



FACULDADE DE CIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

LICENCIATURA EM METEOROLOGIA

Trabalho de Licenciatura

**Avaliação do efeito da Humidade Relativa, Vento e a
Temperatura para a Secagem do Tomate, no Secador
Solar de Efeito Estufa**

Autora:

Rosymary de Josina Dionísio Magalhães



FACULDADE DE CIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

LICENCIATURA EM METEOROLOGIA

Trabalho de Licenciatura

**Avaliação do efeito da Humidade Relativa, Vento e a
Temperatura para a Secagem do Tomate, no Secador
Solar de Efeito Estufa**

Autora:

Rosymary de Josina Dionísio Magalhães

Supervisores:

Mestre Marcelino Macome

Doutora Doroteia Isaías

Maputo, Outubro de 2024

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pelo dom da vida, pela força e por ter me acompanhado nesta caminhada estudantil.

Aos meus supervisores Mestre Marcelino Macome e Doutora Doroteia Isaías, aos Doutores Célia Artur, Gilberto Mahumane, Amino Naran, e a Engenheira Isabel pelo acompanhamento e ajuda durante a realização deste trabalho, pela prontidão no encaminhamento, orientação e motivação.

Aos meus pais Dionísio João Magalhães, Josina Silvano Carmona, José Carmona, e Cecília Lemos Magalhães pelos ensinamentos, fortalecimentos e suportes financeiros em toda minha carreira estudantil.

Aos meus irmãos José Magalhães, João Magalhães, Awalina Magalhães, Nicole Magalhães, Dionísio Magalhães Júnior, Milagrosa Magalhães e primos, Filipe Candua, Graça Domingos, Pérola Diamantino e Adibela Mania.

Aos meus Companheiros e colegas, Hében Elias Cumbi, Rosita Marcos Mutimucuo, Glória Olívio Langa, Mariana Raposo, Eucrência Moniz, Eulalia Chiau, Cristina Mabunda, Cleonícia Bata, Cíntia Comé, Timóteo Carlos, Dércio Marime, Esveco, Chane Amadeu Pinto, pela amizade, união, por vivenciarem os meus momentos dolorosos, e encorajarem-me a prosseguir com a minha formação.

Aos docentes do Departamento de Física por terem contribuído muito para minha formação profissional e pelos conselhos sábios que me orientaram ao longo do curso.

Ao Instituto de Investigação Agrária de Moçambique (IAAM), por permitir a realização da experiência e recolha de dados.

Todos que directa ou indirectamente influenciaram para minha carreira académica, vai o meu muito obrigado.

DECLARAÇÃO SOB COMPROMISSO DE HONRA

Declaro pela minha honra que o Trabalho de Licenciatura apresentado é de minha total responsabilidade e autoria, resulta do meu empenho e supervisão dos tutores, tendo usado para o efeito obras que se encontram devidamente citadas ao longo do trabalho e como também nas referências bibliográficas, os resultados aqui apresentados são originais e nunca foram apresentados para obtenção de qualquer grau académico.

Maputo, Outubro de 2024

A autora

.....

(Rosymary de Josina Dionísio Magalhães)

RESUMO

Em Moçambique, anualmente, registam-se perdas pós-colheita de grandes quantidades de alimentos. Dentre esses alimentos, o tomate destaca-se pela sua ampla utilização na culinária e pela sua rápida deterioração. Neste sentido, a secagem de alimentos é um processo essencial para a conservação e armazenamento prolongado de diferentes produtos agrícolas, incluindo o tomate. A secagem é considerada eficiente quando proporciona uma rápida remoção da umidade, minimizando o tempo de exposição ao ambiente e reduzindo o risco de contaminação microbiana e deterioração. A escolha do método experimental permite uma análise controlada e precisa das variáveis envolvidas, como a humidade relativa, a temperatura e a velocidade do vento, para entender melhor seu efeito na secagem do tomate. Assim, esta pesquisa visou estudar o efeito da humidade relativa, temperatura e vento na secagem do tomate no secador solar, com vista a melhor utilização do secador solar de efeito estufa. Para alcançar os objectivos, foram necessários dados das temperaturas de bulbo húmido e seco, com vista a determinar a humidade relativa. Além disso, através do anemómetro, foram registados valores da velocidade do vento fora da estufa, em intervalos de 10 minutos, a fim de verificar a influência dos mesmos na secagem do tomate. A pesquisa baseou-se essencialmente no método experimental, que permite uma avaliação directa e quantitativa das condições de secagem. Os resultados mostram que a combinação de temperaturas acima de 45°C, velocidade moderada do vento acima de 1.4 m/s e baixa humidade relativa nos de 30% dentro do secador solar de efeito estufa favoreceu a secagem do tomate no secador solar de efeito estufa.

Palavras-chave: Secagem, temperatura, tomate, vento e humidade.

Abstract

In Mozambique, significant post-harvest losses of food occur annually, with tomatoes being one of the most affected products due to their widespread use in cuisine and rapid deterioration. Food drying is a fundamental process for the preservation and prolonged storage of agricultural products, including tomatoes. This method is considered efficient when it allows for the rapid removal of moisture, minimizing exposure to the environment and reducing the risk of microbial contamination. This research aimed to study the effects of relative humidity, temperature, and wind on the drying of tomatoes in a solar dryer. To achieve this, data on wet and dry bulb temperatures were collected to determine the relative humidity, and wind speed was measured with an anemometer at 10-minute intervals outside the greenhouse to understand its influence on drying. The results indicate that a combination of temperatures above 45°C, moderate wind speeds above 1.4 m/s, and a low relative humidity of 30% inside the solar dryer favored the drying of tomatoes.

Keywords: Drying, temperature, tomato, wind, humidity.

Índice

AGRADECIMENTOS	i
DECLARAÇÃO SOB COMPROMISSO DE HONRA.....	ii
RESUMO.....	iii
LISTA DE ABREVIATURAS	vii
LISTA DE SÍMBOLOS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS	xi
CAPITULO I- INTRODUÇÃO.....	1
1. Introdução.....	1
1.1.1. Motivação	2
1.2. Justificação.....	3
1.3. Objectivos.....	3
1.3.1. Objectivo Geral.....	3
1.3.2. Objectivos específicos	3
1.4. Hipóteses	4
1.5. Estrutura do relatório.....	4
CAPITULO II- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1.Processamento de alimentos através do processo de secagem.....	5
2.1.1. Tomate	5
2.2. Secagem e Secadores	10
2.3. Princípios Gerais da Secagem	10
2.3.1. Cinética de secagem	13
2.4. Caracterização de Secador Solar	15
2.4.1. Tipos de secadores solares.....	15
2.5. Factores que influenciam a secagem.....	17

2.5.1. Temperatura do ar.....	18
2.5.2. Humidade relativa do ar	18
2.5.3. Velocidade do vento	22
2.6. Produção de tomate em Moçambique e sua importância na secagem	23
CAPITULO III- METODOLOGIA	24
3. Materiais e Métodos	24
3.1. Localização geográfica de Boane.....	24
3.1.1. Clima e Hidrografia de Boane	25
3.2. Descrição geral do Secador	25
3.3. Dados.....	26
3.3.1. Matéria-prima	26
3.4. Material Usado	27
3.5. Métodos usados	29
CAPITULO IV.....	31
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
4.1. Variação da Temperatura e Humidade relativa no secador de estufa solar	31
4.1.1. Primeira Amostragem do tomate	31
4.1.2. Segunda Amostragem do tomate.....	34
4.1.3. Análise da velocidade do vento fora da estufa	39
CAPITULO V- CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	42
5. Conclusões e Recomendações	42
5.1. Recomendações	43
5.2. Limitações	44
6. Referências Bibliográficas	45
ANEXOS	48

LISTA DE ABREVIATURAS

BI- Business Intelligence

DC-Corrente Contínua

FAO- Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*)

IAAM-Instituto de investigação Agrária de Moçambique

INAM- Instituto Nacional de Meteorologia

SSEE- Secador Solar de Efeito Estufa

LISTA DE SÍMBOLOS

$^{\circ}\text{C}$ - Graus Celsius

e_a - Pressão parcial do vapor d'água

e_s - Pressão parcial do vapor d'água saturado

H_R - Humidade relativa

M_a – Massa molar da água

M_{ar} – Massa molar do ar seco

N_a - Densidade da água

N_{ar} -Densidade do ar seco

p_{ar} - Pressão do vapor d'água no ar de secagem

P_{atm} - Pressão atmosférica

p_g - Pressão de vapor sobre a superfície do produto

T - Temperatura do bulbo seco

T_h -Temperatura de bulbo húmido

T_s -Temperatura de bulbo seco

U -Energia potencial associada a partícula no sistema

U' - Energia potencial normalizada pela densidade

W_p - Watt-pico

γ -Constante psicométrica

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:Tomateiro e as formas diferentes de frutos.(Fonte: et al., 2006).....	7
Figura 2: Imagem fotográfica do tomate Sweet Grape. (Fonte: EMBRAPA, 2023).....	8
Figura 3: Imagem fotográfica do tomate Italiano. (Fonte: TRENTO et al., 2021).....	9
Figura 4: Imagem fotográfica do tomate salada. (Fonte:EMBRAPA, 2023).	9
Figura 5: Representação dos tipos de radiação obtidos a partir da radiação solar (Fonte: Souza et al., 2018)	11
Figura 6: Curva característica da secagem: conteúdo de água e temperatura do produto ao longo do processo de secagem. (Fonte: Adaptado de Park et al., 2007).....	13
Figura 7: Variação do Conteúdo de água no produto em função do tempo na influência da temperatura e da velocidade do ar no processo de secagem. (Fonte: Vega-Gálvez et al.,2012).	14
Figura 8:Tipos de secadores solares.(Fonte: Adaptado de: Ekechukwu & Norton, 1999).....	16
Figura 9: Comportamento da temperatura e da humidade relativa do ar no interior do secador ao longo do tempo.Fonte:(Adaptado (Bezerra, 2007))	20
Figura 10: Imagem fotográfica do psicrómetro usado durante a experiência de secagem de frutas e vegetais, no secador instalado no IIAM.(Fonte: Autor).....	21
Figura 11:Localização do distrito de Boane. Fonte: (MAE, 2005).....	24
Figura 12: Imagem do secador solar de efeito estufa. Fonte: Autor.....	26
Figura 13: Amostra do tomate fresco usado na secagem.(Fonte-Autor).	27
Figura 14: Imagens de parte de processo de secagem do tomate no SSEE ,(a) é a ilustração da medição da espessura da rodela do tomate com o auxílio do paquímetro; (b) ilustração do tomate nas prateleiras; (c)Prateleiras com alturas diferentes no SSEE.Fonte: Autor).....	29
Figura 15: Imagem fotográfica do anemómetro usado para registo da velocidade do vento (a) e o psicrómetro usado na colecta de dados para a determinação da humidade relativa (b).(Fonte: Autor).....	30
Figura 16: Gráfico da variação da temperatura em função do tempo na secagem do tomate da primeira amostra.	33
Figura 17: a) Tomate fresco, com espessura de 1,1mm depois de colocado na prateleira, (b) tomate semi-desidratados no segundo dia, (c) tomate completamente desidratado, pronto para sua conservação.	33

Figura 18: Acima apresentam-se gráficos da variação da temperatura em função do tempo, na secagem do tomate da segunda amostra.	35
Figura 19: Imagens do tomate, a) depois de colocado na prateleira, fatias de 0,5 mm de espessura, (b) tomates semi-desidratados , (c) tomate depois de finalizado o processo de secagem no secador solar , dias 14, 15, e 17 respectivamente.....	36
Figura 20:Gráfico da variação da temperatura e da humidade relativa em função do tempo na secagem do tomate da terceira amostra	38
Figura 21:a) Tomate fresco depois de colocado na prateleira (b) tomates semi-desidratados no segundo dia, (c)tomate depois de finalizado o processo de secagem no secador solar	39
Figura 22: O gráfico mostra a relação da velocidade e a humidade relativa em função do tempo, para o terceiro dia da primeira amostra.....	39
Figura 23: Relação entre a velocidade e a humidade relativa em função do tempo, para o segundo dia da segunda amostra.....	40
Figura 24: Relação da velocidade do vento e a humidade relativa em função do tempo, para o primeiro dia, da terceira amostra.	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Materiais usados no processo de secagem.	27
---	----

CAPITULO I- INTRODUÇÃO

1. Introdução

Em Moçambique, estima-se que cerca de 67.5 mil crianças menores de 5 anos estão mal nutridas, das quais, 61 mil com desnutrição aguda moderada e 6.5 mil com desnutrição aguda grave (Guina & Jorge, 2021). Este facto é consequência de baixos índices de produção de alimentos, mas também de perdas pós-colheita de grandes quantidades de alimentos anualmente. As maiores perdas registam-se nas raízes, tubérculos e oleaginosas, seguidas das frutas e vegetais (FAO, 2020).

