



IV Encontro Nacional da Agroindústria

27 a 30 de Novembro de 2018

Área de Publicação: FÍSICO-QUÍMICA DE ALIMENTOS

DESENVOLVIMENTO DE SECADOR SOLAR PARA FRUTAS E HORTALIÇAS

Graciele de Souza Aragão^{1*}, José Antônio Oliveira¹, Aline Santos Sousa¹, Maycon Fagundes Teixeira Reis¹, Angelise Durigon², Danilo Santos Souza¹

¹Núcleo de Graduação em Agroindústria – NEAGROS – Universidade Federal de Sergipe – UFS – Campus Sertão.

² Núcleo de Graduação em Educação em Ciências Agrárias e da Terra– NEAGROS – Universidade Federal de Sergipe – UFS – Campus Sertão.

*gracielesousa400@gmail.com

RESUMO: O clima semiárido, com elevada taxa de incidência solar, proporciona condições favoráveis à conservação de alimentos, principalmente de vegetais através da secagem. Este trabalho tem como objetivo desenvolver um secador solar, aproveitando a energia renovável, usado para desidratação de diferentes frutas e hortaliças. Para tanto, foram usados materiais econômicos e de fácil acesso. Os vegetais utilizados foram: banana, fruta-pão, maçã e batata, adquiridos da região semiárida. Para avaliar os parâmetros do processo, foram avaliadas as temperaturas e umidade relativa, que afetam na taxa de secagem. Foram realizadas análises físico-químicas de pH, acidez total titulável, sólidos solúveis totais e cor. Modelos matemáticos (Page e Brooker) foram utilizados para descrever a cinética de secagem. As polpas de fruta-pão, banana, maçã e batata apresentaram valores médios aproximados de 5,47, 4,67, 3,92, 6,32 °Brix, respectivamente. No seu estado desidratado, na mesma sequência, as polpas apresentaram valores médios de, aproximadamente, 0,73% 5,96, 0,07%, 5,26, 0,73%, 4,23, 0,41%, 5,26 para acidez titulável e pH, respectivamente. A temperatura interna foi superior à externa ambiente nos diferentes dias, tendo em média pico de 52°C e a ambiente de 45°C. A secagem e ajuste dos modelos foram significativos. A viabilidade térmica e econômica do sistema alternativo se mostraram eficientes.

PALAVRAS-CHAVE: baixo custo; cinética de secagem; desidratação; energia solar;

INTRODUÇÃO

O Brasil é um grande produtor de produtos de origem vegetal. De acordo com o Ministério da Agricultura, é o terceiro maior produtor mundial de frutas, participando com 12,35% da produção total em 2005. A maior parte da produção destina-se ao mercado interno e uma pequena parcela é vendida em mercados exteriores (GUIMARÃES, 2015). Atualmente, o país participa com cerca de 2% das exportações mundiais de frutas. Cerca de 53% da produção brasileira é destinada ao mercado de frutas processadas e 47% ao mercado de frutas frescas (FOOD INGREDIENTS BRASIL).

Na maioria dos países tropicais em desenvolvimento, a abundância natural de frutas tropicais frescas leva frequentemente a um excedente com respeito à demanda local. As frutas e hortaliças são classificadas como perecíveis devido ao seu alto teor de água (acima de 80 %), e estima-se que, entre a colheita e a chegada à mesa do consumidor, ocorram perdas quantitativas ou qualitativas em ordem de 50% para alguns produtos. (SILVEIRA, 2016). Apenas uma quantidade limitada de produtos destes frutos produzida é comercializada. Este fato evidencia a urgente necessidade de processos simples e baratos, que possam oferecer caminhos para conservar estes alimentos extremamente perecíveis (ALMEIDA et al., 2016).

IV Encontro Nacional da Agroindústria



IV Encontro Nacional da Agroindústria

27 a 30 de Novembro de 2018

A energia utilização da energia solar para a secagem de grãos, frutas e outros produtos alimentícios apresenta-se como uma excelente alternativa para regiões de clima semiárido, como o Nordeste.

