



ESTUDO COMPARATIVO DAS TECNOLOGIAS DE SECAGEM DE ALIMENTOS NA PRODUÇÃO DA FARINHA DE INHAME

Zacarias Mubecane Filipe Manharage¹
Américo da Stela Valdimir Msopela²

RESUMO

O Inhame possui um grande valor nutricional indispensável para o ser humano. Estes tubérculos são uma excelente fonte de energia, eles contém vitaminas como a tiamina, riboflavina, niacina, ácido ascórbico e carotenos. Além disso, eles possuem a maioria dos aminoácidos essenciais: arginina, leucina, isoleucina e valina. Neste estudo com o objectivo de comparar as tecnologias de secagem de alimentos para a produção de farinha de inhame, foram definidos os processos de secagem solar directa de alimentos e secagem em forno de bandejas para a obtenção da farinha de inhame, com vista a recomendar o processo que mais preserva as propriedades nutricionais do inhame. As amostras do inhame que foram submetidas aos processos de secagem solar directa e secagem em forno de estufa, para obtenção da farinha para a realização do estudo, foram colhidas de forma aleatória em três campos de cultivos no distrito de Macate na provincia de Manica. O processo de secagem solar directa durou 24 horas alcançou uma humidade de equilibrio de 0.0029, e no processo de secagem em forno de estufa durou 72 horas obteve-se 0.00097 (humidade de equilibrio).

Palavras-chave: Inhame; Secagem; Farinha; Forno.

ABSTRACT

Yam has a great nutritional value that is indispensable for humans. These tubers are an excellent source of energy, they contain vitamins such as thiamine, riboflavin, niacin, ascorbic acid and carotenenes. In addition, they have most of the essential amino acids: arginine, leucine, isoleucine and valine. In this study with the objective of comparing food drying technologies for the production of yam flour, the processes of direct solar drying of food and drying in trays oven for the production of yam flour were defined, with a view to recommending the process that best preserves the nutritional properties of yam. Samples of the yam that were subjected to the processes of direct solar drying and drying in a greenhouse oven, to obtain the flour for the study, were collected at random from three cultivation fields in the district of Macate in the province of Manica. The direct solar drying process lasted 24 hours and reached an equilibrium humidity of 0.0029, and in the kiln drying process it lasted 72 hours, 0.00097 (equilibrium humidity) was obtained.

Keywords: Yam; Drying; Flour; Oven.

¹ Estudante finalista do Curso de Engenharia de Processos Industriais- Faculdade de Ciências e Tecnologia- Universidade Zambeze- Beira- Moçambique. Email: zacariasmanharage@gmail.com

² Docente- Assistente Universitário no Departamento de Engenharia de Processos Industriais da Faculdade de Ciências e Tecnologia na Universidade Zambeze- Beira- Moçambique. Licenciado em Engenharia Química e Mestre em Engenharia e Gestão de Águas. Email: americomsopela@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

Grande parte da produção resultante do cultivo de alimentos a nível mundial é perdida devido a contaminações e infestações antes de chegar ao consumidor. De acordo com GIRARDIN (1996) e FERRARO et al. (2016), citado por OMOHIMI, et al. (2019), a fase de armazenamento geralmente resulta em grandes perdas, que podem subir até 25% do peso da matéria-prima. Em países em via de desenvolvimento e tropicais, o nível de perdas é relativamente maior em relação aos países desenvolvidos, esse facto deve-se a inexistência de tecnologias avançadas de conservação de alimentos. Conforme GAVA (1984), a secagem é um dos processos mais antigos utilizados pelo homem na conservação de alimentos. A tecnologia de secagem evoluiu notavelmente desde o simples uso da energia solar até a tecnologia actual. Vários métodos de preparação podem ser estabelecidos com inhame recém-colhido para dar-lhes valor agregado e minimizar perdas de produto reduzindo a atividade de água como tal, lascas e flocos poderia ser preparado (ADENIJI, et al., 2012) apud (RAMÍREZ e GARCÍA, 2019). Por meio de processos artesanais que incluem secagem ao sol é possível obter flocos de inhame ou chips de inhame.

Moçambique é um país tropical e em vias de desenvolvimento, cuja economia esta baseada em agricultura de subsistência. Grande parte da população em Moçambique, aplica a secagem solar de alimentos para conservação de alimentos frescos, bem como procedimento inicial para a produção de farinha para o consumo familiar e comercialização. O inhame é uma da cultura de elevado contributo na economia do sector familiar e é apontado como uma grande fonte de nutrientes indispensáveis para o Homem. Diversas questões são levantadas para a escolha de um sistema de secagem de alimentos como método de conservação do mesmo. O custo de produção e a eficiência desempenham um papel importante na escolha do sistema de secagem. A secagem solar de alimentos é um método bastante antigo utilizado pelo Homem para a conservação de alimentos para o consumo em períodos pós-colheita. Nas últimas décadas, o uso de equipamentos tem sido empregue para a conservação de alimentos em substituição da secagem solar. Estes métodos de conservação, permitem reduzir elevadas perdas no seio dos produtores, pois, reduz a quantidade de água no alimento, diminuindo também a capacidade do desenvolvimento microbiano nos alimentos.

Vários estudos foram realizados tendo como objecto de estudo o inhame, os mesmos, apontam o inhame como um alimento com alto valor nutricional e deve ser incentivado o seu consumo na comunidade para o combate da desnutrição e outras doenças. Sabendo que o inhame é tubérculo consumido fresco e Moçambique é um país que grande parte da população esta nas zonas rurais, e utiliza a secagem solar como mecanismo de conservação de alimentos, para o consumo pós-colheita e também como fase do processo de produção de cereais.