Se o modelo actual permanecer, a quantidade de perdas dos alimentos crescerá dos atuais 1,3 bilhões de toneladas por ano, para 2,1 bilhões de toneladas em 2030, em Moçambique (Hegnsholt & Shalini, 2018). Somente uma transformação do sistema alimentar global garantirá que o mundo não fique pior no futuro. As próximas três décadas, precisar-se-á de um aumento de 30 a 70 por cento da disponibilidade de alimentos para atender à demanda por alimentos, para uma população cada vez maior e urbanizada (Hoogeveen, 2020). A secagem de alimentos é um processo essencial para a conservação e armazenamento prolongado de diferentes produtos agrícolas. Dentre esses alimentos, o tomate destaca-se por sua ampla utilização na culinária e pela sua rápida deterioração (Bezerra, 2007).

A presença do meteorologista no processo de secagem de alimentos, como o tomate, utilizando o SSEE, é de fundamental importância para garantir a eficácia e a eficiência deste processo. Ter um meteorologista é crucial para interpretar dados meteorológicos e prever variações de condições ambientais, como temperatura, humidade relativa e velocidade do vento, que impactam directamente a taxa de secagem e a qualidade do produto final (Oliveira, 2020). Com o conhecimento sobre a previsão do tempo e análise de padrões climáticos, o meteorologista pode determinar os melhores períodos para a secagem, ajustando o processo de acordo com as condições ambientais para maximizar a eficiência energética e minimizar as perdas de qualidade do produto.

A relevância científica deste estudo reside na aplicação prática de conhecimentos meteorológicos para a optimização de processos agrícolas sustentáveis. O uso de dados meteorológicos para prever as condições ideais de secagem, considerando a interacção entre

factores ambientais e a dinâmica do processo de secagem, contribui para a minimização das perdas pós-colheita.

Neste estudo, o processo de secagem do tomate será realizado utilizando o Secador Solar de Efeito Estufa (SSEE), um sistema sustentável que aproveita a energia solar para promover a desidratação dos alimentos. O SSEE consiste em uma câmara de secagem coberta por um material transparente, que permite a entrada de radiação solar, aumentando a temperatura interna e promovendo a evaporação da água contida nos frutos (MARTINS, PORTO, & PINTO, 2004). Durante o processo, as variáveis meteorológicas temperatura, humidade relativa e velocidade do vento serão monitoradas para identificar as condições ideais que permitem uma secagem, preservando as qualidades nutricionais e sensoriais do tomate.

A temperatura do ar é um factor determinante para a taxa de evaporação da água. Um aumento controlado da temperatura do ar melhora a capacidade do ar de absorver vapor de água, acelerando o processo de secagem. Entretanto, temperaturas excessivamente altas podem causar a degradação de componentes essenciais dos frutos (Oliveira, 2020). A humidade relativa do ar influencia directamente a capacidade de absorção de água do ar, uma humidade relativa mais baixa acelera o processo de secagem. O vento, por sua vez, facilita a remoção do vapor de água da superfície dos frutos, promovendo uma secagem mais homogénea e evitando a formação de microorganismos indesejáveis.

1.1.1. Motivação

Em Moçambique, a produção de hortícolas, especialmente o tomate, enfrenta desafios significativos, resultando em baixos níveis de produtividade. Essa situação se agrava durante os meses de verão, particularmente em dezembro, quando a demanda por tomate aumenta devido às festividades natalinas, levando a uma escassez no mercado (Barbosa & George, 2018). A produção de tomate é sazonal, com picos durante o clima mais ameno da estação fria, o que a torna um produto de época, alternando entre períodos de abundância e escassez. Além disso, a conservação do tomate requer dispositivos que mantenham temperaturas baixas adequadas, o que acarreta custos elevados, além das despesas relacionadas ao transporte e armazenamento. Nesse contexto, a adoção de Sistemas de Armazenamento e Empacotamento Eficiente (SSEE) se mostra fundamental, pois representa uma prática sustentável. Introduzir o uso do tomate seco na culinária moçambicana é uma abordagem inovadora que permitirá

aproveitar melhor esse produto, ampliando suas aplicações e beneficiando a gastronomia local.

1.2. Justificação

A secagem de alimentos com a finalidade de preservá-lo contra a sua deterioração é um processo primitivo. Que conhece prática ao céu aberto ou em celeiros onde por meio de chama branda os produtos eram postos a secar. Hoje existem secadores que usam como fonte de energia a electricidade, de fácil controle do processo de secagem, porém a capacidade de secagem é menor além do consumo de energia eléctrica (Tavares & Aguilar, 2020).

Em Moçambique a conservação e armazenamento de produtos agrícolas é feito a partir de técnicas tradicionais e modernas, incluindo o uso de silos metálicos, camaras frigorificas, e secagem solar. (FAO, 2020). Alem disso, nos meses de Fevereiro, Março, Abril e Maio tem-se registado, no país, um grande défice da cultura de tomate.(Guina J. F., 2021)

Um dos objectivos do desenvolvimento sustentável, no que concerne a segurança alimentar, é de erradicar a fome e melhorar a nutrição. Portanto, tendo em conta os pontos acima mencionados, este estudo procura contribuir para a redução das perdas pós-colheita, através da análise da temperatura, humidade relativa e velocidade do vento.

1.3. Objectivos

1.3.1. Objectivo Geral

- ✓ Avaliar o efeito da Humidade relativa, Temperatura e Velocidade do Vento na secagem do Tomate, no secador solar de efeito estufa, com vista a melhorar sua utilização.

1.3.2. Objectivos específicos

- ✓ Determinar a humidade relativa, com fim de avaliar a sua influência na secagem do tomate;
- ✓ Registar a velocidade do vento fora do secador.

1.4. Hipóteses

- ✓ Quando o céu está limpo, as temperaturas se elevam rapidamente, no secador, e isso faz com que o tomate seque mais rápido;
- ✓ Quando se tem muita humidade relativa fora do secador solar de efeito estufa, o tomate leva mais tempo para secar.

1.5. Estrutura do relatório

O presente relatório está subdividido em cinco (5) capítulos, assim organizados: (I) Introdução, (II) Revisão Bibliográfica, (III) Metodologia, (IV) Resultados e Discussão e (V) Conclusões e Recomendações.

CAPITULO II- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1.Processamento de alimentos através do processo de secagem

A remoção de água é o objectivo primordial das operações de secagem de produtos alimentares o que confere maior tempo de preservação, baixo custo de embalagem e redução do custo de transporte. A execução desse processo geralmente envolve aplicação de calor, que pode ser realizada pela passagem forçada de ar aquecido (convecção) através do produto; condução indirecta do calor por meio de uma superfície de metal; aplicação de pressões negativas (vácuo); utilização de radiação infravermelha e energia de micro-ondas (Nascimento, 2014).

Durante a secagem ocorrem simultaneamente os processos de transferência de calor e massa, de forma que o calor é transferido para a amostra ocasionando redução do seu teor de água na medida em que aquece. O ponto de equilíbrio é alcançado quando a temperatura da amostra não apresenta alterações significativas, encerrando a transferência de calor. A transferência de massa, por sua vez, ocorre devido à pressão de vapor da amostra ser maior que a do ar, assim o teor de água da amostra é transferido para o seu entorno até ser alcançada a condição de equilíbrio entre as pressões de vapor dentro e fora da amostra.

Em diversas partes do mundo e particularmente em Moçambique regista-se deterioração de produtos alimentares em épocas de produção, resultante de maior oferta. Em contra partida, fora das épocas de produção de certos produtos, assiste-se uma fraca oferta dos mesmos produtos deteriorados. A secagem constitui um mecanismo de preservação dos alimentos que pode garantir o abastecimento mesmo em épocas de fraca produção. Dentre vários produtos alimentares com alto índice de deterioração pode se destacar o tomate que é um produto que merece atenção na presente pesquisa, cuja descrição a seguir se apresenta.

2.1.1. Tomate

O Tomate é um fruto do tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill.), uma planta herbácea anual da família das solanáceas, normalmente implantada em áreas novas ou em locais onde se procede à rotação de cultivo com outras espécies (Fontes et al., 2004). O tomate é um fruto com segmentos internos carnudos repletos de sementes envoltas por uma matriz aquosa. O

peso unitário médio do fruto varia de menos de 25 g (cultivares tipo cereja) até mais de 300 g em cultivares de frutos grandes, tipo salada (Pereira et al., 2006).

O tomate pode ser de cores rosada, amarela e laranja, embora o mais comum seja a coloração vermelha, devido ao alto teor de licopeno. Este carotenoide, devido a sua estrutura química figura como um dos melhores supressores biológicos de radicais livres, especialmente aqueles derivados do oxigénio (Monteiro et al., 2008).

A cultura do tomateiro é normalmente implantada em áreas novas ou em locais onde procedeu-se à rotação de cultivo com outras espécies. Entretanto, quando o plantio é feito em ambiente protegido, sob estrutura fixa, tanto a rotação quanto a mudança da área de cultivo são dificultados. O acúmulo de sais, presença de peptógenos de solo de substâncias alelopáticas passam a ser factores limitantes para o cultivo económico do tomateiro (Fontes et al., 2004).

O consumo dos frutos contribui para uma dieta saudável e bem equilibrada. Estes são ricos em minerais, vitaminas, aminoácidos essenciais, açúcares e fibras dietéticas. O tomate contém grandes quantidades de vitaminas B e C, ferro e fósforo. Consomem-se os frutos do tomate frescos, em saladas, ou cozidos, em molhos, sopas e carnes ou pratos de peixe. Podem ser processados em cozidos, sumos e molho de tomate. Mas também consumidos os frutos enlatados ou secos e constituem produtos processados de importância económica (Naika et al., 2006). O tomateiro é uma planta anual, que pode atingir uma altura de mais de dois metros.

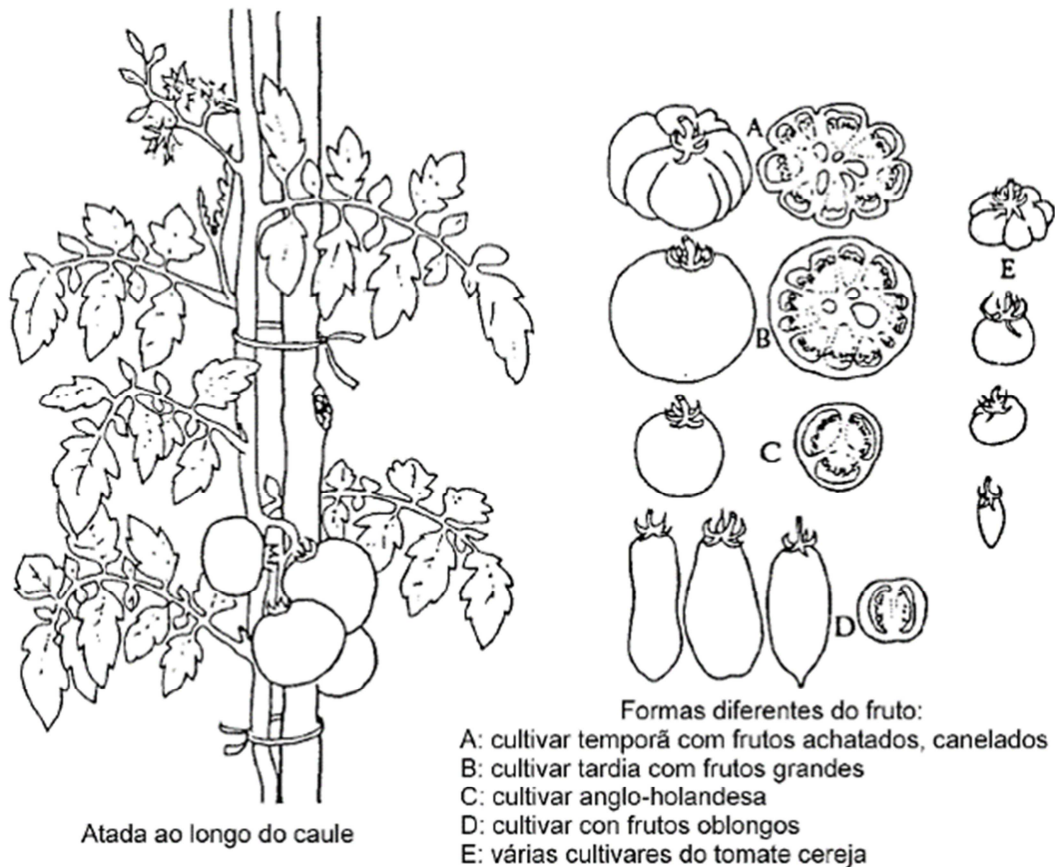


Figura 1:Tomateiro e as formas diferentes de frutos.(Fonte: et al., 2006).

Tipos de Tomateiro

Segundo (Naika et al., 2006), pode-se distinguir entre dois tipos de tomateiro:

- O tipo alto ou tipo indeterminado;
- O tipo arbusto ou o tipo determinado

Estes dois tipos (alto e arbusto) constituem dois tipos de culturas completamente diferentes. Contudo, existem também variedades de tomateiro de Porte semi-determinado.