A secagem convectiva é um processo físico que consiste na remoção de água livre por evaporação (BENEDETTI, 2010). É um dos métodos mais antigos de conservação de alimentos e surgiu ainda quando os povos eram nômades, quando perceberam que as sementes das plantas, com que se alimentavam, se conservavam por um período de tempo maior quando expostas ao sol (CORNEJO, 2003).

Este trabalho tem como objetivo desenvolver um secador solar, aproveitando a energia renovável, usado para desidratação de diferentes frutas e hortaliças, avaliar a cinética de secagem, bem como, aspectos físico-químicos dos vegetais.

MATERIAL E MÉTODOS

O planejamento do projeto para construção do secador solar foi baseado no modelo proposto por Scanlin (2014) com algumas alterações. Foram utilizados materiais mais econômicos e de fácil acesso, como madeira, chapa de aço, tela de nylon, tela de zinco, e “tampa de vidro”. O projeto desenvolvido para o secador solar foi elaborado no *Software* específico para modelagem de construções (Sketchup®). A pesquisa foi conduzida nas instalações do Laboratório de Bromatologia da UFS (Campus do Sertão). As frutas e hortaliça, sendo elas, maçã, fruta-pão, banana e para pesquisa foram adquiridas da região semiárida.

Os vegetais foram visualmente selecionados avaliando sua integridade física. Após seleção, foi feito o descascamento, preparo (corte em fatias) com facas de aço inoxidável e pesagem das mesmas, e assim, uma parcela destinou-se a cinética de secagem, a outra foi direcionada para realização de análises de cor.

Inicialmente, para realização de análise de cor deixou-se as fatias das polpas dos materiais imersas em béquer com 25 ml de solução ácida, por aproximadamente 10 minutos com ácido ascórbico e cítrico, em concentrações de 0,5%, 1,0% e 1,5%. Cada fruta e a hortaliça foram submetidas aos dois ácidos separadamente. E posteriormente, o material foi colocado diretamente nas bandejas do secador, previamente higienizadas.

A matéria-prima submetida ao processo de desidratação por meio da secagem em secador solar, onde permaneceu exposto ao sol durante todo o período do dia para melhor aproveitamento da energia solar com monitoramento da perda de peso da amostra em intervalos de 30 min.

A caracterização físico-química (pH, acidez total titulável, umidade, calorimetria e sólidos solúveis totais) foi realizada de acordo com as normas recomendadas pelo Instituto Adolfo Lutz (2008). Os dados de cor obtidos foram tratados no programa Photoshop CS6 portable. O programa Statistica® foi utilizado para determinar a ANOVA e teste de Tukey ($p < 0,05$) para comparação entre as médias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na figura 1 está apresentado o comportamento das temperaturas internas e externa do secador solar durante três diferentes dias.