Diante deste cenário levanta-se a seguinte questão:

➤ *Qual é o processo de secagem mais eficiente na produção da farinha?*

O Objectivo geral do estudo é comparar as tecnologias secagem de alimentos na produção de farinha de inhame. E para alcançar este objectivo geral, seguiu-se os seguintes objectivos específicos:

- Produzir farinha de inhame a partir da secagem solar direta e secagem em forno de estufa;
- Determinar a humidade de equilibrio;
- Propor a melhor técnica de secagem de inhame através dos resultados obtidos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Secagem de alimentos

Conforme GAUTO e ROSA (2011), a secagem refere-se, em geral, à remoção de um líquido de um sólido por evaporação. Em muitos casos, porém, temos um líquido com baixo teor de sólidos cujo objectivo é concentrá-lo pela evaporação do solvente. Nesta operação, ocorre a transferência simultânea de calor e massa, ou seja, é necessário que um meio ceda calor à mistura sólido-líquido, para que a fase líquida evapore e se difunda na fase gasosa da qual retirou calor.

a. Tipos de Secagem

Secagem solar de convecção natural

Este método, é recomendável em regiões de clima seco, com boa irradiação solar e escassas precipitações pluviométricas, preferivelmente ventosas na época em que a secagem é realizada (GAVA, 1984).

i. Secagem solar directa

Conforme DHUMNE, BIPTE e JIBHKATE (2015), a secagem ao sol é um dos métodos mais difundidos e baratos praticados pela maioria dos países em desenvolvimento e subdesenvolvidos, especialmente nos trópicos, onde há boas horas de sol durante todo o ano. Nesse processo, os produtos alimentícios são colocados em uma plataforma em uma camada fina para secagem uniforme. O calor do sol não só reduz o nível de humidade conforme desejado, mas também mata os insectos presentes no produto alimentar. O secador solar tipo directo, denominado secador solar tipo gabinete, é essencialmente uma caixa solar quente, na qual o produto desejado pode ser seco em pequena escala. Consiste em um gabinete quadrilateral, bandejas para o produto e uma única camada de plástico / vidro transparente na parte superior. Orifícios são perfurados na base para permitir a entrada de ar fresco e ventilado no gabinete. Conclui-se que o secador tipo gabinete pode ser útil para aplicações domésticas de secagem de frutas e vegetais em países em desenvolvimento (SHARMA; COLANGELO; e SPAGNA, 1995) apud (BALA e DEBNATH, 2012). A secagem ocorre devido à diferença na concentração de humidade entre o ar de secagem e o ar nas proximidades da superfície da cultura (VISA VALE, 2012).

ii. Secagem solar indirecta

O secador tipo distribuído ou indirecto é constituído por duas partes: um colector solar que converte a radiação solar em calor e por uma câmara de secagem onde os produtos são colocados sem exposição directa à radiação solar. O ar é aquecido num coletor solar e sobe por convecção natural até à câmara de secagem. Para melhorar a circulação do ar por convecção natural, pode-se colocar no secador uma chaminé solar. A secagem é rápida e os custos são pouco mais elevados que o anterior. Melhora a qualidade dos produtos, nomeadamente a sua cor, aspeto e mantém o valor nutritivo, porque não recebem a radiação solar directamente. Esses secadores também são recomendados para o caso de algumas hortaliças e frutas com alto teor de pigmentação (AGUIRRE e GASPARINO, 2002).

Secagem por secadores adiabáticos

Segundo GAVA (1984), são denominados secadores adiabáticos, quando o calor é conduzido por meio de ar quente, fazem parte deste grupo, o secador de cabine, secador de túnel, atomizador "spray-dryer", leito fluidizado, fomos secadores, "puff-dryer" e "foam mat dryer".

Secagem por secadores com transferência de calor por superfície sólida

Geralmente nestes tipos trabalha-se com vácuo. Aqui tem-se o secador de tambor (*drum-dryer*) e outros desidratadores a vácuo. A liofilização é um sistema especial de secagem (com congelamento e sob vácuo) (GAVA, 1984).

2.2 Água nos alimentos

A água é um componente essencial para o processo vital, aparência, sabor, bem como para a deterioração química, enzimática e microbiológica dos alimentos. Segundo ALVES (2014), o teor de humidade presente nos alimentos se encontra de duas formas: conteúdo de humidade e actividade de água.

a. Conteúdo de humidade

O teor de humidade é a medida da quantidade total de água contida num alimento (água total), e é geralmente expresso como uma percentagem (%) do peso total. Para BROD (2003), citado por ALVES (2014) o teor de humidade é expresso em forma de valores obtidos experimentalmente, onde o conteúdo de humidade de um produto é a relação directa entre a massa de água presente no material e a massa de matéria seca. O teor de humidade pode ser expresso por (X_{bs}) para base seca e por (X_{bu}) para base húmida, o qual é dado em percentagem (%), como segue:

$$X_{bs} = \frac{m_i - m_s}{m_s} \quad X_{bu} = \frac{m_i}{m_i + m_s} * 100\%$$

Onde:

X_{bs} : teor de humidade em base seca

X_{bu} : teor de humidade em base húmida

m_i : massa inicial da amostra antes do processo (g matéria seca)

m_s : massa seca da amostra depois do processo (g matéria seca)

Segundo ALVES (2014), a composição dos alimentos e seu teor de humidade influenciam na migração de água, em forma de vapor, dos alimentos para o meio ambiente, assim como a temperatura e humidade relativa deste ambiente. Em uma dada temperatura constante, o teor de água do alimento troca continuamente com o ar atmosférico calor e massa até que alcance um equilíbrio com a pressão de vapor no ar ambiente.

b. Actividade da água

O termo actividade de água foi designado para indicar quanto de água está disponível no alimento, ou seja, indica a intensidade com que a água está associada aos constituintes não aquosos, e conseqüentemente, a água disponível para o crescimento de microrganismos e para que se possam realizar reacções químicas e bioquímicas (ALVES, 2014). A actividade de água (A_w) pode ser definida como sendo a relação entre a pressão parcial da água contida no alimento (P) e a pressão de vapor da água pura a mesma temperatura (P_0). Esta relação está baseada sob a hipótese do sistema estar em equilíbrio termodinâmico.

$$A_w = \frac{P}{P_0}$$

Onde:

A_w : actividade de água

P: Pressão parcial da água contida no alimento (kpa)

P_0 : Pressão de vapor da água pura a mesma temperatura (kpa)

2.3 Cinética de secagem

A taxa de secagem diz respeito à velocidade com a qual ocorre a migração da humidade do interior do produto até a superfície e está relacionada diretamente ao estado físico das moléculas de água (na forma líquida ou vapor) e ao mecanismo de transferência de massa. Diz respeito, ainda, à velocidade de transferência da humidade da superfície do material sólido para a fase vapor, por área do material a ser seco (BERTELI, 2005) apud (DIAS, 2013). Segundo PARK et.al (2007) citado por DIAS (2013), a evolução das transferências simultâneas de calor e de massa ao longo da operação de secagem faz com que esta seja dividida em três períodos, conforme representado no gráfico 1.