As variedades altas (indeterminadas) são mais apropriadas para culturas com um período de colheita prolongado. Continuam a desenvolver-se após a florescência. Esta característica denomina-se “indeterminada”. Embora, sob condições tropicais, o desenvolvimento possa parar devido a doenças e ataques de insectos, as plantas têm, geralmente, uma folhagem mais abundante.

Os tipos baixos suportam-se, geralmente, por si mesmos e não precisam de serem empados. Sob condições climáticas severas, como sejam tufões, pode ser recomendável empar as plantas. Os tipos determinados param o seu desenvolvimento depois da florescência. Como as

suas necessidades de mão-de-obra são mais reduzidas, o seu uso é comum nos cultivos comerciais. Têm uma frutificação relativamente concentrada dentro de, apenas, duas ou três semanas e os seus frutos amadurecem com muito maior rapidez do que os dos tipos indeterminados (Naika et al., 2006).

2.1.1.1. Tipos de Tomates

A grande variabilidade existente no género *Lycopersicon* tem possibilitado o desenvolvimento de cultivares para entender as mais diversas demandas do mercado de tomate para processamento e consumo *in natura* (Giordano; Ribeiro, 2000).

Dentre os vários tipo de tomates, o tomate Sweet Grape possui pencas de 12 a 18 cachos, tomate Italiano e tomate salada.

O **tomate Sweet Grape**, Apresenta um formato periforme e elevados teores de sólidos solúveis. Por causa de seus componentes, apresenta-se com um sabor adocicado. O peso varia entre 15 e 40 gramas. O tempo de prateleira varia de acordo com a cultivar escolhida e as condições a que o fruto é submetido no pós-colheita. O tomate Sweet Grape pode ter um período de secagem de catorze (14) horas e é utilizado para diversas finalidades culinárias, incluindo decoração de pratos (EMBRAPA, 2023). Na figura 2, está apresentada a imagem de tomate sweet grape.



Figura 2: Imagem fotográfica do tomate Sweet Grape. (Fonte: EMBRAPA, 2023).

O **tomate Italiano** possui frutos compridos, de cor intensa, polpa firme e muito sabor. O peso varia de 95 g a 250 g. Destaque para a cultivar Sheena, que pode chegar a mais de 200 g por unidade. O tomate Italiano é ideal para fazer extratos devido a menor quantidade de água e acidez. O tempo de prateleira é de até 10 dias e tem o tempo de secagem de 9 horas e 25

minutos, podendo ser maior se os frutos forem colhidos no estágio verde-maduro (TRENTO et al., 2021). A baixo a figura 3 que representa o tomate italiano.



Figura 3: Imagem fotográfica do tomate Italiano. (Fonte: TRENTO et al., 2021).

O **tomate Salada** possui variedade de frutos redondos, de formato globular achatado. Suas características principais são: polpa grossa, elevada acidez e alta quantidade de água (EMBRAPA, 2023). O tempo de prateleira e a resistência ao transporte podem ser maiores ou menores, de acordo com a escolha de variedades adaptadas. A variedade também é conhecida por sua variabilidade culinária, sendo utilizada em molhos, sopas e pratos cozidos. O cultivo do tomate salada requer atenção especial as condições climáticas e praticas de manejo, para garantir a qualidade e a produtividade dos frutos. A baixo a figura 4 que contem a imagem do tomate salada *in natura*.



Figura 4: Imagem fotográfica do tomate salada. (Fonte:EMBRAPA, 2023).

2.2. Secagem e Secadores

A **secagem** é uma das etapas do pré-processamento dos produtos agrícolas que tem por finalidade retirar parte de água nela contida, para reduzir o risco de deterioração. É definida, fisicamente como um processo simultâneo de transferência de calor e massa (humidade) entre o produto e o ar de secagem. A remoção da humidade deve ser feita em um nível tal que o produto fique em equilíbrio com o ar do ambiente onde será armazenado e deve ser feita de modo a preservar a aparência, as qualidades nutritivas e, no caso de grãos, a viabilidade como semente (Sousa, Afonso, & Donzelles, 2001).

A importância da secagem de produtos agrícolas aumenta à medida que cresce a produção, devido às seguintes vantagens:

- Permite antecipar a colheita, disponibilizando a área para novos cultivos;
- Minimiza a perda do produto no campo;
- Permite armazenagem por períodos mais longos, sem o perigo de deterioração do produto;
- O poder germinativo é mantido por longos períodos, e
- Impede o desenvolvimento de microrganismos e insectos.

2.3. Princípios Gerais da Secagem

Segundo Rocha et al. (2011), a temperatura e a velocidade do ar de secagem afectam a qualidade e quantidade dos constituintes activos que se encontram nos alimentos. De modo geral a secagem é afectada pelos seguintes factores:

a) Radiação Solar

A radiação solar é a fonte de energia necessária para o desencadeamento do processo de secagem. A intensidade da radiação solar nos materiais varia consoante as estações do ano, a hora do dia, a duração da exposição solar, a temperatura do ar ambiente e a velocidade do vento, que são um conjunto de factores importantes neste processo (Pardhi & Bhagoria, 2013).

O sol é considerado uma fonte de energia renovável e a sua aplicação, como fonte de luz ou de calor, é uma das alternativas energéticas mais promissoras para o ser humano. A energia

solar é abundante, e uma fonte limpa, renovável e praticamente inesgotável, permanente e sustentável, não prejudicando os diferentes ecossistemas do planeta (Pires et al., 2015).

Ao nível do solo, a radiação total emitida pelo sol subdivide-se em três componentes, nomeadamente:

- **Radiação directa:** pertence à fracção de energia que provém directamente do sol;
- **Radiação difusa:** desviada pelos componentes da atmosfera tais como nuvens, poeiras ou outros obstáculos presentes na atmosfera;
- **Radiação reflectida:** resulta da reflexão dos objectos circundantes como edifícios, solo, vegetação e a água, entre outros (Morais, 2009).

Na Figura 5 está ilustrada a forma como são originados os três componentes de radiação solar apresentadas anteriormente, assim como os restantes elementos que constituem a radiação solar (Souza et al., 2018)

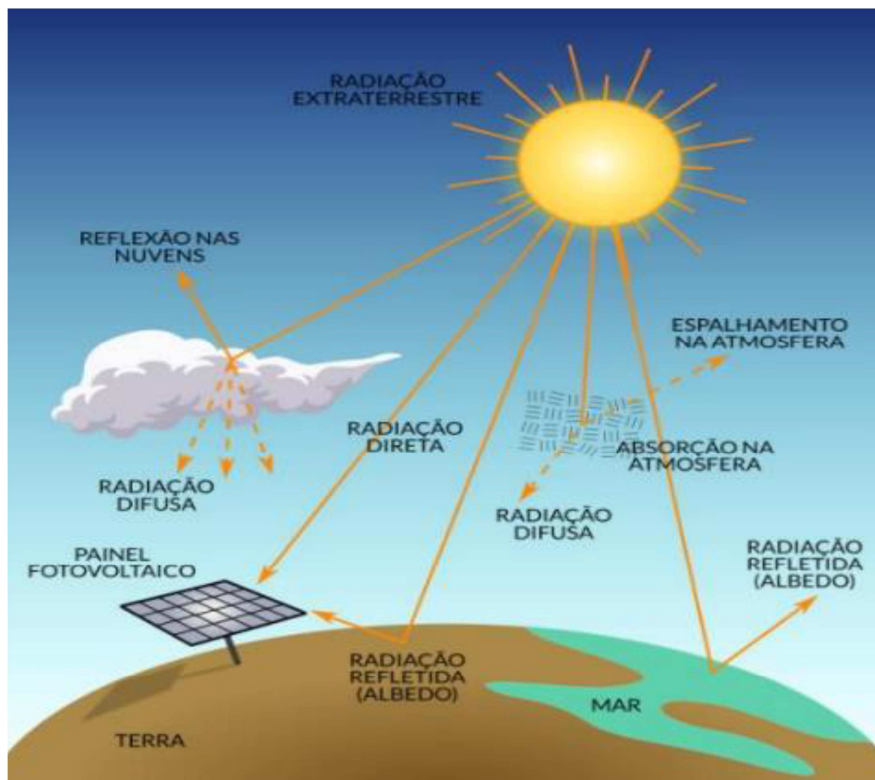


Figura 5: Representação dos tipos de radiação obtidos a partir da radiação solar (Fonte: Souza et al., 2018)

Esta fonte energética é empregue como um recurso que possui diferentes finalidades, dividindo-se em dois grandes grupos, em energia solar fotovoltaica e energia solar térmica. A energia fotovoltaica resulta da conversão da radiação solar em electricidade através de células fotovoltaicas (Reis, 2019), e a energia solar térmica consiste na transformação da radiação solar em energia térmica. Um dos equipamentos que permite efectuar esta conversão de energia é o secador solar, que faz a desidratação de produtos usando a energia térmica proveniente do sol para que assim possa ser removida a água presente nos alimentos com a ajuda da convecção do ar.

Além da radiação solar, é importante trazer o conceito do efeito estufa, esse fenómeno é responsável por manter a Terra em uma temperatura adequada, garantido o calor necessário para a manutenção da estabilidade do clima e dos ecossistemas terrestres.

b) O feito estufa

O **efeito estufa** é um fenómeno que consiste na absorção da radiação térmica pelos materiais e posterior reemissão de volta para a superfície que emitiu aquela radiação. Na atmosfera é ocasionado pela absorção da radiação terrestre pelos gases constituintes, os quais formam uma camada que permite a passagem da radiação solar e a reemissão de volta à superfície da terra. Na secagem de produtos agrícolas nos secadores solares existe uma estrutura ou equipamento, onde a radiação solar é transmitida através das paredes do secador, que são transparentes à radiação solar incidente e quase opacas à radiação térmica (IR), emitida no seu interior, o que faz elevar a temperatura no interior do secador à valores muito acima do ambiente exterior do secador. O produto colocado no secador fica exposto tanto a energia solar como a emitida pelo secador no seu interior. O ar existente no interior do secador é aquecido por efeito estufa e a circulação do ar pode ser feita por convecção natural ou por circulação forçada (Ferreira & Candeias, 2005).

O SSEE é orientado no sentido onde possa haver melhor aproveitamento do regime de ventos, pois isso favorece o fluxo de ar interno. O ar sempre renovado internamente impede que a humidade do ar alcance níveis indesejáveis dentro da estufa. Humidade interna fora de controle representa risco de contaminação do produto em secagem. O tecto transparente permite a entrada da radiação. Ao encontrar obstáculo, parte das ondas curtas é absorvida e em seguida libertada, na forma de calor, em ondas longas que ficam retidas no interior do

secador. Esse acúmulo de radiação gera aumento de temperatura e acelera processo de secagem do produto húmido (Santos, 2022).

2.3.1. Cinética de secagem

A cinética de secagem estuda o comportamento do teor de água no produto em função do tempo de secagem, e pode ser melhor compreendida quando dividida em três etapas distintas, conforme representado no gráfico da Fig. 6.

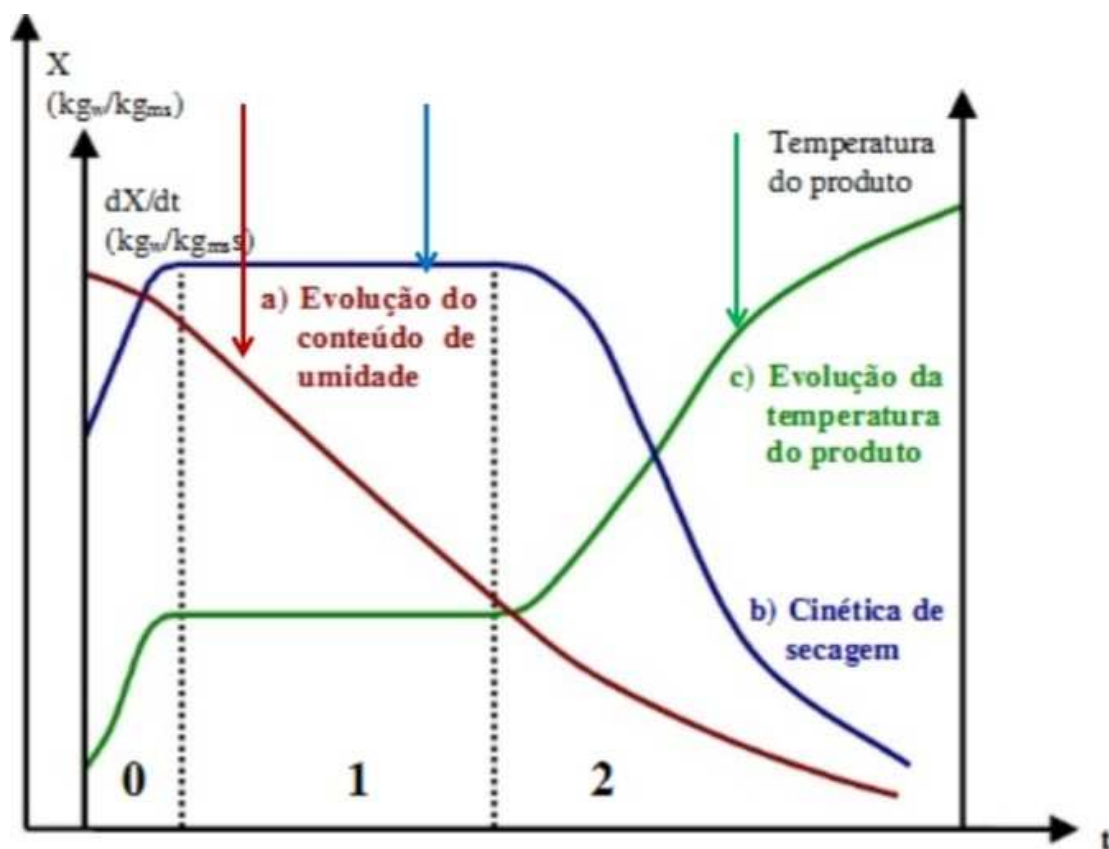


Figura 6: Curva característica da secagem: conteúdo de água e temperatura do produto ao longo do processo de secagem. (Fonte: Adaptado de Park et al., 2007).

