média final aumenta como é esperado. Entretanto, o rendimento da manta foi em torno de 55% para as três quantidades iniciais do produto em análise.

3.5 Determinações da perda de umidade durante a secagem

Foi avaliada a evolução da umidade das mantas de mangaba em função do tempo, elaboradas à temperatura de 60 °C e 70 °C, respectivamente, Fig. 9 a e b, as mesmas foram observadas a cada hora do experimento. Observa-se que a perda de umidade é mais rápida nos experimentos de 50mL iniciais, entretanto pode-se verificar que a mesma a 70 °C obteve uma queda brusca da umidade, finalizando uma hora mais cedo, devido à temperatura mais elevada. As demais amostras tiveram o mesmo comportamento da primeira, entretanto, foram finalizadas com o mesmo tempo de secagem.

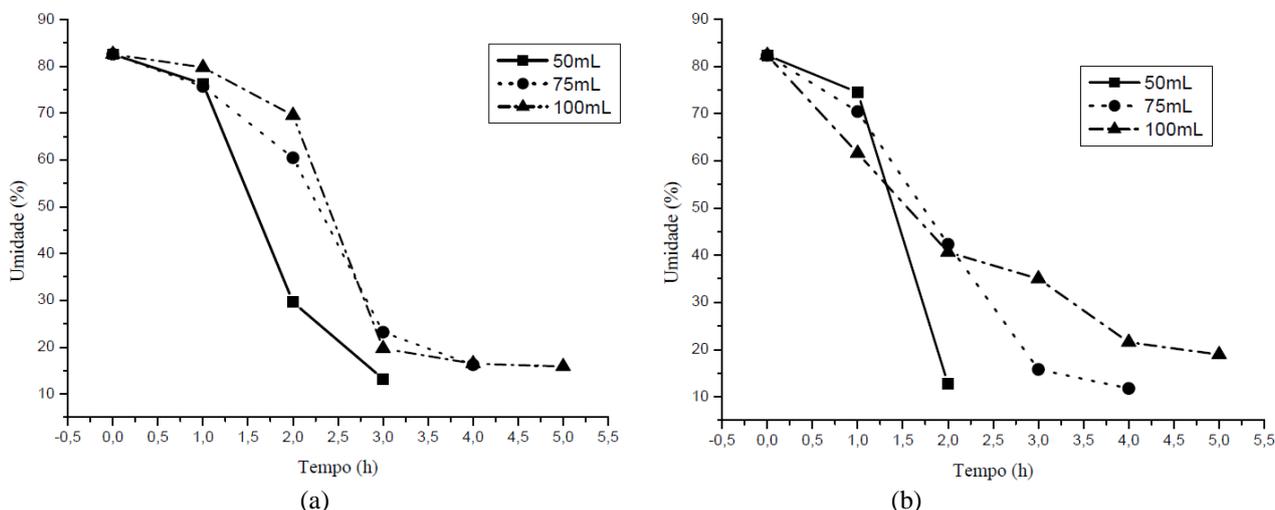


Figura 9 - Perda de umidade das mantas de mangaba com 50mL, 75ml e 100mL iniciais a 60 °C (a) e 70 °C (b).

4. CONCLUSÕES

O uso da energia solar, por ser uma energia limpa e renovável, vem sendo ampliado cada vez mais, como também a busca de novas tecnologias para o seu aproveitamento, tal pesquisa pôde evidenciar a exploração de uma nova fonte de energia para a produção de alimentos, com um produto saudável, de baixo custo e com a utilização de matérias-primas regionais.

O presente trabalho mostrou que foi possível a construção de secadores de frutas solar, de fácil operação e manuseio, independente de fontes de energias convencionais, e com baixo custo de montagem. Percebeu-se também que o mesmo teve comportamento satisfatório em todos os testes, atingindo temperaturas necessárias para a secagem em seu interior. A oscilação indesejada da temperatura interna do controlador foi severamente atenuada com inserção do controle de temperatura automático de baixo custo com a utilização do arduino.

O controle de temperatura é de fundamental importância, pois é a temperatura influencia nas perdas nutricionais e modificações sensoriais que são consequências indesejáveis desse processo.

A partir de vários testes, foi elaborada a manta de mangaba, com teor de umidade abaixo de 20%, sem desperdício do produto e com um bom aspecto, com o auxílio de formas de silicone, obtendo uma secagem solar satisfatória.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer ao meu orientador o Dr. Renan Tavares, às ICs Amélia e Júlia, e o apoio incondicional do doutorando Iraí Resende, a Unit, ao ITP e ao IFS.

REFERÊNCIAS

- Alves, L. J., 2010 “Instrumentação, Controle e Automação de Processos”, 2ª ED, LTC.
- Demarchia, S. M.; Ruiza, N. A. Q.; Concellóna, A.; Ginera, S. A., 2013. Effect of temperature on hot-air drying rate and on retention of antioxidant capacity in apple leathers, *Food and Bioproducts Processing*, vol. 91, n. 4, pp. 310–318.
- El-Sebaii, A. A.; Shalaby, S. M., 2012. Solar drying of agricultural products: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, pp. 37–43.
- Evangelista, J., 2008. *Tecnologia de Alimentos*. São Paulo. 2º ed. Editora Atheneu.
- Heym F., Korh W., Etzold B.J.M., Kern C., Jess A., 2015. Determination of vapor pressure and thermal decomposition using thermogravimetric analysis, *Thermochimica Acta*, Article Impress.

- Instituto Adolfo Lutz, 1985 Métodos químicos e físicos para análise de alimentos. Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz, 3^a.ed., vol.1, São Paulo.
- Maluf, R. S., 2004. Mercados agroalimentares e a agricultura familiar no Brasil: agregação de valor, cadeias integradas e circuitos regionais, Ensaios FEE, vol. 25, n. 1, pp. 299-322.
- Moropoulou A., Bakolas A., Bisbikou K., 1995. Thermal analysis as a method of characterizing ancient ceramic Technologies, Thermochimica Acta, 2570, p. 743-753.
- Santos, R. M.; Santos, A. O.; Sussuchi, E. M.; Nascimento, J. S.; Lima, A. S.; Freitas, L. S., 2015. Pyrolysis of mangaba seed: Production and characterization of bio-oil, Bioresource Technology, vol. 196, pp. 43–48.

ARDUINO USE IN TEMPERATURE CONTROL OF SOLAR DRYER ON PROCESSING OF MANGABA LEATHERS

Abstract. *Solar energy, being an alternative clean and renewable energy source, has been used for the preparation of food frequently in recent years. This work aims to study and evaluate the use of solar energy for processing mangaba fruit leather, with temperature control using low-cost electronic instrumentation with Arduino board, coolers and temperature and humidity sensors. A direct irradiation solar dryer was built to, with low cost and formulation of mangaba fruit leather with trays of tests, being possible to visualize (i) the curve of the temperature inside the dryer versus the drying time (ii) curves degradation of the pulp and mangaba fruit leather using thermal analysis techniques (TG / DTA); (iii) to determine the average final thickness varied between 0.60 mm and 2.00 ± 0.05 mm; (iv) calculate the yield of the product that was around 55% and (v) to observe the curve of moisture loss being around 63-70% over the fruit leather drying process. Thus, we guarantee the use of a free energy source in the production of natural foods, of low cost, without the addition of preservatives and dyes, using regional raw material and processed through organic agriculture.*

Key words: *Solar Energy, Arduino, Leather.*