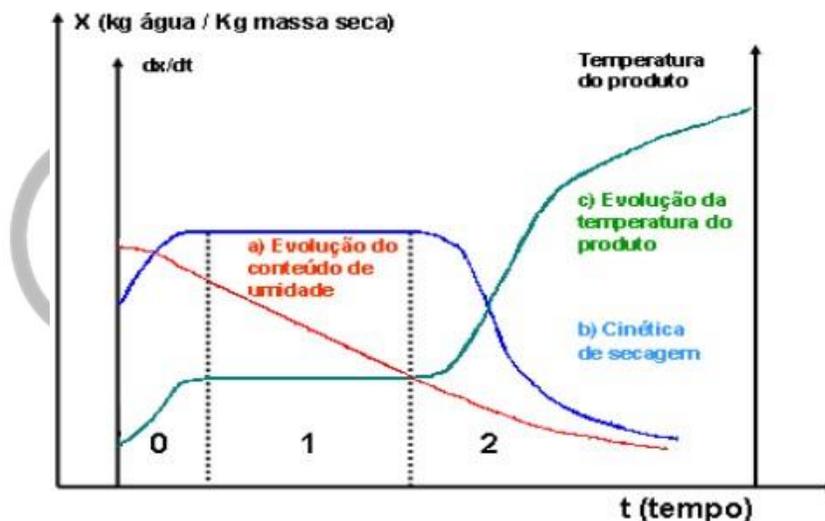


Gráfico 1: Curvas típicas de secagem
Fonte: PARK et al (2001a) apud ALVES (2014)

Caracterização dos períodos e curvas:

- O primeiro período (0): trata-se do processo inicial da secagem;
- O segundo período (1): é a taxa constante do processo de secagem, onde a velocidade; do processo é constante.
- No terceiro período (2): redução na transferência de massa;
- Curva (a): diminuição do teor de humidade do produto durante a secagem;
- Curva (b): velocidade de secagem do produto;
- Curva (c): mudanças da temperatura do produto no decorrer da secagem.

2.4 Inhame (*Dioscorea spp*)

Segundo ANDRES, ADEOLUWA, e BHULLAR (2017), o inhame pode ter estado presente na África, Ásia, América do Sul, o Caribe, bem como as ilhas do Pacífico Sul desde há muito tempo, e os relatórios sugerem que *Dioscorea Rotundata* foi o primeiro domesticado na África Ocidental por volta de 5000 aC. Três principais centros de origem do inhame foram identificados: África Ocidental, Sudeste Asiático e América tropical. Diferentes espécies do gênero *Dioscorea* pode ter diferentes regiões de origem. O gênero é representado por plantas dioicas (ARACKAL e PANDURANGAN, 2015).



Figura 1: Planta e corno do inhame

Fonte: Autores

a. Composição do Inhame fresco

A composição aproximada do inhame varia dependendo da espécie, mas geralmente o inhame fresco colhido tem alto teor de humidade que está na faixa de 50–65%, cinzas (0,5–1,2%), proteína (3,4–6,0%), gordura (0,1 - 0,3 %), amido (75–84%) e fibra (1,5–6,2%) (OKORO e AJIEH, 2014) apud (ASIYANBI-HAMMED, 2016). A maioria dos inhames é composta essencialmente de água, amido, pequenas quantidades de proteína e outros constituintes menores são descritos na Tabela 1.

Tabela 1: Composição das espécies de inhame fresco

Variedade	Humidade (%)	Açúcar (%)	Gordura (%)	Proteína bruta
<i>D. alata</i>	65 – 73	22 – 29	0.1 - 0.3	1.1 -2.8
<i>D. rotunda e</i>	58 – 80	15 – 23	0.1 - 0.2	1.1 -2.0
<i>D. Cayenensis</i>				
<i>D. esculenta</i>	67 – 81	17 – 25	0.1 - 0.3	1.3 - 1.9
<i>D. bulbifera</i>	63 – 67	27 – 33	0.1	1.1 - 1.5

Fonte: Knoth (1993) apud (FAO, 1998)

A tabela 2, ilustra os teores de teores de humidade, cinzas, açúcares, lípidos, proteínas e fibra alimentar, obtidas por Uaila na análise do inhame dos distritos (Macate, Gondola) e do bairro zona verde. Também a tabela apresenta os mesmos teores determinados por Polycarp et al, na análise de suas espécies de *Dioscorea Rotundata* em Gana.

Tabela 2: Teores (em %) de humidade, cinzas, gorduras, açúcares e proteínas

Parâmetros	UAILA (2015)			(Polycarp, et al, 2012)	
	Macate	Gondola	Zona Verde	<i>D. R (Pona)</i>	<i>D. R Labrekor</i>
Humidade (%)	21.38±0.67	20,64±0.79	21.38 ± 1.09	58.18±1.22	63.23±0.24
Cinzas (%)	31.91±4.17	34,49±1.76	29.91 ± 4.84	1.29±0.11	2.57±0.27
Gorduras (%)	1.14±0.03	1,09 ± 0.00	1.24 ± 0.06	0.41±0.00	0.46±0.07
Açúcares (%)	5.10± 1.40	4,63 ± 1.08	3.52 ± 0.64	87.31±0.07	85.51±1.21
Proteínas (%)	4.54 ± 1.37	8,46 ± 1.59	6.44 ± 0.94	4.42±0.18	4.403±0.18
Fibra (%)	N.D	N.D	N.D	1.25±0.32	1.68±0.18

Fonte: Uaila (2015) & Polycarp et al (2012) adaptado pelo autores

De acordo com Uaila (2015) e Polycarp (2012), o inhame apresenta teores de minerais, e os mesmos são descritos na tabela 3.