A primeira etapa consiste nos instantes iniciais de secagem, quando o secador entra em operação: o produto está numa temperatura menor que o ar de secagem e a pressão de vapor d'água na superfície do produto é instável, de forma que a transferência de massa e a velocidade de secagem não são bem definidas (Park et al., 2007).

O segundo período é denominado de período de velocidade constante, e como o próprio nome diz, a água evapora como água livre, sendo a pressão de vapor de água na superfície do produto igual a pressão de vapor de água pura. A temperatura do produto é constante e seu valor corresponde à temperatura do bulbo húmido. Este período ocorre enquanto houver migração de água do interior do produto para a superfície, suprimindo as perdas por evaporação. No momento em que a água se torna escassa na superfície do produto, é sinal que a migração da água do interior do produto para a zona periférica já não ocorre simplesmente como água livre, caracterizando o terceiro e último período, denominado de período de velocidade decrescente, a evaporação da água diminui, assim como a velocidade de secagem.

A secagem dos produtos alimentícios sob diferentes valores de temperatura e velocidade do ar provoca alterações significativas nas taxas de aumento da água dos produtos, na sua capacidade de retenção de água, na cor, sabor, forma, etc., principalmente para valores elevados de temperatura e longos períodos de exposição do produto a secagem.

Segundo Vega-Gálvez et al. (2012) citado por Thomazini, (2015), o aumento da temperatura do ar de secagem é acompanhado pela diminuição do tempo de secagem, pois quanto mais alta a temperatura, mais rápida será a evaporação da água dos produtos, assim como está mostrado no gráfico da Fig. 7.

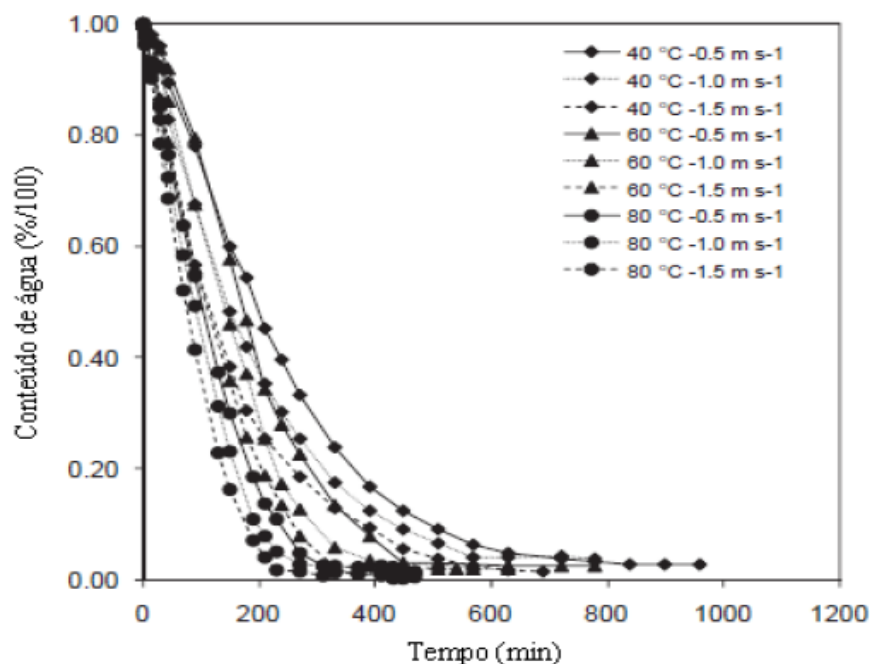


Figura 7: Variação do Conteúdo de água no produto em função do tempo na influência da temperatura e da velocidade do ar no processo de secagem. (Fonte: Vega-Gálvez et al.,2012).

Para a mesma temperatura de secagem o aumento da velocidade do ar também implica numa diminuição do tempo de secagem.

Os secadores solares com ventilação forçada possuem maior taxa de secagem, ou seja, maior massa de produto não hidratado por unidade de tempo em relação aos secadores de convecção natural, provavelmente porque o fluxo de calor fornecido ao produto aumenta e a duração da humidade relativa entorno do produto tende a ser mais efectiva.

2.4. Caracterização de Secador Solar

A secagem solar térmica distingue-se da secagem natural ao sol, pela utilização de equipamentos (secadores solares) que promovem o processo de secagem. A sua vantagem em relação a outras tecnologias de secagem mecânica deve-se principalmente à sua simplicidade e à reduzida necessidade de energia convencional quando se pretende obter um produto seco (Santos, 2022).

Os secadores solares de ar são dispositivos simples em que o ar é aquecido utilizando energia solar, sendo este utilizado na secagem de produtos que requerem temperaturas baixas e moderadas de secagem (por exemplo, produtos agrícolas). Os secadores solares para além de promoverem o processo de secagem, também protegem os produtos agrícolas de pragas de insectos, poeira e chuva (Tiwari, 2016).

Em comparação com a secagem natural ao sol, os secadores solares geram temperaturas mais elevadas, menor humidade relativa do ar no seu interior, permitindo assim obter um produto com um menor teor de humidade e a consequente redução da deterioração durante o processo de secagem (Santos, 2022).

2.4.1. Tipos de secadores solares

A classificação dos secadores solares gera algumas discordâncias, uma vez que existem várias configurações e muitas delas resultam de construções experimentais. Assim, estes podem ser classificados conforme o tipo de secador, a temperatura de operação, o material a ser seco, o tipo de operação (por exemplo em lote ou em contínuo), entre outros.

Tal como pode ser verificado observado na figura 8, os secadores solares podem também ser classificados em dois grandes grupos: secadores Passivos e secadores Activos. Dentro de cada um destes grupos existem três subclasses, nomeadamente: os secadores solares directos

(secadores integrais), os secadores solares indirectos (secadores distribuídos) e secadores mistos (Ekechukwu & Norton, 1999).

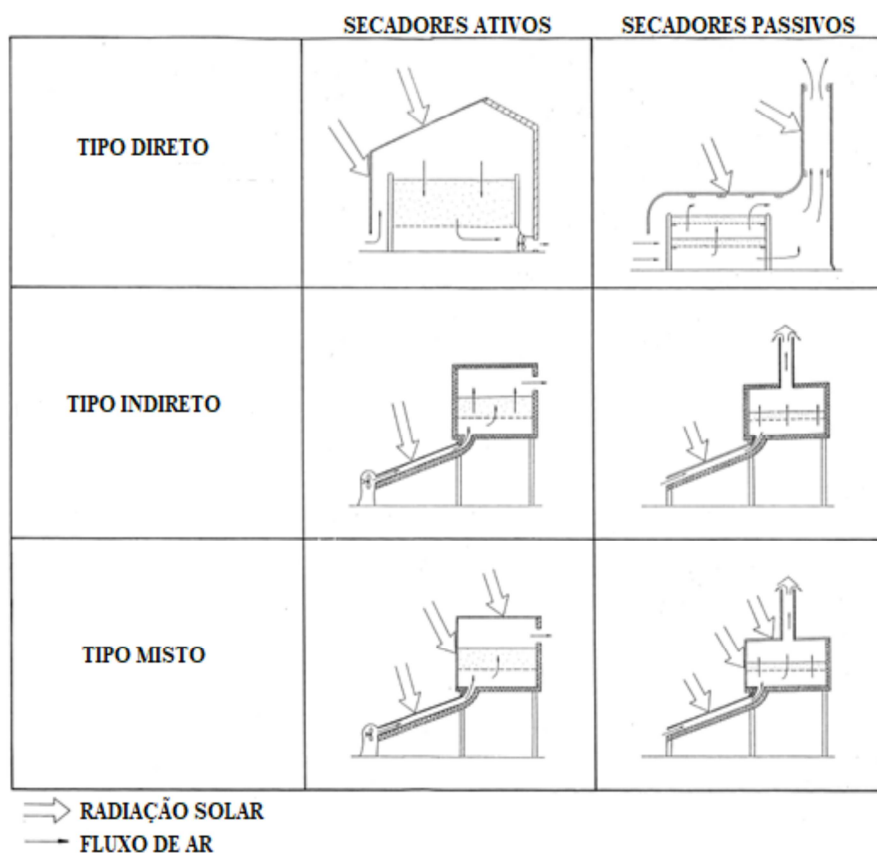


Figura 8:Tipos de secadores solares.(Fonte: Adaptado de: Ekechukwu & Norton, 1999).

a) Secador solar Passivo

Nos secadores passivos a circulação do ar é feita por convecção natural, isto é, sem o recurso a equipamentos mecânicos (Tiwari, 2016). Estes sistemas são de pequena dimensão e simples de construir e servem para conservar quantidades reduzidas de frutas, vegetais, peixe e carne (Ekechukwu & Norton, 1999). São geralmente utilizados por pequenos agricultores não sendo necessário um investimento inicial elevado, apenas sendo considerados os custos de funcionamento, nomeadamente, a mão-de-obra para funcionamento (Santos, 2022).

A sua estrutura é tipicamente composta por uma ou duas câmaras isoladas, com superfície envidraçada e orifícios na base e na parte superior das paredes do secador. A radiação solar que é necessária para o processo incide directamente no vidro e é absorvida pelos produtos e pelas superfícies internas do secador. A circulação do ar quente e húmido é feita pelas aberturas superiores enquanto o ar fresco entra pela base da caixa (Ekechukwu & Norton, 1999).

Estes sistemas têm algumas limitações, nomeadamente a dificuldade em contrariar condições climáticas desfavoráveis e consequentemente um tempo elevado de secagem (Santos, 2022).

b) Secador solar Activo

Os secadores solares activos não dependem apenas da energia solar para o processo de secagem, possuindo outro sistema de aquecimento de apoio ao sistema solar, baseado em energia eléctrica, combustíveis fósseis, biomassa ou bombas de calor. Possuem igualmente ventiladores promovendo a circulação do ar. Todos os secadores solares activos são denominados também por secadores à convecção forçada, pois utilizam mecanismos que permitem forçar a circulação do ar utilizado para a secagem (Ekechukwu & Norton, 1999).

Quando o ar presente no interior do secador solar não está suficientemente quente para realizar a secagem, este inicia o sistema de aquecimento de apoio para aumentar a temperatura até aos valores necessários. Estes sistemas podem ser controlados automaticamente para permitir uma secagem ideal (Ekechukwu & Norton, 1999).

O secador solar de efeito estufa, usado para o referente estudo, faz parte do grupo de secadores activos directos, pois não dependem apenas da energia solar para o processo de secagem, possuindo outro sistema de aquecimento de apoio ao sistema solar, e possuem igualmente ventiladores promovendo a circulação do ar.

2.5. Factores que influenciam a secagem

O potencial de uso de energia solar no sector agrícola tem vindo a aumentar devido à flutuação dos preços dos combustíveis fósseis, às preocupações ambientais e ao esgotamento esperado dos fósseis que originam o combustível. O sistema de secagem que utiliza como principal fonte de energia, a solar, é um dos mais atraentes e com aplicações promissoras que permitem um melhor aproveitamento dos produtos pós-colheita.

As condições atmosféricas são bastante importantes na secagem solar, pois têm uma elevada influência na capacidade e no tempo de secagem de um produto. De entre vários factores, são de destacar a radiação solar, a temperatura, humidade relativa e o vento, que constituíram o foco desta pesquisa.

2.5.1. Temperatura do ar

A *temperatura* é um factor importante na secagem dos produtos alimentares, e quando devidamente controlada, possibilita a preservação dos valores nutricionais, da cor, do sabor e da textura (Santos, 2022).