IV Encontro Nacional da Agroindústria 27 a 30 de Novembro de 2018

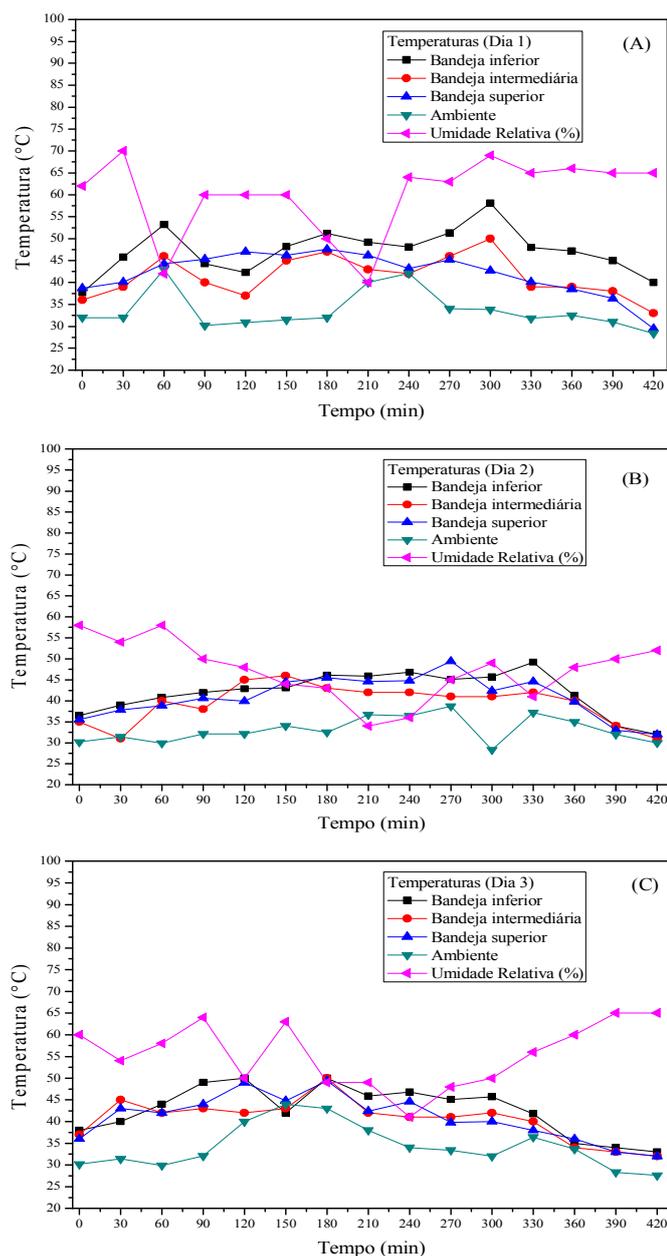


Figura 1. Comportamento das temperaturas interna e externa do secador solar durante três dias diferentes. A) Dia 1; B) Dia 2; C) Dia 3.

Pôde-se observar que, nas mesmas condições estudadas, houveram notáveis variações ao longo do tempo e entre os dias. No dia 1 (A), a temperatura interna do secador inicialmente não foi muito diferente, levando-se em consideração as três posições das bandejas, também, não foi similar à do ambiente, estando em torno de 35 à 38°C. Nos primeiros 60 minutos de exposição, a temperatura interna das bandejas intermediária e superior ficaram similares a do ambiente, pois aumentaram significativamente, enquanto a umidade relativa decaiu. Enquanto isso, a temperatura na bandeja inferior apresentou-se mais elevada em relação as demais, atingindo seu pico por volta das 13:00 horas, e enquanto isso, a temperatura ambiente e umidade relativa continuam oscilando.



IV Encontro Nacional da Agroindústria 27 a 30 de Novembro de 2018

Na Figura 2 está apresentado o comportamento das médias das temperaturas internas do secador solar para os diferentes dias.

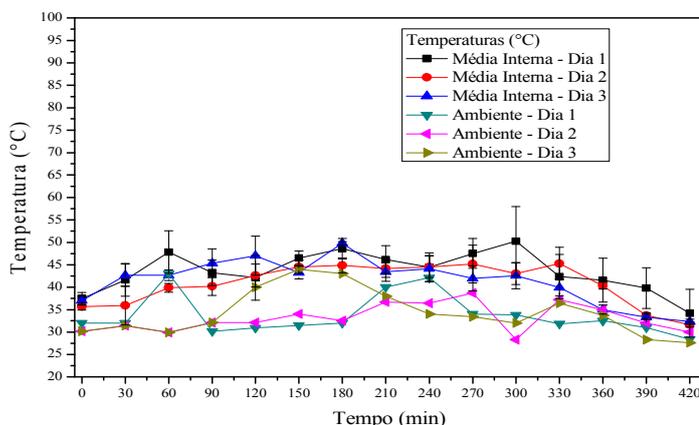
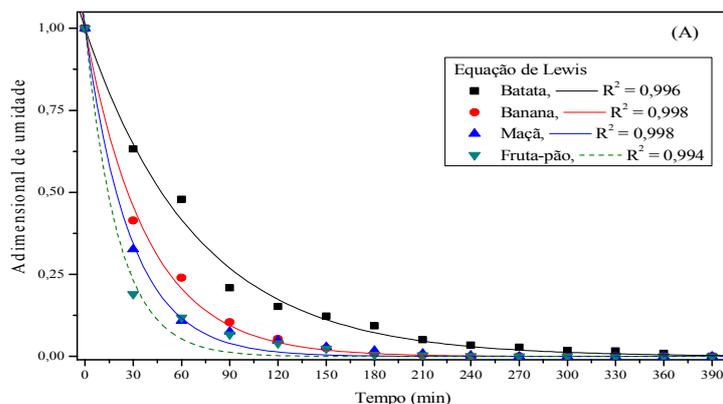