Tabela 3: Teor (em ppm) dos sais minerais

Minerais (mg/g)	Uaila (2015)			Polycarp, et al. (2012)	
	Macate	Gondola	Zona Verde	<i>D.R Pona</i>	<i>D. R Labrekor</i>
Cobre	0.035±0.00218	0.03147±0.00179	0.03233±0.0114	0.25±0.07	0.20±0.00
Ferro	0.6008 ±0.00246	0.06073±0.01634	0.05816±0.00385	6.75±1.06	5.00±1.41
Potássio	0.3046 ±0.01686	0.33855±0.02445	0.32192±0.01712	475.0±3.54	900.0±1.42
Magnésio	12.075 ± 0.025	13.808±0.133	12.449±0.244	35.5±4.95	53.0±1.41
Manganês	0.02905 ±0.00216	0.03975±0.0044	0.01823±0.00129	1.80±0.00	1.15±0.07
Sódio	0.41956 ±0.01266	0.42230±0.01855	0.43388±11,40	70.0±1.41	87.5±1.77
Fósforo	0.37328 ±0.01010	0.40240±0.01264	0.26661±0.00370	158.0±17.0	211.5±54.4
Zinco	0.02758 ± 556	0.03113±1,29	0.02956 ± 0.00240	6.80±1.70	6.30±0.57
Cálcio	N.D	N.D	N.D	103.25±4.60	91.50±17.7

Fonte: Uaila (2015) & Polycarp et al (2012) adaptado pelo autores

b. Produção de farinha de inhame

O processo de produção da farinha de inhame triturado consiste em algumas operações, que são mecanizadas. As operações básicas incluem a seleção e pesagem do inhame, lavagem do inhame, descascamento do inhame, corte do inhame, pré-cozimento do inhame fatiado, secagem do inhame parabolizado, moagem do inhame seco em farinha de inhame, embalagem de farinha de inhame e selagem dos pacotes (ODIOR e OYAWALE, 2012). Os processos operacionais são mostrados na figura abaixo.

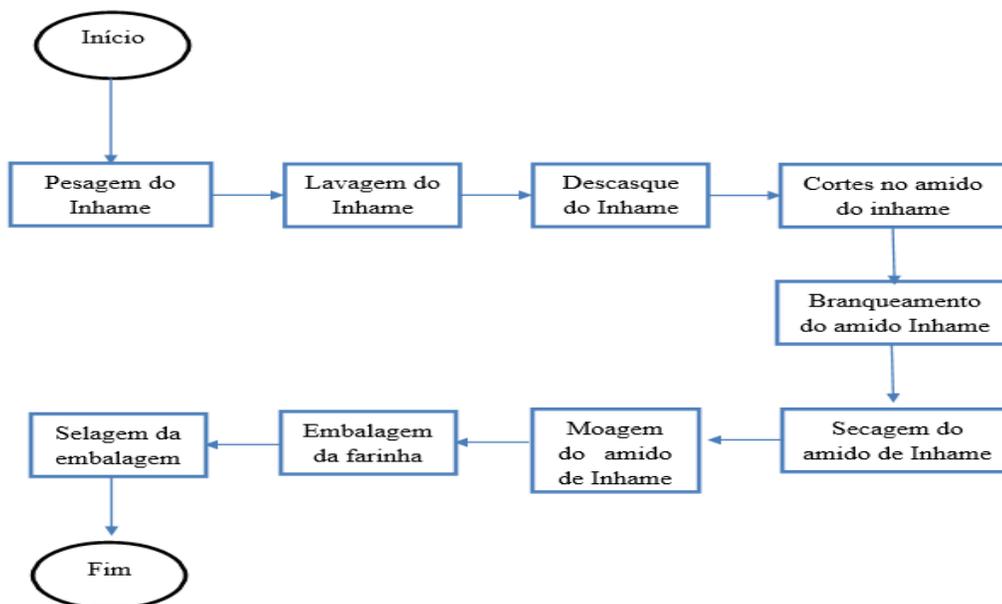


Figura 2 : Fluxograma de produção da farinha de inhame
Fonte: (Odior & Oyawale, 2012) adaptado pelo autores

c. Composição da farinha de inhame

A tabela abaixo, apresenta os teores de humidade, cinzas, proteínas, gorduras, amido, fibra bruta, ph, actividade da água e carboidratos presentes nas farinhas de inhame analisadas pelos respectivos pesquisadores.

Tabela 4: Composição química da farinha de inhame

Parâmetros	SÁ, et al (2018)	Muluaem, et al (2018)	Asiyanbi-Hammed (2016)
Humidade (%)	8,8 ± 0,45	22.03 ± 2.40	5,7
Cinzas (%)	3,60 ± 0,0	2.61 ± 0.63	2,21
Proteínas (%)	7,16 ± 0,0	7.82 ± 0.34	5,9
Gorduras	0,08 ± 0,0	0.32 ± 0.14	0,4
Amido (%)	56,41± 0,14	N.D	73.8
Fibra bruta (%)	5,5 ± 0,05	1.28 ± 0.39	4,4
pH	5,59 ± 0,0	N.D	N.D
Atividade de água	0,330 ± 0,0	N.D	N.D
Açúcares (%)	83,66± 0,25	21.84 ± 4.13	N.D

Fonte: Sá et al (2018); Muluaem et al (2018) & Asiyanbi-Hammed et al (2016) adaptado pelo autores

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

3.1. Método Experimental

O método experimental consiste em realizar experiências práticas de modo a sustentar a essência da pesquisa (SEVERINO, 2000). Deste modo, tendo como essência da pesquisa a comparação das tecnologias de secagem de alimentos, o método permitiu obter a farinha de inhame obedecendo-se o fluxograma e as etapas de produção. A partir deste método, efetuou-se o balanço mássico do inhame submetido aos processos, a partir dos seus volumes de controlo.

a. Fluxograma e etapas do processo

Durante processo do estudo comparativo, irá se utilizar o fluxograma descrito na figura 3, para se atingir os objectivos preconizados na pesquisa.