Num secador solar, as variações de temperatura estão directamente dependentes da intensidade da radiação solar. Às temperaturas baixas, para a taxa de secagem é lenta e há risco de deterioração do produto, pois a evaporação da água do tomate acontecerá de forma muito lenta. Em situações de elevada intensidade de radiação, a taxa de secagem é mais rápida, no entanto podem ser atingidas temperaturas que causem danos nos produtos. Assim, a temperatura desejada pode ser obtida conjugando o ar do secador com ar quente de um sistema de apoio (no caso de ser necessárias temperaturas relativamente elevadas) ou com ar fresco atmosférico (no caso de ser necessárias temperaturas relativamente baixas). De um modo geral, grande parte dos alimentos pode ser seco a uma temperatura de aproximadamente 60°C dependendo do tempo de exposição do produto.

2.5.2. Humidade relativa do ar

Durante a secagem, a retirada da humidade é obtida pela movimentação da água, decorrente de uma diferença de pressão de vapor d'água entre a superfície do produto a ser secado e o ar que o envolve. A condição para que ocorra o processo de secagem é que a pressão de vapor sobre a superfície do produto (p_g) seja maior do que a pressão do vapor d'água no ar de secagem (p_{ar}). As seguintes observações podem ser feitas:

se $p_g > p_{ar}$: ocorrerá secagem do produto;

se $p_g < p_{ar}$: ocorrerá humedecimento do produto; e

se $p_g = p_{ar}$: ocorrerá o equilíbrio higroscópico.

A velocidade de secagem de um produto depende, além do sistema de secagem utilizado, das características de secagem do produto individualmente. Em geral, para os produtos pequenos, a velocidade de secagem é maior que para produtos de grandes dimensões (Sousa, Afonso, & Donzelles, 2001).

A *humidade relativa do ar* é também um factor importante na secagem dos produtos alimentares, sendo que as taxas de secagem mais elevadas são alcançadas com valores reduzidos de humidade relativa do ar de secagem (Dryden, 1982). Estabelece uma relação

entre a quantidade de vapor d'água presente no ar e a que poderia existir numa situação de saturação à mesma temperatura. Pode ser definida como a razão entre a pressão parcial do vapor d'água (e_a) e a pressão parcial do vapor d'água saturado (e_s), expressa da seguinte forma:

$$H_R = \frac{e_a}{e_s} \times 100\% \quad (2-1)$$

A *pressão de vapor d'água* é de grande importância para muitos fenómenos ligados a meteorologia e à agronomia pois, somada a outros eventos (vento, temperatura, radiação solar, etc.), é responsável pela evaporação da água líquida, a qual ocorre quando a pressão parcial do vapor d'água no ar atmosférico (e_a) é inferior a pressão parcial do vapor d'água no ar saturado (e_s).

A equação empírica de Tetens encontrada, por exemplo, em Moraes et al. (2011) expressa a relação entre a pressão de vapor saturado (e_s) e a temperatura:

$$e_s = e_{s0} e^{\frac{17,3T}{237,3+T}} \quad (2-2)$$

Onde: e_{s0} - é a pressão de referência (quando T é igual a zero), equivale a 6,11 hPa

T - é a temperatura do bulbo seco

O aumento da humidade relativa do ar, a uma dada temperatura, reduz a capacidade de o ar reter mais vapor de água, onde se diz que o ar está saturado. Esta redução da capacidade de o ar reter mais vapor é mais significativa à temperaturas baixas. Nesta condição de ar saturado o processo de desidratação baixa de intensidade ou deixa de ocorrer, pelo facto de o aumento da temperatura do ar, provocar o aumento do valor da pressão de vapor d'água saturado, como se pode concluir da Eq. (2.2). E como a humidade relativa é a relação entre a pressão de vapor d'água e a pressão de vapor d'água saturado, tem-se que o aumento da temperatura do ar faz diminuir a humidade relativa do ar e vice-versa (considerando que não haja variação de teor de vapor d'água no ar).

No gráfico da figura 9 ilustra-se o comportamento da humidade relativa com a temperatura ao longo do tempo.

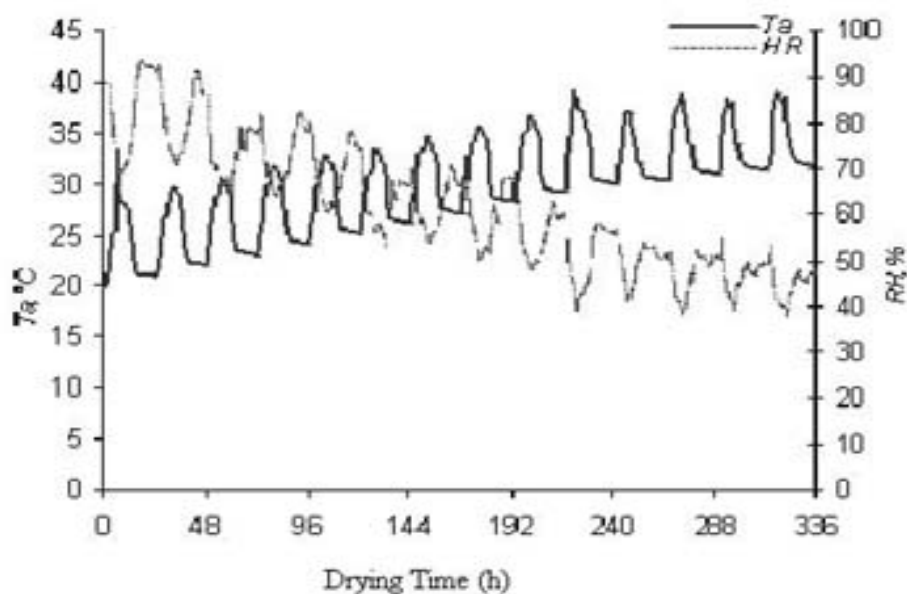


Figura 9: Comportamento da temperatura e da umidade relativa do ar no interior do secador ao longo do tempo. Fonte: (Adaptado (Bezerra, 2007))

Ao longo da secagem de um alimento, a composição do ar no interior do secador se modifica, essencialmente, devido a evaporação da água presente no produto, sendo conveniente expressar as mudanças no conteúdo de vapor d'água do ar em função da quantidade de ar seco, bem como apresentar algumas grandezas psicrométricas essenciais ao estudo dos processos de secagem, tais como: Conteúdo de vapor d'água (ou razão da mistura), pressão de vapor, temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo húmido, umidade absoluta e umidade relativa (Thomazini, 2015).

Para a avaliação da umidade relativa do ar tanto no interior como fora do secador pode ser utilizado o psicrómetro. O psicrómetro, apresentado na Figura 7, é constituído de dois termómetros, sendo o bulbo de um deles recoberto por um tecido capilar molhado com água. Ambos estão no interior de um encapsulamento que pode ou não conter um exaustor cuja função é forçar a passagem do ar pelos termómetros. A temperatura de bulbo húmido (T_h) é dada pelo termómetro recoberto com tecido embebido com água, enquanto que a temperatura de bulbo seco (T_s) é obtida diretamente pela exposição do termómetro à passagem do ar dentro do encapsulamento (Thomazini, 2015).

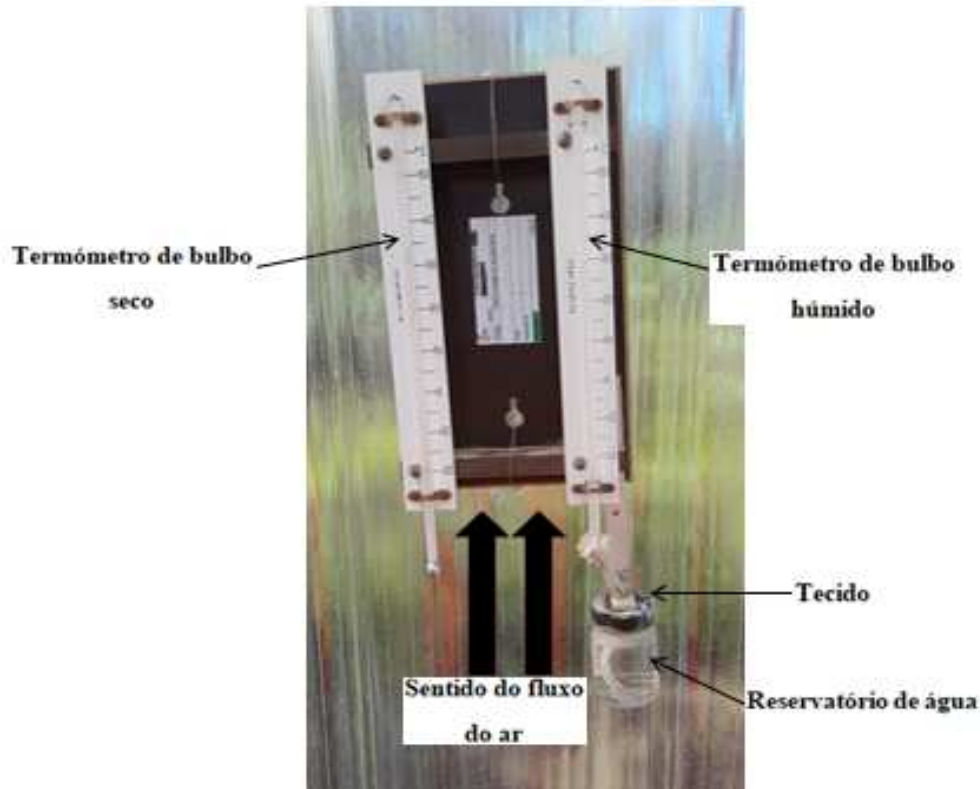


Figura 10: Imagem fotográfica do psicrómetro usado durante a experiência de secagem de frutas e vegetais, no secador instalado no IIAM.(Fonte: Autor)

O fluxo contínuo de ar atravessa ambos os termómetros, mas no caso do *termómetro de bulbo húmido*, desde que o ar não esteja saturado, a água embebida no tecido evapora e retira parte da energia térmica das moléculas do líquido presente no interior do tubo do termómetro, reduzindo sua temperatura aos valores inferiores à do termómetro de bulbo seco (Thomazini, 2015).

Conhecendo-se ambas temperaturas é possível estimar e_a Através da seguinte equação:

$$e_a = e_s - \gamma(T_s - T_h) \quad (2-3)$$

Em que γ é a constante psicrométrica, a qual depende da geometria e da ventilação do psicrómetro, e e_s a pressão de saturação do vapor a temperatura T_s .

Quanto maior a evaporação da água no termómetro de bulbo húmido, menor será T_h e, conseqüentemente, menor será o valor de e_a , o que implica baixo valor da humidade relativa do ar (vice-versa). Quando T_h tende ao valor de T_s significa que a evaporação da água no

termómetro de bulbo húmido tende à zero, o que faz e_a se aproximar à e_s e a humidade relativa do ar se aproxima de 100%.

2.5.3. Velocidade do vento

Os ventos se originam, basicamente, pela diferença de pressão entre duas regiões distintas, ou seja, o ar se desloca de uma região de maior pressão para outra de menor pressão.

No SSEE, o ar aquecido pelo sol dentro da estrutura cria uma região de menor pressão, pois o ar quente se expande e sua densidade diminui. Fora da estufa, a pressão é maior porque o ar está mais frio e denso. Dessa forma, o ar se desloca de fora (maior pressão) para dentro (menor pressão), gerando uma corrente de ar que ajuda a secar os produtos no interior do secador.

A velocidade do ar de secagem que atinge a superfície do produto favorece a evaporação da água que se encontra na superfície. Ao aumentar a velocidade do ar a evaporação na superfície é reforçada por maiores taxas de transferência de massa de água (Santos, 2022).

A velocidade do vento desempenha um papel importante evitando a saturação do ar dentro da estufa e promovendo um ambiente favorável a secagem continua.

Como o teor de humidade é indirectamente controlado através do ajuste da temperatura e da humidade relativa, a variável que poderá ser ajustada para o efeito de secagem que se pretende é a velocidade do ar.

Conteúdo de Vapor d'água

O *conteúdo de vapor d'água*, expresso em moles de vapor d'água por moles de ar seco, pode ser escrito da seguinte maneira:

$$U' = \frac{n_a}{n_{ar}} = \frac{e_a}{P_{ar}} \quad (2-4)$$

Em relação à massa de vapor d'água e de ar seco, tem-se:

$$U = U' \frac{M_a}{M_{ar}} \quad (2-5)$$

Em que M_a e M_{ar} são, respetivamente, as massas molares da água e do ar seco

2.6. Produção de tomate em Moçambique e sua importância na secagem

O tomate é uma das hortícolas, mais utilizadas e consumidas na culinária moçambicana. Este fruto é muito rico em vitaminas A, B, C tanto no seu estado natural ou ainda preparado ou processado.