Figura 2. Comportamento das médias das temperaturas internas do secador solar para os diferentes dias.

No dia 2 (B), em geral, a temperatura interna nas três posições das bandejas não sofreu grandes variações ao longo do dia, embora tenha permanecido sempre maior que a do ambiente, exceto para a bandeja intermediária nos primeiros minutos, pois esta ficou similarmente a temperatura ambiente. A umidade relativa teve seu pico em média de 65% no início do experimento e em seguida decaiu e seguiu oscilando em grandes alterações durante o período estudado.

No dia 3 (C), a temperatura nas diferentes posições das bandejas no período inicial foram similares, em torno de 36°C, em seguida seu comportamento apresentou variações, onde a temperatura intermediária decaiu e as demais internas aumentaram, sendo que a temperatura superior permaneceu mais baixa comparada a interna inferior, pois esta atinge seu pico em média de 43°C em 02:00 horas de experimento. Enquanto isso, a temperatura ambiente e umidade relativa expressou oscilações de momentos de aumento e queda ao longo do dia, ambas se estabilizando no final do período estudado.

Na Figura 3 abaixo estão expressos os valores experimentais de adimensional de umidade em função do tempo, ajustados aos modelos de Lewis, Page e Brooker.





IV Encontro Nacional da Agroindústria 27 a 30 de Novembro de 2018

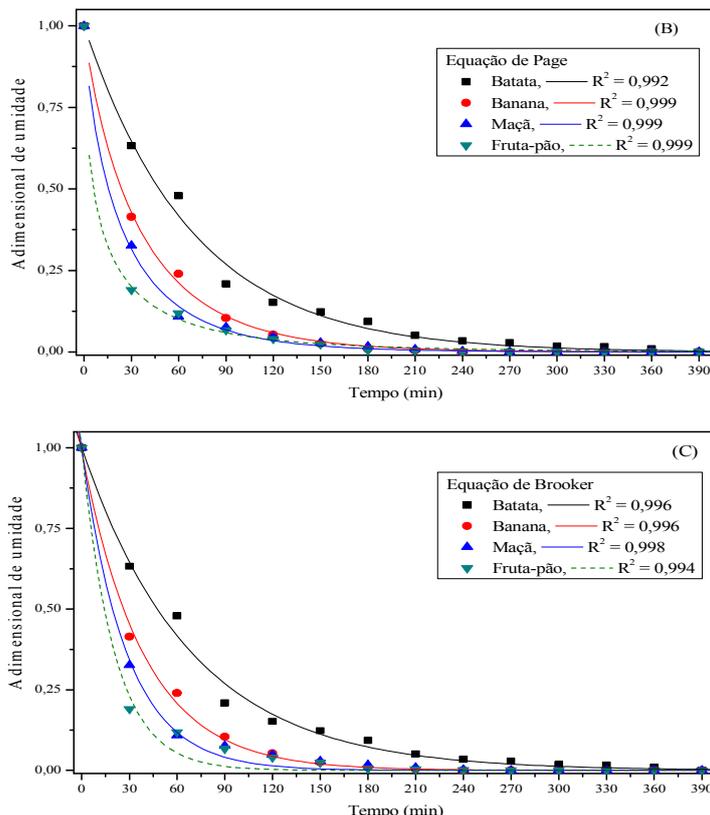


Figura 3. Valores experimentais de Adimensional de umidade em função do Tempo para os diferentes vegetais ajustados aos modelos de Lewis, Page e Brooker.