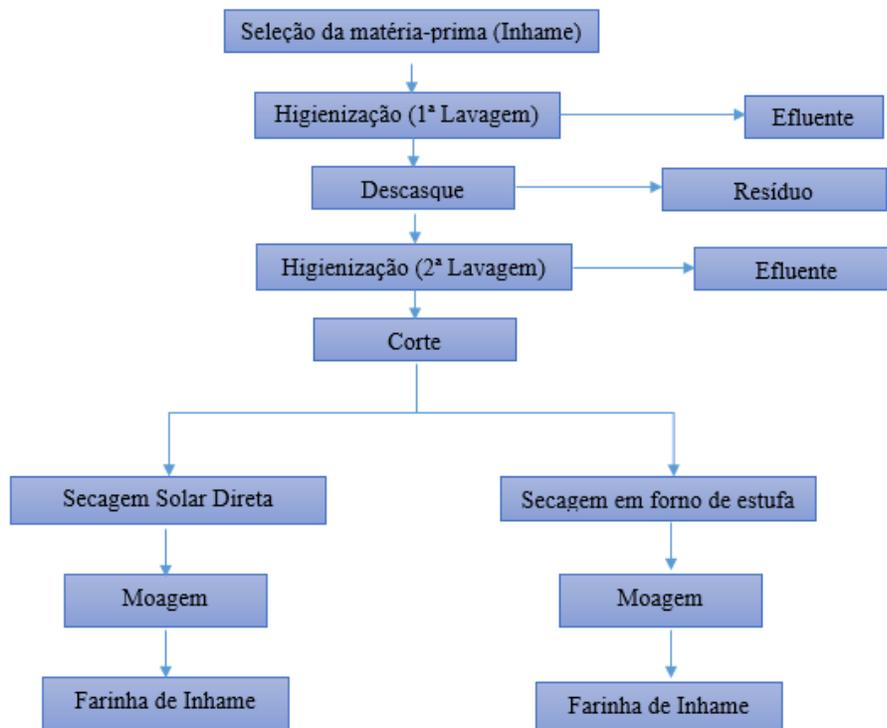


Figura 3: Fluxograma de produção experimental

Fonte: Autores

Etapas de Produção

(1) Seleção da matéria-prima: o inhame foi selecionado de acordo com o seu estado de maturação dentro do campo de cultivo localizado no distrito de Macate.

(2) Higienização (1ª lavagem) e Descasque: após a seleção, o inhame será lavado em água corrente de modo a retirar a terra que esta contida no inhame, posteriormente a 1ª lavagem, o inhame será submetido a descasque manual com uma faca inox.

(3) Higienização (2ª lavagem) e corte: tendo o inhame descascado, seguir-se-à a segunda lavagem para garantir a total limpeza do inhame. Higienizado o inhame, irá se efectuar o corte do inhame com auxilio de uma faca, efectuo-se o corte, tendo obtido três amostras de 0.5 cm de espessura, $4.3\text{cm}\pm 0.2$ de comprimento e $4.2\text{cm}\pm 0.1$ de largura.

(4) Secagem: a secagem do inhame foi efetuada em dois grupos A (secagem solar direta) e grupo B (secagem em forno de estufa). A secagem solar direta teve uma duração de 72 horas e a secagem em forno de estufa teve 24 horas.

As figuras abaixo, ilustram os sistemas de secagem no qual foram submetidas as amostras.



Figura 4: Secador solar directo
Fonte: Autores



Figura 5: Secador de forno de estufa caseiro
Fonte: Autores

(5) Moagem: tendo obtido o inhame seco, irá se submetu-se o inhame seco a moagem em almofariz de alimentos de modo a obter a farinha.

b. Cinética de secagem

Para o estudo da cinética de secagem, utilizou-se as seguintes equações:

Determinação da humidade em base seca

$$X_{bs} = \frac{m_i - m_s}{m_s}$$

Determinação da humidade de equilibrio

$$X_{eq} = \frac{m_{eq} - m_s}{m_s}$$

Determinação da razão do teor de humidade

$$MR = \frac{X - X_{eq}}{X_o - X_{eq}}$$

c. Determinação da eficiência mássica e custo do processo

A eficiência mássica do processo de secagem foi determinada a partir da equação abaixo:

$$\eta_p = \frac{m_i - m_f}{m_a} * 100\%$$

Onde:

η_p = representa a eficiência mássica do processo de secagem [%]

m_i = massa inicial

m_f = massa final

m_a = massa inicial da água do produto a ser seco

O custo do processo, foi determinado através das seguintes expressão matemática:

$$Custo = Tarifa \cdot E_{consumida}$$

Onde:

Tarifa com iva=8.403MZN/KW.H⁻¹

$$E_{consumida} = P \cdot \Delta t$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Resultados do método experimental

a. Cinética de Secagem

A taxa de secagem, foi resultante do estudo do teor de humidade das fatias de inhame em base seca no decorrer do tempo, indicando assim uma queda do conteúdo de humidade das amostras em relação ao tempo de secagem.

▪ Secagem solar directa

A Tabela 5, apresenta os resultados obtidos durante o processo de secagem solar directa. Este processo durou 72 horas, tendo o seu início as 5 horas. Durante o processo, foram efectuadas medições da massa, obtendo 2.077g no fim do processo.

Tabela 5: Parâmetros resultantes da secagem solar directa

Tempo (Horas)	0	4	8	12	24	28	32	36	48	72
Massa	8	7.159	4.614	3.209	2.237	2.107	2.089	2.079	2.077	2.077
Massa da água	5.929	5.088	2.543	1.138	0.166	0.036	0.018	0.008	0.006	0.006
Xbu	79.436	77.562	69.02	60.777	51.927	50.431	50.216	50.096	50.072	50.072
Xbs	2.86287	2.45678	1.22791	0.54949	0.08015	0.01738	0.00869	0.00386	0.0029	0.0029
MR	0.999999	0.85801	0.428329	0.191118	0.027012	0.005064	0.002025	0.000337	-1E-06	-1E-06

Fonte: Autores

Esboçando o gráfico da humidade em função do tempo, obtem-se:

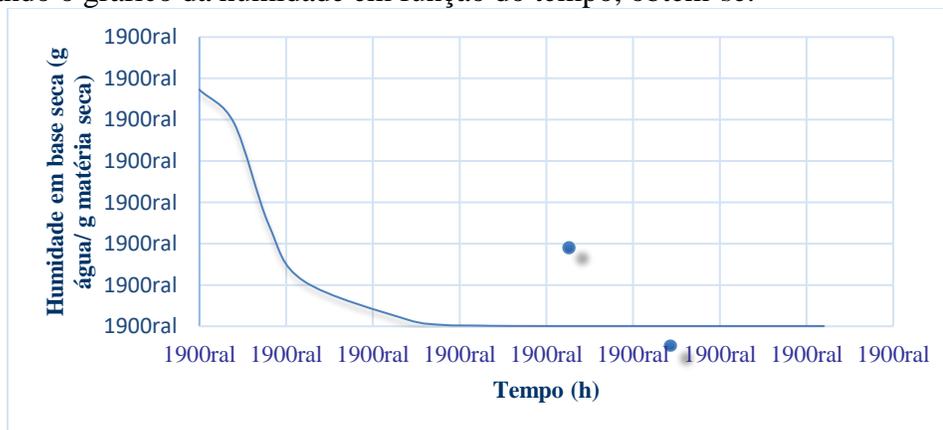


Gráfico 2: Humidade em base seca (secagem solar direta) em função do tempo

Fonte: Autores

Esboçando o gráfico da razão do teor de humidade, obtém-se:

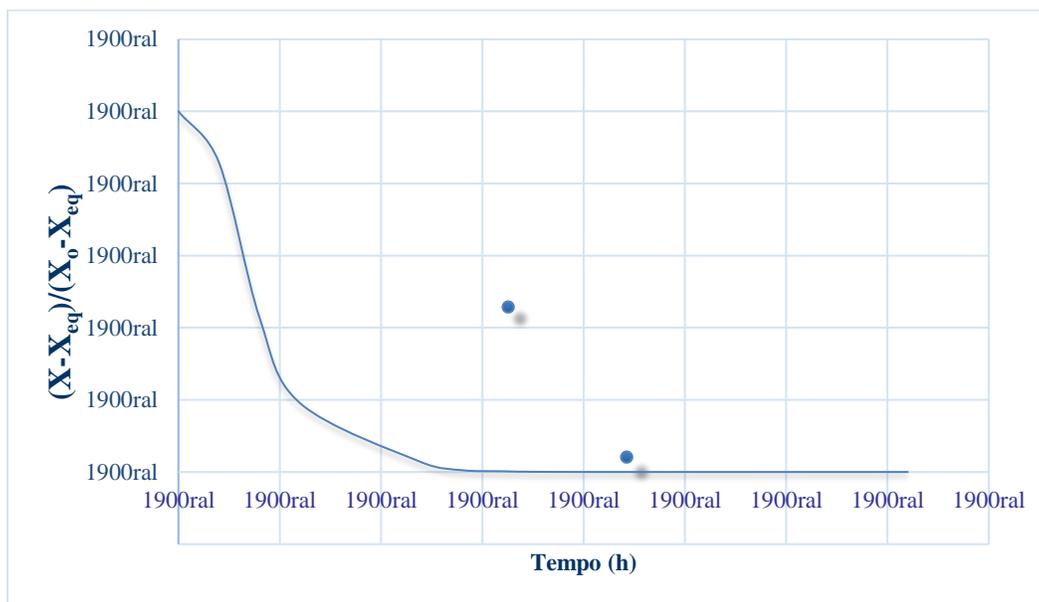


Gráfico 3: Razão do teor de humidade em função do tempo

Fonte: Autores

▪ **Secagem em forno de estufa**

Na tabela 6 são apresentados os resultados referentes à cinética de secagem com teores de humidade em base húmida e seca, utilizando de estufa. Foi adoptado o critério de paragem durante o processo para medição da massa do producto, onde no final do processo (24horas), obteve-se uma massa final de inhame de 2.071g.

Tabela 6: Parâmetros resultantes da secagem em forno de estufa

Tempo (min)	0	5	10	20	30	40	50	60	120	240
Massa	8	6.217	5.391	3.614	2.295	2.086	2.075	2.073	2.073	2.073
Massa da agua	5.929	4.146	3.32	1.543	0.224	0.015	0.004	0.002	0.002	0.002
Xbu	79.436	75.0121	72.246	63.5708	52.5653	50.1804	50.0482	50.0241	50.0241	50.0241
Xbs	2.86287	2.00193	1.60309	0.74505	0.10816	0.00724	0.00193	0.00097	0.00097	0.00097
MR	0.999999	0.699172	0.55981	0.259995	0.037454	0.002192	0.000336	-1.5E-06	-1.5E-06	-1.5E-06

Fonte: Autores

De acordo com os dados na tabela, o gráfico da humidade em base seca, será representado por uma função exponencial decrescente. O gráfico ilustra a relação da humidade em base seca em função do tempo.

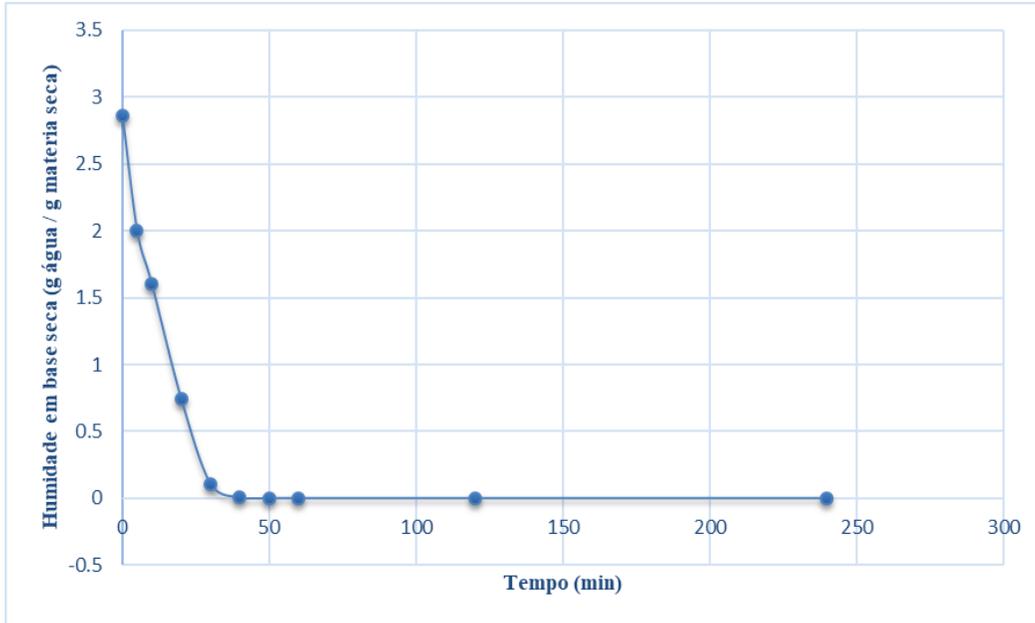


Gráfico 4: Umidade em base seca (secagem em forno de estufa) em função do tempo
Fonte: Autores

Esboçando o gráfico da razão do teor de umidade, obtém-se:

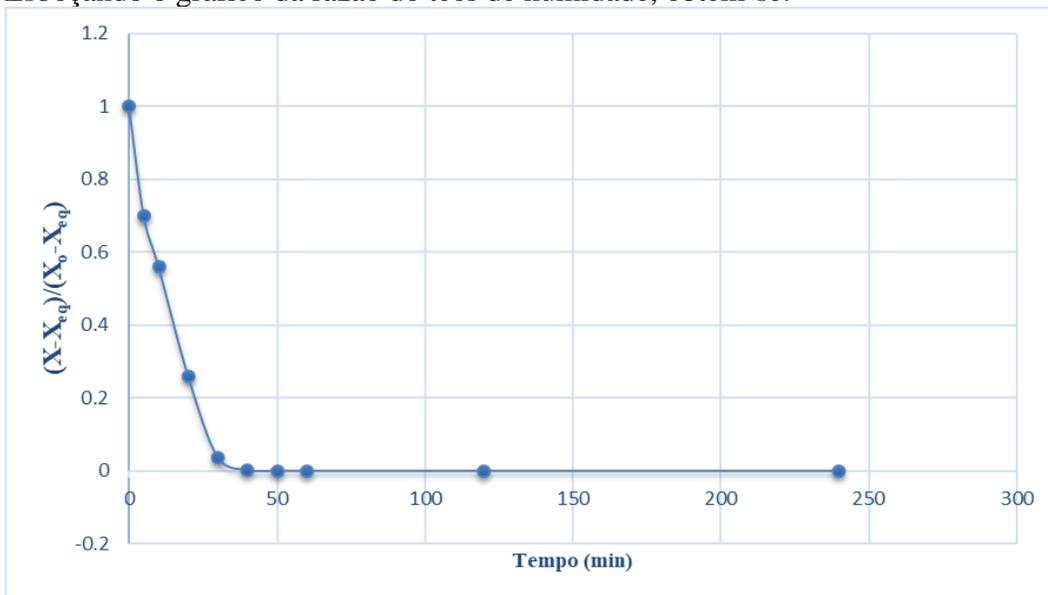


Gráfico 5: Razão do teor de umidade (secagem em forno de estufa) em função do tempo
Fonte: Autores

b. Eficiência mássica e custo do processo

Os processos de secagem, tiveram um gasto de tempo de 72 h (secagem solar direta) e 24 h min (secagem em estufa). A tabela abaixo apresenta os tempos de secagem, eficiência mássica e o custo de operação dos processos.

Tabela 7: Eficiência mássica e custo do processo

Tipo de processo	Tempo de secagem	Eficiência mássica	Custo (MZN)
Secagem solar direta	72h	0.999%	0
Secagem em forno de estufa	24h	100%	256.123

Fonte: Autores

4.2 Discussão dos resultados

De acordo com os resultados obtidos quanto a estabilidade dos nutrientes na secagem solar direta, as vitaminas C, B1, Acido fólico e Vitamina A, tornam-se instáveis quando submetidas a essa secagem tendo uma taxa de perdas que variam de 0-100 % enquanto que a, niacina e vitamina B6, apresentam-se estáveis. Os minerais presentes no inhame in natura apresentam-se estáveis quando submetidos a essa tecnologia. Devido ao seu princípio de funcionamento, a secagem solar direta permite conservar o inhame e obter farinha que é rica em niacina, vitamina B6 e minerais, pois devido ao seu princípio de funcionamento, essas vitaminas permanecem estáveis.

a. Cinética de secagem

A água total é composta por água livre e ligada onde por meio da água livre, podem-se desenvolver microrganismos que provocam alterações nos alimentos, na imensa maioria das vezes indesejáveis, levando à perda de sua qualidade. Também, a água livre presente na amostra, pode servir como meio para reações químicas e bioquímicas (também provocando alterações nos alimentos) desta, onde por sua vez no processo de secagem solar direta e secagem em forno de estufa, foi eliminada. Assim o produto obtido após processos não possuem meio de cultivo de microrganismos. De acordo com os dados das tabelas (5 e 6) e apresentados nos gráficos, é possível notar que a um dado instante, a massa da amostra começa se tornar constante, mostrando assim o instante no qual, as pressões de vapor na superfície do inhame e no ar são iguais.

Tabela 8: Massa e humidade de equilíbrio

Sistema de secagem	m_{eq}	X_{eq}
Solar Directa	2.077	0.0029
Forno de estufa	2.073	0.00097

Fonte: Autores

Do ponto de vista da secagem, um conhecimento de X_{eq} (humidade de equilíbrio) é essencial à medida que este parâmetro fornece informações acerca do teor mínimo que o produto pode atingir sob determinadas condições de temperatura e humidade relativa, determinando assim o termino do processo. Todavia, a maioria os modelos matemáticos utilizados à secagem emprega a diferença entre o teor de humidade num determinado tempo e o teor de humidade de equilíbrio como uma medida da força motriz para a transferência de massa (PRADO, 2004; SANTOS 2009) apud (ALVES, 2014).

b. Eficiência e custo do processo

Os resultados alcançados mostram que o processo de secagem solar apresentou uma eficiência mássica de 99.99%, na remoção da água no inhame enquanto que a secagem solar direta, apresentou 100%. Essas eficiências, foram alcançadas em tempos de operação diferentes, devido as condições de operação. Para todos os processos a relação existente entre o tempo de secagem e a massa é inversa, ou seja quanto maior for o peso do material a ser seco, maior será o tempo de secagem.

A secagem directa solar, depende directamente da massa e das condições ambientais (temperatura, humidade, velocidade do ar, incidência da radiação solar, precipitação, entre outros) presentes no local de secagem. Outrora a secagem em forno depende também da massa e da temperatura de operação. O custo para o processo de secagem em forno, varia de acordo com a potência do equipamento, tarifa aplicada e o tempo de operação.