Em Moçambique, o tomate se destaca pela sua importância socioeconómica. É produzido por agricultores comerciais e por pequenos agricultores para garantir a subsistência de grande número de famílias. O tomate, em Moçambique, dos melhores rendimentos na época fresca (Maio a Agosto) em que a formação do fruto não coincide com temperaturas altas (acima de 28°C) e com maior incidência das pragas e doenças.

Apesar de Moçambique ter potencial para o desenvolvimento do sector da horticultura principalmente para a cultura de tomate, especialmente na região centro, onde há oportunidades para produzir hortícolas de alto valor (Tiwari, 2016), a produção ainda apresenta uma sazonalidade muito marcada, caracterizada por maior produção em períodos de clima favorável, ou seja, na estação fresca em que as temperaturas são amenas.

O processamento do tomate, incluindo a secagem em Moçambique, representa uma alternativa de redução das perdas para o produtor, principalmente nas regiões onde a cultura do tomate constitui a principal actividade económica. Frequentemente ocorre diminuição na demanda do comércio *in natura* e, por conseguinte, as perdas de tomates são aumentadas. Assim, o tomate seco, além de apresentar maior período de conservação, torna-se uma alternativa para minimizar essas perdas, bem como permite o aproveitamento dos produtos que não dão classificação para o mercado do tomate *in natura*. Portanto, o estudo do processo de secagem de tomate vem contribuir à agregação de valor ao tomate, transformando-o, de um produto muitas vezes desvalorizado em função do excesso de oferta, em um produto diferenciado que visa um novo mercado de franca expansão (Bezerra, 2007).

Além do tomate seco apresentar-se como uma alternativa para o aproveitamento do excedente de produção, disponibiliza ao consumidor um produto sensorialmente diferenciado e que, por ser menos perecível, pode ser comercializado em qualquer período do ano.

CAPITULO III- METODOLOGIA

3. Materiais e Métodos

O presente capítulo tem por finalidade explicar a metodologia usada para se atingir o objectivo do estudo, que consistia em avaliar o efeito da Humidade relativa, Temperatura e Vento na secagem do Tomate, usando um SSEE. O estudo teve lugar na Província de Maputo, distrito de Boane, e, concretamente nas instalações do IIAM, local onde foi instalado o secador.

A construção e montagem do secado SSEE solar de efeito estufa nas instalações do IIAM estava inserido num projecto trilateral, em que Moçambique fazia parte. Desta feita, este capítulo abrangeu o levantamento de dados de Temperatura e Vento do local, dentro e fora do SSEE, material usado, equipamentos e método para secagem.

3.1. Localização geográfica de Boane

O distrito de Boane está localizado a sudeste da província de Maputo, sendo limitado a Norte pelo Distrito de Moamba, a Sul e Este pelo Distrito da Namaacha, e a Oeste pela Cidade da Matola e pelo Distrito de Matutuine. Boane foi elevado à categoria de 1ª classe em Abril de 1987 pelo decreto-lei nº 8/87 e a sua Sede, localizada a 30 km da cidade de Maputo foi elevada a Vila pela resolução nº 9/87 de 25 de Abril do Conselho de Ministros (MAE, 2005).



Figura 11:Localização do distrito de Boane. Fonte: (MAE, 2005)

3.1.1. Clima e Hidrografia de Boane

O clima da região é sub-húmido e com pouca chuva na estação fria e, caracterizado por alternância entre as condições secas, influenciada pela alta pressão subcontinental e as incursões de ventos húmidos do oceano (MAE, 2005).

A temperatura média anual é de 23.7°C verificando-se que os meses mais frios são os de Junho e Julho e os mais quentes Janeiro e Fevereiro e a amplitude térmica anual é de 8.8°C. (MAE, 2005)

A humidade relativa média anual é de 80.5%, variando de um máximo de 86% em Julho a um valor mínimo de 73.5% em Novembro. A pluviosidade média anual é de 752 mm variando entre os valores médios de 56,6 mm para o período húmido e os 43,6 mm no período seco. O período húmido estende-se de Novembro á Março e o período seco de Abril á Outubro (MAE, 2005).

3.2. Descrição geral do Secador

Um SSEE é um dispositivo projectado para aproveitar a energia solar para secar ou desidratar materiais, como alimentos, plantas medicinais, grãos, entre outros.

Segundo Nimnuan & Nabnean (2020) a estufa funciona exclusivamente por energia solar. A radiação solar chega ao painel fotovoltaico e a estufa em geral, com os raios solares vindo de todas as direcções. O sistema híbrido fotovoltaico-térmico é uma integração de uma estufa, e módulos fotovoltaicos que produzem energia eléctrica DC para operar um ventilador em sistema de modo forçado que fornece aquecimento térmico para o ambiente da estufa.

A cobertura do secador é toda ela feita de chapa plástica de polycarbonato compacto semitransparente. Este tipo de chapa tem propriedades similares ao vidro ordinário com capacidade de transmissão da radiação solar directa de até 90% de transparência. O interior do secador foi composto por oito prateleiras com alturas ajustáveis, proporcionando flexibilidade no arranjo dos itens a serem secos. Além disso, contou com seis ventiladores para promover a circulação do ar no interior do secador, otimizando o processo de secagem.

Também, possui um painel solar localizado externamente, que é responsável pela geração de energia para alimentar os ventiladores, garantindo um funcionamento autónomo. O presente secador possui aproximadamente 3 metros de largura e 8 metros de comprimento e, apresenta

também uma porta para facilitar o acesso ao seu interior e para manter as condições ideais de temperatura e humidade.



Figura 12: Imagem do secador solar de efeito estufa. Fonte: Autor

3.3. Dados

No presente trabalho foram usados dados de Temperatura do ar no SSEE, medidos através do termómetro, Velocidade do vento através do anemómetro digital, adiante descrito e a Humidade relativa. Esses dados foram diários e registados em um intervalo de tempo de 10 min, dentro do SSEE, este intervalo foi escolhido, porque as temperaturas variavam bruscamente.

3.3.1. Matéria-prima

A matéria-prima utilizada nesse trabalho foi o tomate (*Lycopersicon esculentum Mill*) tipo salada, que pertence ao grupo das hortaliças e apresenta grande importância, tanto pelo seu valor nutricional assim como social.



Figura 13: Amostra do tomate fresco usado na secagem.(Fonte-Autor).

3.4. Material Usado

A tabela abaixo (tabela 1) apresenta os materiais usados nos ensaios de secagem da matéria-prima, suas quantidades, desde a higienização até a secagem.

Tabela 1: Materiais usados no processo de secagem.

	Nome do material	Quantidade
1	Água	25 L (litros/dia)
2	Balança (0.01g)	1 (Uma)
3	Balanca (0.1 g)	1 (Uma)
4	Bacia	2 (Duas)
5	Bandeja	1 (Uma)
6	Desinfectante	100 ml (mililitros)
7	Faca	2 (Duas)
8	Fita Métrica	1 (Uma)
9	Painel Solar (50Wp)	1 (Um)
10	Paquímetro (0.02mm)	1 (Um)
11	Anemómetro (0.5m/s)	1(Um)
12	Psicrómetro (1%)	1(Um)
13	Prateleira de aço inoxidável com seus respectivos suportes	8 (Oito)
14	Secador Solar de Efeito com convecção forçada	1 (Um)

Equipamento de Secagem

Os ensaios de secagem de tomate foram realizados num secador solar de efeito estufa, constituído pelos seguintes componentes:

- Câmara de Secagem;
- Ventiladores;
- Paine Solar;
- Colector Solar
- Prateleiras de alturas ajustáveis;
- Bandejas para deposição dos produtos agrícolas.

Procedimento Experimental

A experiência de secagem do tomate, compreendeu diversas etapas que iniciava com a:

1. Higienização do secador realizada através de lavagem utilizando água e sabão neutro, seguida desinfecção com álcool;
2. Lavagem das prateleiras, minuciosamente com água e sabão e posteriormente desinfectadas com o álcool 70%, antes da entrada do tomate;
3. Higienização da base do secador, foi higienizada da mesma forma que as prateleiras, iniciando com água e sabão, e por fim desinfectada com álcool;
4. Pesagem do tomate, seguida pela sua higienização, que consistia na lavagem do tomate em uma bacia contendo água e desinfectante;
5. Corte do tomate em rodela, onde com o auxílio do paquímetro era feita a medição da sua espessura. Para as amostras, teve-se uma espessura de 1.1 cm.
6. Colocação das rodela nas prateleiras localizadas dentro do secador solar, e registos da hora de entrada e da saída da matéria-prima;

As experiências foram realizadas em 15 dias, em alguns dias no período das 8:00 as 15:00 horas. Desta feita, na primeira experiência foram usados 10 kg de tomate, que por sua vez ocuparam 3 prateleiras. Na segunda experiência usaram-se 20 kg que ocuparam 6 prateleiras e, na terceira experiência, 30 kg que ocuparam a capacidade máxima, isto é, as 8 prateleiras.

Na figura 14. Tem-se três imagens, a primeira (a) refere-se a medição da espessura da rodela do tomate, esperando-se que quanto menor for a espessura da rodela do tomate, menor será o tempo de secagem, na imagem (b), apresenta-se o tomate na prateleira para início do processo de secagem, em (c) apresenta-se o tomate nas prateleiras, e as alturas das prateleiras).

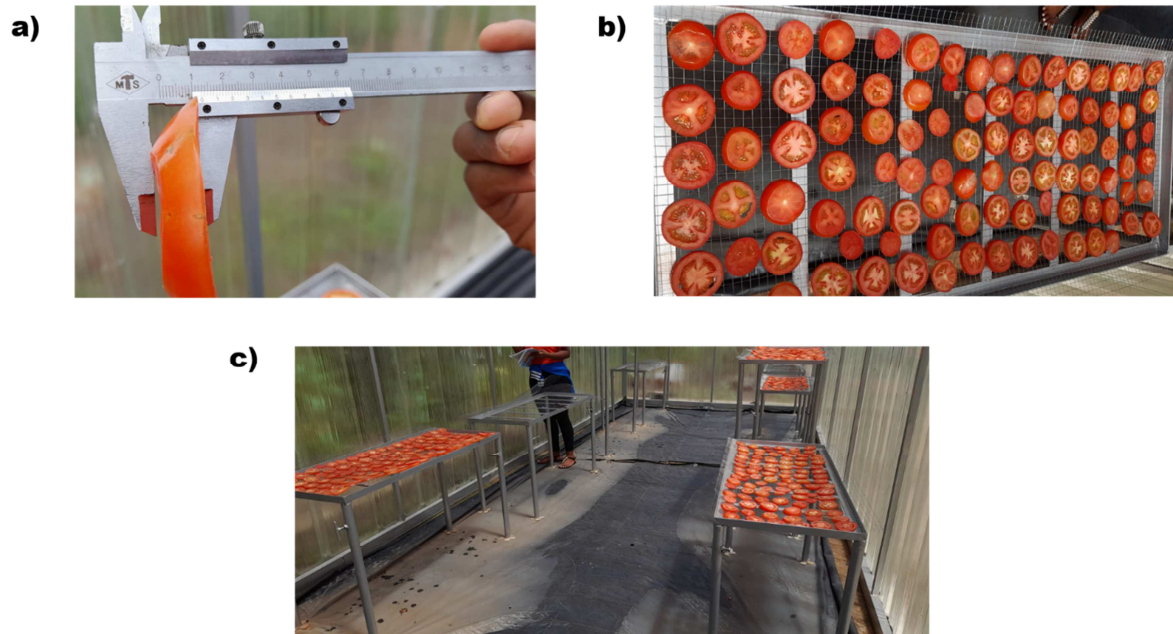


Figura 14: Imagens de parte de processo de secagem do tomate no SSEE ,(a) é a ilustração da medição da espessura da rodela do tomate com o auxílio do paquímetro; (b) ilustração do tomate nas prateleiras; (c) Prateleiras com alturas diferentes no SSEE. Fonte: Autor)

3.5. Métodos usados

Para alcançar o primeiro objectivo, fez-se o registo da temperatura do ar no SSEE foi instalado um psicrómetro que contem um termómetro de bulbo seco e húmido. Para o segundo objectivo fez-se a medição da velocidade do vento, usou-se um anemómetro fora do secador.

A figura 12 apresenta duas imagens dos instrumentos usados durante a experiencia, a imagem a) tem-se o anemómetro que foi usado para medir os o valor da velocidade do vento no mesmo instante em que se fazia a recolha dos dados usando o psicrómetro, o psicrómetro é a imagem ilustrada em b), que serve para medir as temperaturas de bulbo húmido, e bulbo seco.