Os resultados obtidos mostraram um comportamento cinético relatados pelas curvas para a secagem no sistema solar sob convecção natural, visto também por Veras (2010). Por meio desses modelos semi-empíricos e empíricos foi possível descrever o comportamento típico da cinética de secagem em que as curvas para os vegetais estudados possuem os períodos de taxa constante e decrescente, quando a umidade diminui em função do tempo (PARK et al., 2007).

Para Veras (2010) a curva de cinética não sofre influência significativa pela velocidade. Porém, a temperatura é a variável que apresenta um efeito mais pronunciado no processo de secagem na maioria dos vegetais para a determinação da taxa de secagem solar convectiva.

Todos os modelos estudados apresentaram coeficientes de correlação superiores a 99,2%, podendo ser utilizados na estimativa da cinética de secagem das polpas dos vegetais abordados. Dentre os modelos, o de Page foi o que apresentou melhores coeficientes de correlação para o comportamento cinético dos vegetais nas diferentes condições de processo estudadas, exceto para batata.

De acordo com a Tabela 1, o parâmetro K que representa a constante de secagem, gerado pelas equações de Page foram maiores, e de valores iguais, exceto para batata. A equação de Page também foi vista como mais apropriada no estudo de Souza (2012).



IV Encontro Nacional da Agroindústria 27 a 30 de Novembro de 2018

Tabela 1. Parâmetros das equações de Lewis, Page e Brooker e coeficientes de determinação para os diferentes vegetais.

Amostras	Lewis		Page			Brooker		
	K x 10 ⁻² (min ⁻¹)	R ²	K x 10 ⁻² (min ⁻ⁿ)	N	R ²	K x 10 ⁻² (min ⁻¹)	a	R ²
Batata	1,46±0,00	0,996	1,44±0,03	1,00±0,60	0,992	1,46±0,00	1,00±0,02	0,996
Banana	2,62±0,00	0,998	4,42±0,05	0,87±0,03	0,999	2,60±0,00	0,99±0,01	0,996
Maçã	3,58±0,01	0,998	8,39±0,13	0,77±0,04	0,999	3,57±0,01	0,99±0,01	0,998
Fruta-pão	4,89±0,03	0,994	27,88±3,29	0,51±0,29	0,999	4,87±0,03	0,99±0,03	0,994

Os resultados obtidos para análise físico-química dos vegetais desidratados em secador solar estão demonstrados na Tabela abaixo.

Tabela 2. Mostra os valores médios e desvio padrões das características físico-químicas para os vegetais abordados, *in natura* e desidratadas no secador solar.

Matérias-primas	<i>In natura</i>			Desidratada	
	pH	Acidez (%)	SST (°Brix)	pH	Acidez (%)
Banana	4,67±0,05	1,1±0,039	8,96±2,60	5,26±0	0,07±0,0061
Batata	6,32±0,03	0,76±0,0076	6,32±2,51	6,14±0,11	0,41±0,0021
Fruta-pão	5,47±0,05	0,90±0,0016	5,47±0,2	5,96±0,10	0,73±0,0022
Maçã	3,92±0,05	1,1±0,039	10±0,91	4,23±0,00	0,73±0,0061

A acidez total titulável das polpas *in natura* da fruta-pão, maçã, banana e batata alcançaram em média de 0,90, 1,1, 1,1 e 0,76%, respectivamente, não apresentaram muito diferentes quando desidratadas. Os valores médios de pH dos vegetais sofreram um aumento quando desidratados. O da banana está acima do valor encontrado por Souza et al. (2013), o da batata também, encontrado por Araújo (2015), para fruta-pão também, encontrado por Souza et al. (2012), maçã também o valor encontrado por Mariano et al. (2011). O SST da batata, encontra-se abaixo do que o valor descrito por Mariano et al. (2011), banana o valor está maior determinado por Maia et al. (1977), para maçã também está abaixo do valor encontrado pelo mesmo autor. Para fruta-pão não foram encontradas referências.