Conforme os resultados obtidos, devido ao seu princípio de funcionamento, a secagem em forno, ela causa uma instabilidade nas vitaminas C, B1, B2, B6, A e ácido fólico que podem culminar em perdas que variam de 0 – 100%. Contrariamente a instabilidade, a secagem em forno, ela gera uma estabilidade na niacina e minerais. Essa tecnologia permite com que todos os minerais permaneçam estáveis podendo observar-se uma perda que oscila de 0-3%.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Depois dos estudos realizados pode-se elaborar as seguintes conclusões:

- A secagem solar direta é um método simples de conservação de alimentos pois não depende de equipamentos tecnológicos, mas sim depende de fatores ambientais, tais como temperatura, humidade, velocidade do ar, presença da luz solar, entre outros. Esses fatores influenciam diretamente no tempo de secagem. Não isenta disso, a espessura definida para o processo, também influencia no processo de secagem.
- Contrariamente da secagem solar direta, a secagem em forno de estufa, para a ocorrência da mesma, é necessário, equipamento tecnológico e energia. Os parâmetros como a temperatura de operação são definidos pelo operador, podendo deste modo prever o tempo de operação do processo.
- O inhame in natura do presente estudo, apresentou um conteúdo de água total na ordem de 79.436%, que representa a humidade total da amostra que pesava 8g inicialmente. No processo de secagem solar direta, alcançou uma humidade de equilíbrio de 0.0029, e no processo de secagem em forno de estufa, obteve 0.00097 (humidade de equilíbrio).
- Devido ao alto teor de humidade, é importante conservar devidamente o inhame, pois ele apresenta um grande meio para o desenvolvimento de microorganismos, que podem causar a deterioração do tubérculo e conseqüentemente elevadas perdas no armazenamento do mesmo. A conservação por secagem solar direta ela torna-se viável economicamente, contrariamente da secagem em forno de estufa, que é viável em termos de alcance da maior eficiência mássica em menor tempo.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALVES, Suêrda Bezerra. (2014). **Estudo teórico e experimental do processo de secagem do Abacate (*Persea americana* Mill.)**. Tese de Doutorado: Universidade Federal da Paraíba. Paraíba.

ANDRES, Christian; ADEOLUWA, Olugbenga; BHULLAR, G.S. (2017). **Yam (*Dioscorea spp.*)**. Encyclopedia of Applied Plant Sciences. 435–441.

AGUIRRE, J.M.; GASPARINO FILHO, J. (2002). **Desidratação de frutas e hortaliças: manual técnico**. Campinas: ITAL.

ARACKAL, Elsamma Joseph; PANDURANGAN, A.G. (2015). **Taxonomy and Conservation of the Genus *Dioscorea* in Western Ghats**. Journal of Root Crop. 3-16.

ARAYA-FARIAS, Monica, e RATTI, Cristina. (2009). **Dehydration of Foods: General Concepts**. in ADVANCES IN FOOD DEHYDRATION. Taylor & Francis Group, LLC. 1-32.

ASIYANBI-HAMMED, Tawakalit Tope. (2016). **Characteristics of yam composite flour: properties and function of bread and tortilla making**. Dissertation. Fargo: University of Agriculture and Applied Science.

BOLZAN, Rodrigo Cordeiro. (2013). **Bromatologia**. Editado por Colégio Agrícola de Frederico Westphalen (Universidade Federal de Santa Maria). Santa Maria.

DHUMNE, Lokesh R., BIPTE, Vipin H., e JIBHKATE, Y. M. (2015). **Solar dryers for drying agricultural products**. International Journal of Engineering Research-Online. 80-84.

DIAS, Leandro Gonçalves. (2013). **Estudo do Processo de Secagem em Estufa e por Microondas de Compósitos Cerâmicos de Argila e Resíduos de Esteatito**. Dissertação de Mestrado: UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL REI. São João Del Rei.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. (1986). **Food analysis: general techniques, additives, contaminants and composition.**” in **Manuals food quality control**. Roma.

GAUTO, Marcelo Antunes; ROSA, Gilber Ricardo. (2011). **Processos e Operações Unitárias da Indústria Química**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda.

GAVA, Allanir Jaime.(1984). **Princípios de tecnologia de alimentos**. 1a. São Paulo: Nobel.

JUNIOR, Robert L. Bradley. (2010). **Moisture and Total Solids Analysis**. in **FOOD ANALYSIS**. Springer. Nova Iorque.

LOURENÇO, Breno Raphael. (2014). **Estudo experimental da operação de secagem em secador elétrico tipo cabine**. Trabalho de Conclusão de Curso. Belo horizonte: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais.

MESSIAS, Sandra, et al. (2019). **Proteínas - Livro-jogo para o Ensino de Bioquímica**. 1ª edição. Cana 6 editora. Sao Paulo.

ODIOR, A. O.; Oyawale F. A. (2012). **Analysis of production capacity of a yam flour producing firm using a mathematical model**. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 820-824.

OMOHIMI, Celestina, et al. (2019). **Safety of Yam-Derived (Dioscorea rotundata) Foodstuffs—Chips, Flakes and Flour: Effect of Processing and Post-Processing Conditions**. Foods. 1-19.

POLYCARP, D.; et al. (2012). **Characterization of chemical composition and anti-nutritional factors in seven species within the Ghanaian yam (Dioscorea) germplasm**. International Food Research Journal. 985-992.

RAMÍREZ, José Efraín; GARCÍA, Yuniel Rodríguez. (2019). **Yam's Potentials as Basis of Nutritional Security Programs in Underdeveloped Tropical Regions**. Biomedical Journal of Scientific & Technical Research. 15149-15153.

SÁ, Andresa; et al. (2018). **Caracterização físico-química e nutricional de farinhas obtidas de inhame (Dioscorea spp.) e taro (Colocasia esculenta) comercializados em Petrolina- PE**. Revista Saúde (Santa Maria).1-9.

SEVERINO, António Joaquim. (2000). **Metodologia do trabalho científico**. 21 edição revista e ampliada, Brasil.

SOUZA, Silvio. (2015). **Estudo da atividade de água em co-produtos da indústria de sucos: sementes de maracujá, casca de laranja e cascas de manga**. Tese de doutoramento: Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho. São José do Rio Preto.

UAILA, Eulália. (2015). **Estudo fitoquímico e avaliação do valor nutricional do tubérculo inhame (dioscorea spp.)**. Dissertação de Mestrado: Universidade Eduardo Mondlane. Maputo.

VISAVALE, Ganesh. (2012). Principles. **Classification and Selection of Solar Dryers. in Solar drying: FUNDAMENTALS, APPLICATIONS AND INNOVATIONS**. Singapura. 1-50.

WILHEM, Luther R.; SUTER, Dwayne A.; BRUSEWITZ, Gerald H. (2014). **Chapter 10: Drying and Dehydration. in Food and Process Engineering Technology**. Michigan: American Society of Agricultural Engineers. 249-284.