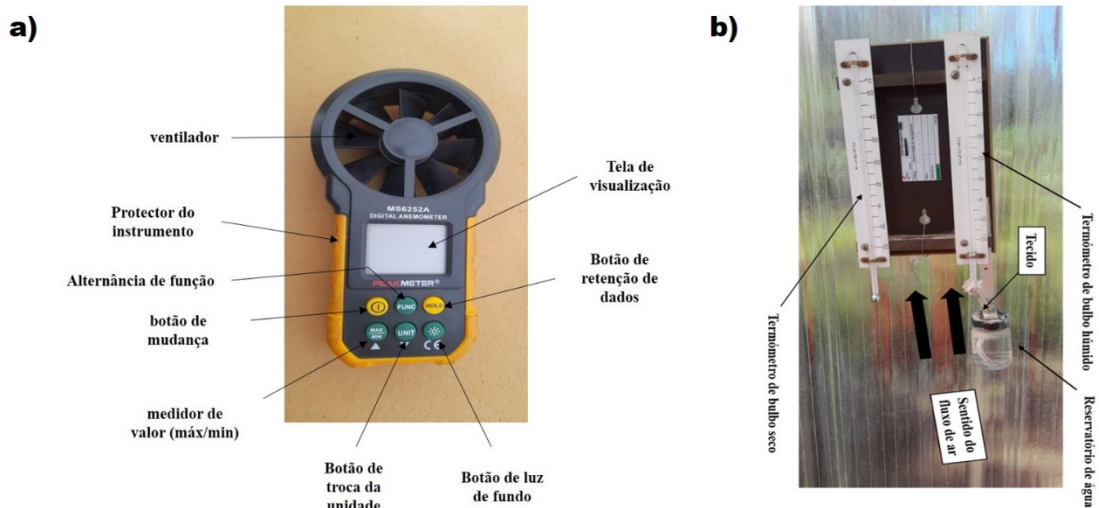


Figura 15: Imagem fotográfica do anemómetro usado para registo da velocidade do vento (a) e o psicrómetro usado na colecta de dados para a determinação da humidade relativa (b).(Fonte: Autor)

Determinação da Humidade relativa

Para a determinação da humidade relativa, foram lidas as temperaturas de T_h e T_s , no psicrómetro e de seguida consultando-se na tabela apropriada, elaborada para a região do Umbeluzi pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INAM), para a determinação da humidade relativa em função daquelas temperaturas. Contudo, a tabela apresentou alguma limitação, visto que havia sido elaborada para temperaturas do ar até 45 graus celsius. Porém que dentro do secador alcançavam-se valores de até 55°C não era possível determinar com o auxílio da tabela. Portanto, desta feita, a humidade relativa neste caso foi calculado usando a Eq. (3.1).

$$H_R = \frac{e_a}{e_s} \times 100\% \quad (3.1)$$

onde (e_a) é a pressão parcial do vapor d'água do ar e (e_s) é a pressão parcial do vapor d'água saturado.

Para a produção dos gráficos de Temperatura e Humidade relativa usou-se o Microsoft Excel.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Variação da Temperatura e Humidade relativa no secador de estufa solar

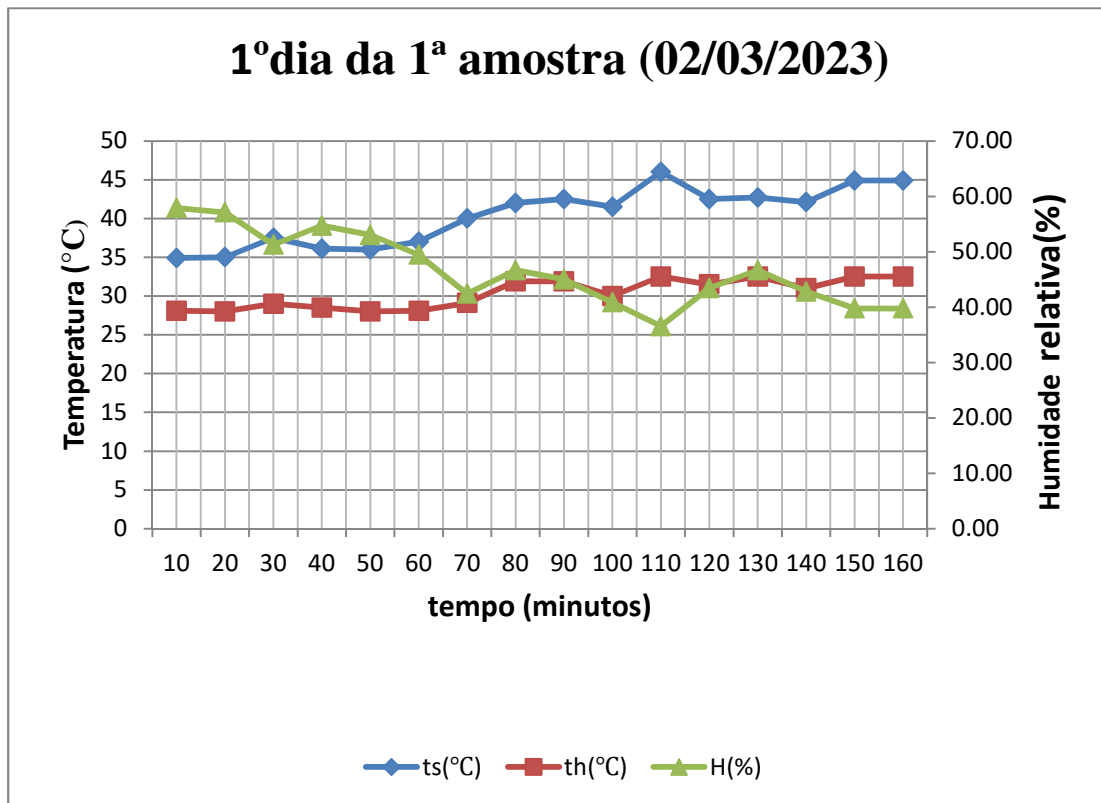
4.1.1. Primeira Amostragem do tomate

Na figura 16 apresenta-se, de uma forma geral, o comportamento da humidade e das temperaturas do bulbo seco, húmido e a humidade relativa em função do tempo, da primeira amostra, na secagem do tomate, no interior do SSEE. A Fig.16 a) é referente ao gráfico da variação da temperatura no interior do SSEE, no primeiro dia de secagem (02 de Março), onde o tomate fresco (cortado em rodela), foi colocado nas prateleiras. Tratou-se de um dia de céu nublado. O processo de secagem, iniciou as 11:30, num momento em que a temperatura era cerca de 35 °C, e temperatura do bulbo húmido de quase 27°C no SSEE. Pode se observar o aumento das temperaturas tanto do bulbo seco como do bulbo húmido e ainda o aumento da amplitude térmica entre as duas temperaturas ao longo do tempo. Nota-se também a diminuição da humidade relativa, com o aumento da amplitude térmica.

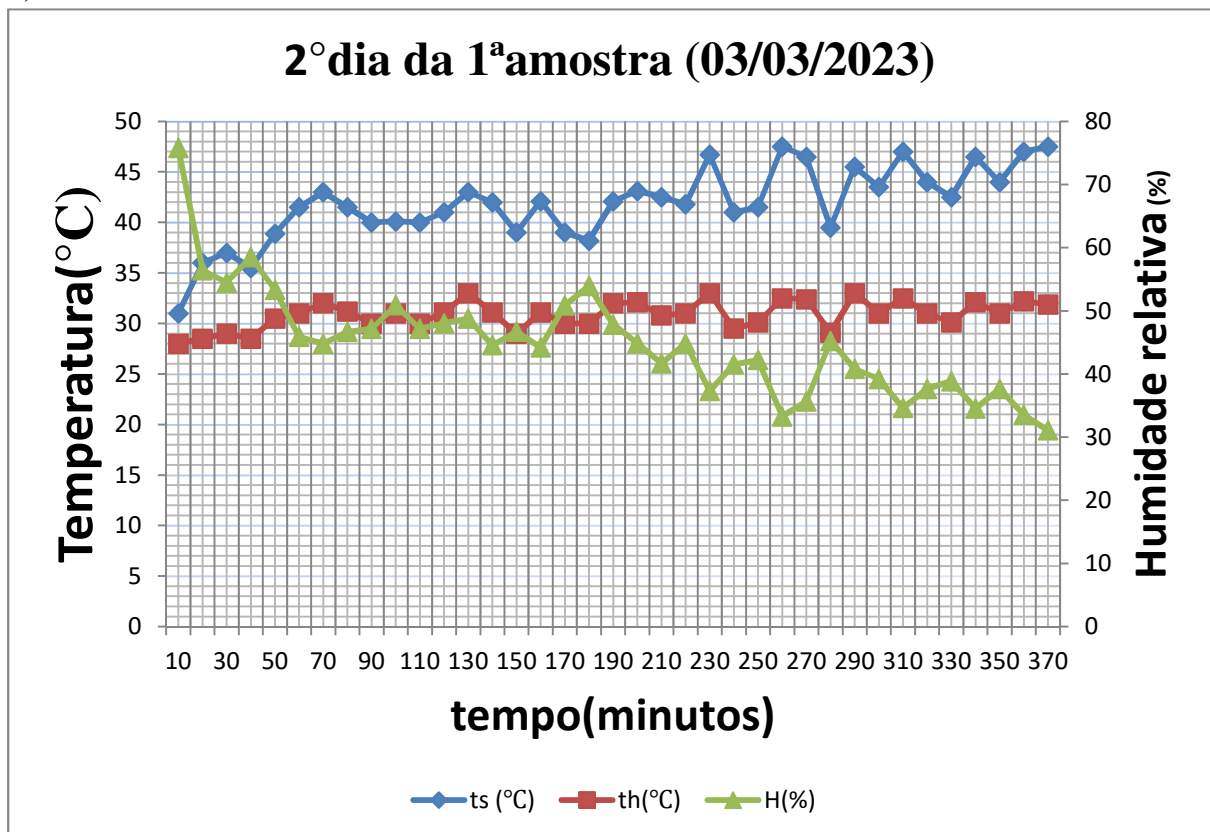
Na Fig.16 b) segundo dia de secagem da primeira amostra, (03 de Março) o céu estava claro, isto é sem nuvens, condições do tempo favorável para a secagem, visto que a quantidade de energia é relativamente maior. O registo de dados de temperatura iniciou cerca das 9:00 h, pouco mais cedo em relação ao dia anterior. A temperatura registada logo no início foi de 31°C do bulbo seco e 27 °C do bulbo húmido. É também notável o aumento das temperaturas ao longo do tempo, chegando a atingir uma temperaturas máximas de cerca de 60 °C no interior do secador. Adicionalmente, a amplitude térmica foi de cerca de 35 °C contra 18 °C do dia anterior. Em termos de humidade relativa pode-se destacar uma acentuada diminuição, analisando desde o início de registo ao fim.

O comportamento dos mesmos parâmetros no terceiro dia (08 de Março) apresentado no gráfico da figura c) revela semelhança com os dias anteriores, sendo que, o céu estava igualmente limpo.

a)



b)



c)

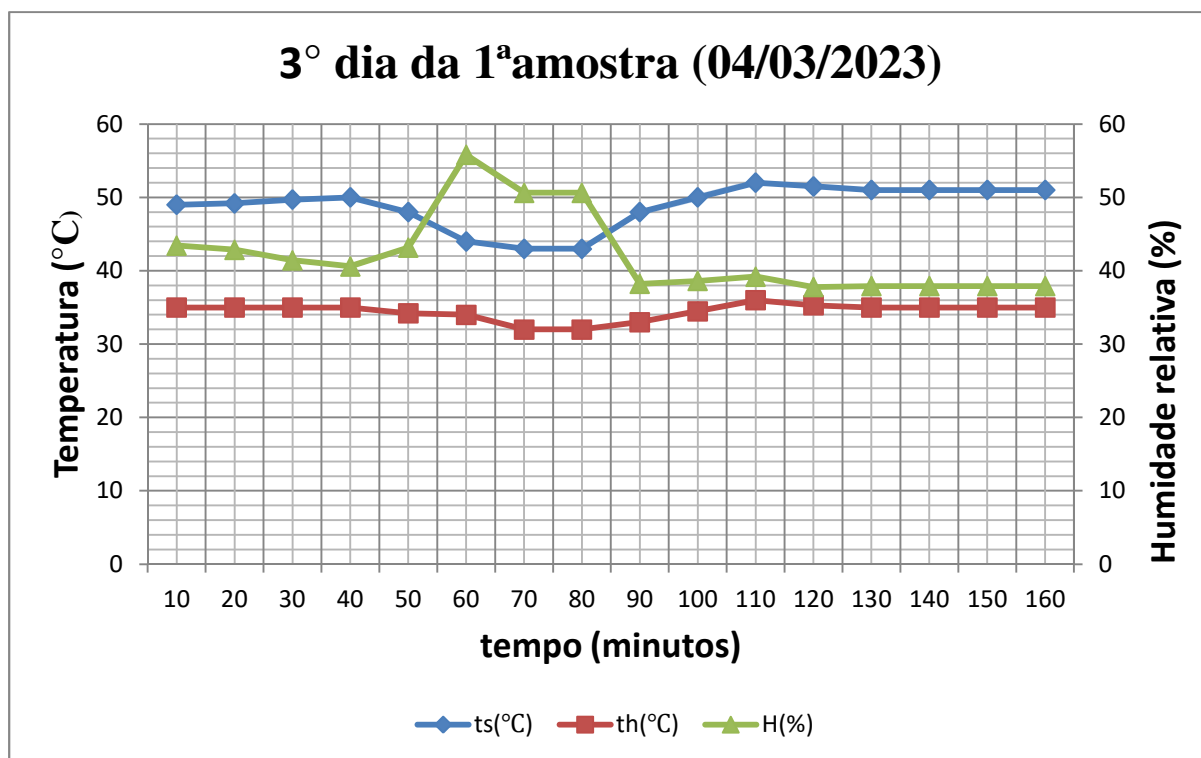


Figura 16: Gráfico da variação da temperatura em função do tempo na secagem do tomate da primeira amostra.