Os resultados dos parâmetros de cor instrumental da polpa dos diferentes vegetais submetida a três concentrações diferentes por ácido e iguais entre os ácidos. Sejam elas em ácido cítrico e ácido ascórbico nas concentrações de 0,5, 1,0 e 1,5%. Estão apresentados na Tabela 3, a fim de se observar a influência do tempo de secagem solar ao longo do dia sob radiação indireta e influência dos ácidos na mudança de coloração (escurecimento enzimático) nas amostras das polpas.

Tabela 3. Valores médios e desvios padrões da coordenada L* de cor para a polpa de cada vegetal abordado em diferentes concentrações de ácido cítrico e ácido ascórbico.

MP*	Controle		Ácido Cítrico (AC)		Ácido Ascórbico (AA)		
	0%	0,5%	1%	1,5%	0,5%	1%	1,5%
Batata	50,49±5,10 ^b	57,66±3,11 ^a	56,00±2,37 ^a	59,00±3,11 ^{ab}	55,70±3,58 ^a	56,88±4,68 ^a	57,11±4,15 ^a
Fruta-pão	27,29±4,11 ^d	36,74±5,74 ^c	37,88±4,55 ^b	42,61±3,92 ^a	39,31±6,42 ^a	34,83±7,82 ^b	31,22±6,30 ^c
Maçã	42,24±7,79 ^a	51,00±3,65 ^a	56,00±5,22 ^a	54,00±3,20 ^a	53,00±4,77 ^a	58,00±3,49 ^a	58,00±2,89 ^a
Banana	54,78±3,61 ^{ab}	55,14±3,08 ^b	54,20±3,68 ^b	56,11±3,31 ^a	54,86±3,20 ^a	53,71±6,15 ^{ab}	51,33±5,73 ^b

* MP = Matéria-prima. Médias seguidas pela mesma letra na linha para o mesmo tipo de ácido não diferem entre si a $p \leq 0,05$ pelo teste de Tukey.



IV Encontro Nacional da Agroindústria

27 a 30 de Novembro de 2018

Diante disso, proporcionou a manutenção significativa dos valores de L^* em ácido cítrico (AC) em batata entre a amostra controle e as concentrações 0,5 e 1,0%, já com relação a amostra a 1,5% de ácido não houve diferença significativa, apresentando-se em faixa de luminosidade similares. Em contrapartida, relacionado ao ácido ascórbico, empregado na batata, amostra (C) diferiu significativamente para as três concentrações ao longo do tempo e realização da análise, apresentando redução da luminosidade por parte do controle para com elas, com média aproximada de 50,49. E entre as formulações não houve diferença estatisticamente, e então não influenciou para o parâmetro L^* . Os resultados obtidos fruta-pão em experimento para o parâmetro L^* de fruta-pão quando analisado a amostra controle mostrou-se diferença significativa para ($p < 0,05\%$) de significância para os dois ácidos. Entre as concentrações de cada ácido pôde ser visível a diferença pelo teste de tukey, assim como entre ácidos, exceto para 1%, que aborda semelhanças entre (AC) e (AA), com médias de 37,88 e 34,83. Similarmente, valores de L^* da maçã, está em valores de L^* para banana, quando diz respeito a amostra controle e as três amostras de (AC) e (AA), sendo elas (0,5 e 1,0 e 1,5%). No entanto, houve diferença entre as amostras 1,0 e 1,5% para (AC), observando com isso, uma maior luminosidade para 1,5%. Assim como, apresentou-se diferença significativa entre as amostras 0,5 e 1,5% de (AA). Já entre os ácidos não houve diferença significativa. Com relação ao parâmetro a^* que varia do verde ao vermelho (SOUZA, 2012) podem-se observar na Tabela 4, não houve aumento significativo deste para maçã entre totais amostras, estando com média de 5,90%. No entanto, na batata, a aplicação do ácido cítrico mostrou exercer influência entre a amostra controle e 0,5 e 1%, já comparado com 1,5% não. Com relação ao ácido ascórbico, ela diferiu significativamente de todos os tratamentos, aumentou significativamente ($p < 0,05$) com a aplicação dos ácidos. Para fruta-pão, o ácido (AC) foi mais eficiente, principalmente nas concentrações de 1 e 1,5%. O parâmetro a^* em maçã não exerce diferença significativa.

Tabela 4. Valores médios e desvios padrões da coordenada a^* de cor para a polpa de cada vegetal abordado em diferentes concentrações de ácido cítrico e ácido ascórbico.

MP	Controle		Ácido Cítrico (AC)		Ácido Ascórbico (AA)		
	0%	0,5%	1%	1,5%	0,5%	1%	1,5%
Batata	-1,73±1,56 ^a	-4,11±1,38 ^b	-3,88±1,13 ^b	-5,00±1,81 ^{ab}	-4,00±3,86 ^b	-3,44±3,85 ^b	-4,44±4,50 ^b
Fruta-pão	-0,05±1,67 ^a	0,33±3,84 ^a	-2,40±3,69 ^b	-2,00±4,10 ^b	0,29±6,98 ^a	-0,44±6,35 ^a	-0,83±9,52 ^a
Maçã	5,90±6,44 ^a	-3,00±2,65 ^a	-6,00±4,11 ^a	-6,00±2,96 ^a	-5,00±3,90 ^a	-4,00±2,00 ^a	-5,00±1,88 ^a
Banana	-0,33±1,37 ^a	-1,38±0,98 ^a	-0,53±1,34 ^a	-0,31±3,26 ^a	1,46±3,17 ^b	1,02±4,74 ^b	5,92±8,79 ^a

* MP = Matéria-prima. Médias seguidas pela mesma letra na linha para o mesmo tipo de ácido não diferem entre si a $p \leq 0,05$ pelo teste de Tukey.

Comportamento semelhante ao encontrado por Celestino, (2010), quando diz que ácido cítrico age como um agente antioxidante inibindo o escurecimento enzimático e algumas reações oxidativas (SOUZA, 2012). Uma vez que não relata uma diminuição do escurecimento, principalmente visto em maçã, sendo ainda mais intenso para os tratamentos com maior concentração do ácido cítrico.

O parâmetro b^* representa uma variação entre a cor azul (-60 a 0) e o amarelo (0 a 60) (SOUZA, 2012). Conforme Tabela 5, observa-se que os valores obtidos para b^* foram positivos variando de 14,68 para 38,00, que segundo Souza indicando a presença de componentes de coloração amarela na polpa. O aumento nos valores de b^* , também pode ser verificado após durante o período de secagem até o final dos tratamentos para todas.



IV Encontro Nacional da Agroindústria 27 a 30 de Novembro de 2018

Tabela 5. Valores médios e desvios padrões da coordenada b^* de cor para a polpa de cada vegetal abordado em diferentes concentrações de ácido cítrico e ácido ascórbico.

MP	Controle		Ácido Cítrico (AC)				Ácido Ascórbico (AA)		
	0%	0,5%	1%	1,5%	0,5%	1%	1,5%		
Batata	25,80±2,22 ^a	19,00±3,26 ^b	20,44±3,19 ^b	19,00±3,59 ^b	23,30±4,10 ^b	20,88±3,92 ^{bc}	19,88±3,83 ^c		
Fruta-pão	14,68±4,43 ^b	20,92±5,33 ^a	21,57±6,89 ^a	22,31±6,07 ^a	21,62±8,32 ^a	20,16±9,91 ^a	15,66±10,16 ^b		
Maçã	35,51±5,19 ^a	38,00±2,89 ^a	27,00±6,38 ^a	31,00±3,20 ^a	26,00±6,46 ^{ab}	22,00±6,06 ^{ab}	21,00±5,73 ^b		
Banana	15,83±1,87 ^a	16,30±2,75 ^a	16,51±3,10 ^a	15,68±3,11 ^a	16,35±2,55 ^a	15,76±3,28 ^a	15,50±3,90 ^a		

* MP = Matéria-prima. Médias seguidas pela mesma letra na linha a não diferem entre si a $p \leq 0,05$ pelo teste de Tukey

CONCLUSÕES

A projeção e consequentemente a construção do secador solar convectivo apresentaram vantagens significativas como: eficiência na secagem, facilidade de operação, rendimento significativo quando comparado a seu porte, totalmente independente de energia convencional e ser construído em módulos para facilitar o transporte.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, I. B. et al. **Desenvolvimento de secador solar construído a partir de material reciclável**. DOI: 10.15628/holos.2016.2417.
- ARAÚJO, C. S. P. de. et al. **Desidratação de batata-doce para fabricação de farinha**. ACSA – **Agropecuária Científica no Semiárido**. 2016.
- BENEDETTI, Patrícia. **Caqui em pó: influência de aditivos e secagem e do método de secagem**. 2014. 129 f. Tese – “Júlio de Mesquita Filho”, Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto.
- CELESTINO, S. **Princípios de secagem de alimentos**. Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária. Embrapa Cerrados. (Planaltina, 2010). 51f. Documentos 276.
- CORNEJO, Felix. **Secagem como método de conservação de frutas**. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Embrapa. (Rio de Janeiro, 2003). 14 f. Documentos 54
- FOOD INGREDIENTS BRASIL. **Dossiê de Alimentos Desidratados**. 14 f. Nº 26 – 2013. Disponível em <www.revista-fi.com>.
- GUIMARÃES, A. **A PRODUÇÃO DE ABACAXI: estratégias de reprodução da agricultura familiar no município de Monte Alegre de Minas (MG)**. 152 f. (Dissertação de Mestrado) - Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Goiás Regional Catalão, Catalão, 2015.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ - IAL. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. São Paulo: IMESP, 1020p., 2008.
- MAIA, G. A. et al. Estudos sobre a maturação da banana (musa ssp.). **Ciê. Agrôn.**, 7 (1-2): 29 – 32. Dezembro, 1977.
- MARIANO, E. J. et al. **Avaliação dos parâmetros físico-químicos e sensoriais da maçã desidratada para uso como aperitivo**. TCC (Trabalho de Conclusão de Curso). 40 f. Medianeira, 2011.
- PARK, K. J.; ANTÔNIO, G.C.; OLIVEIRA, R.A.; PARK, K.J.B. **Apostila de conceitos de processo e equipamentos de secagem** – Centro de Tecnologia e Engenharia Agroindustrial, Campinas, CT&EA, 2007.
- SILVEIRA, Luciano. **Modelagem de um secador solar de produtos agrícolas com sistema de armazenagem de energia térmica**. 61 f. Tese - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade Federal de São Paulo, Piracicaba, 2016.
- SOUZA, D. S. **Efeito da liofilização sobre a qualidade da polpa de abacate (*Persea americana* Mill) e elaboração de guacamole liofilizado**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). 123 f. Aracaju, 2012.
- SOUZA, M. E. de. et al. Caracterização físico-química e avaliação sensorial dos frutos de bananeira. **Nativa, Sinop**, v. 01, n. 01, p. 13-17, out./dez. 2013 Pesquisas Agrárias e Ambientais.
- VÉRAS, A. O. M. **Secagem de pimenta dedo - de - moça (*Capsicum bacattum* var. *pendulum*)**. Em secador convectivo solar horizontal. 79 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, 2010.