O peso inicial da amostra de tomate foi de 10 kg. Após o processo de secagem, o peso final foi de 293 g, o que equivale a uma perda de 97,07% de Humidade. Esse resultado indica que a amostra perdeu a maior parte de sua massa devido à remoção da água, mostrando a eficiência do processo de secagem utilizado.

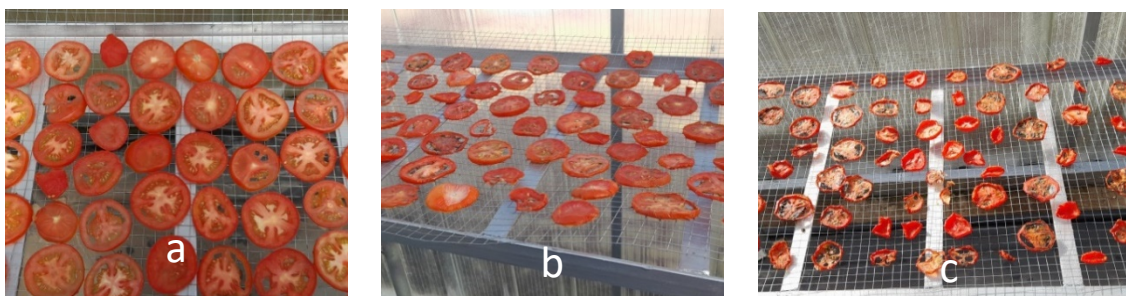


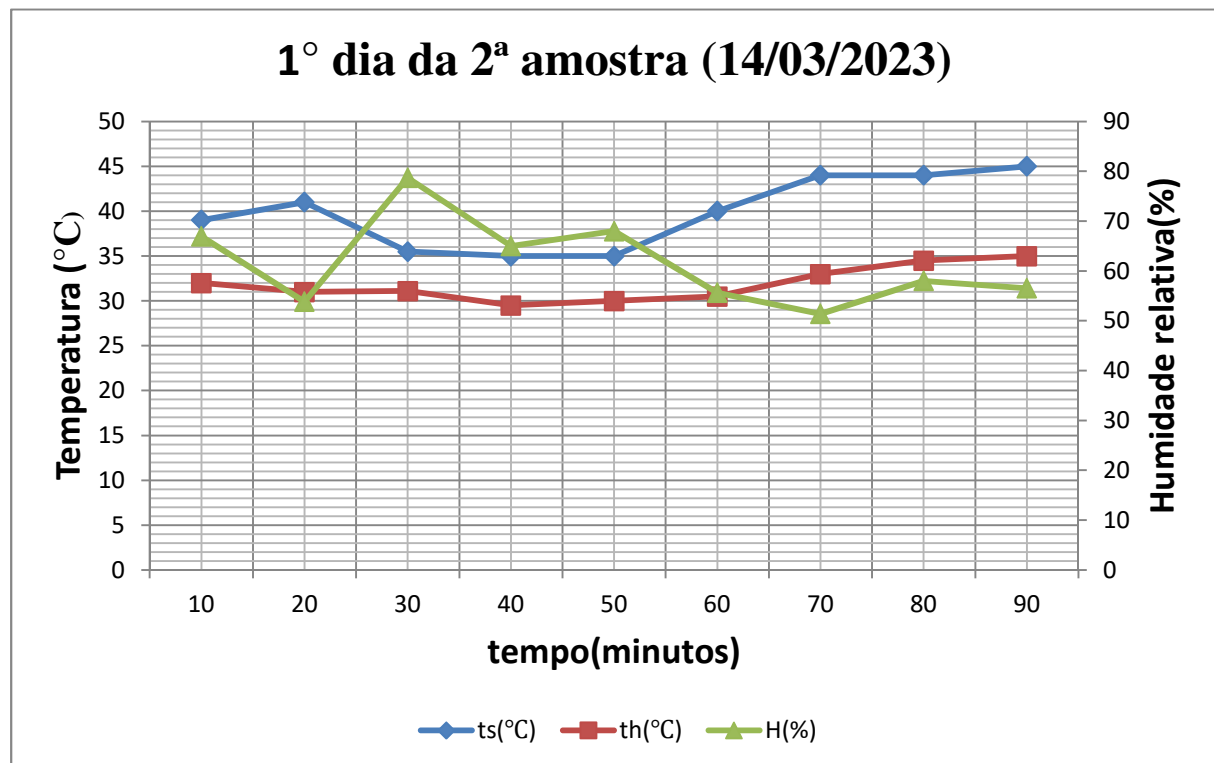
Figura 17: a) Tomate fresco, com espessura de 1,1mm depois de colocado na prateleira, (b) tomate semi-desidratados no segundo dia, (c) tomate completamente desidratado, pronto para sua conservação.

Pode-se destacar que nas condições de céu nublado, a intensidade de energia necessária para a desidratação do tomate é fraca, como consequência as temperaturas alcançadas no interior do secador são relativamente baixas e tendência de elevar a humidade relativa, e isso pode fazer com que o tomate leve mais tempo para secar completamente, revelando que, o processo de secagem, além de mais, depende das condições atmosféricas.

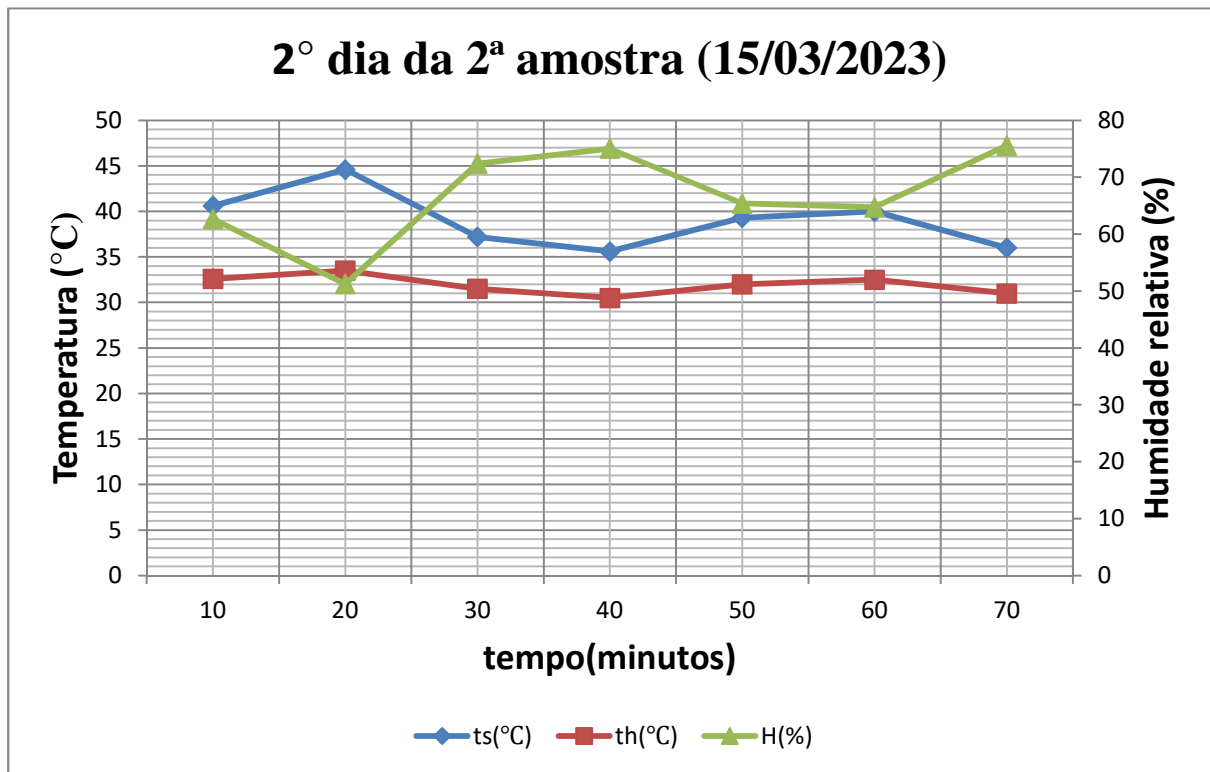
4.1.2. Segunda Amostragem do tomate

Os resultados da secagem da segunda amostra de tomate, são apresentados na figura 4.18, são referentes aos dias 14, 15 e 17 de Março de 2023. Destaca-se o comportamento da humidade, das temperaturas do bulbo seco, húmido e a humidade relativa, em função do tempo, na secagem da segunda amostra de tomate, no interior de secador solar de efeito estufa. A partir da análise do gráfico. No primeiro dia (14 de Março), em que se colocou a amostra no interior da estufa, o céu estava limpo, ainda neste dia, 4.18 a) observa-se que há uma grande influência das temperaturas na secagem do tomate. No segundo dia 4.18b), isto é, dia 15 de Março de 2023, o céu se apresentava parcialmente coberto de nuvens, razão pela qual a amostra só foi retirada das prateleiras no terceiro dia. E no gráfico da Fig.4.18c) 17 de Março, a amostra do tomate já havia desidratado completamente, mesmo com o céu muito nublado, foi possível ter essa amostra pronta neste dia.

a)



b)



c)

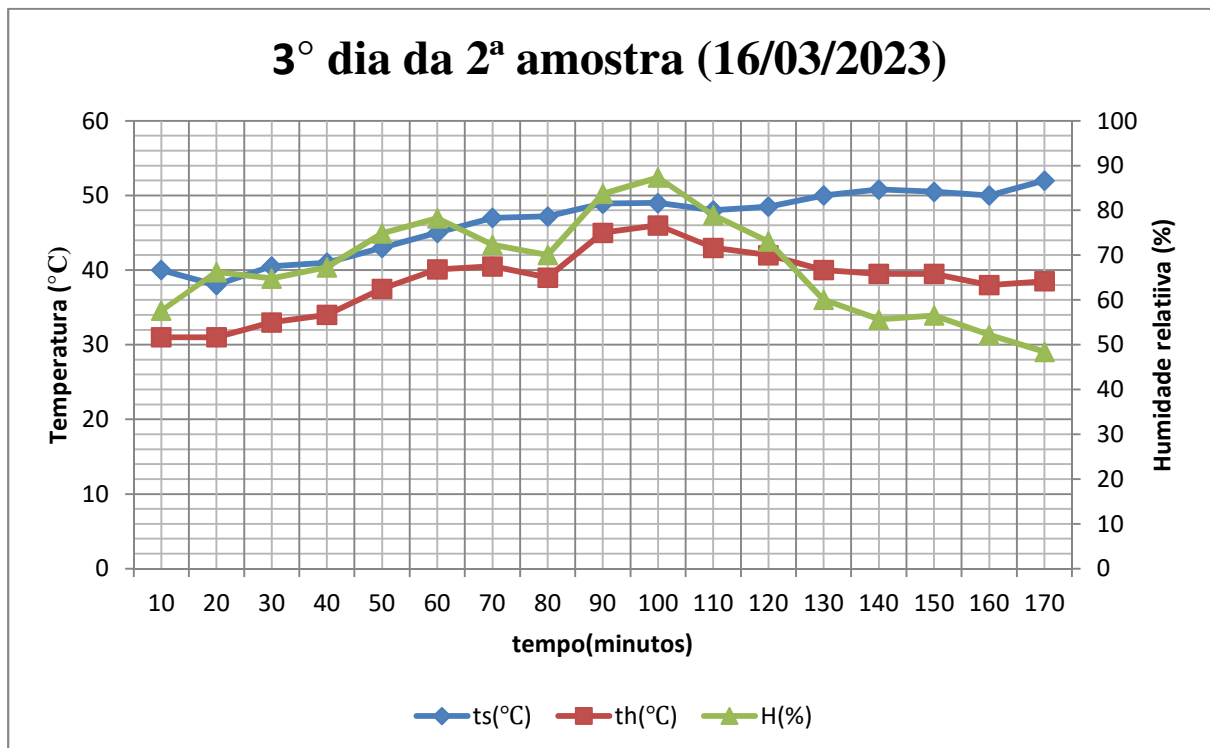


Figura 18: Acima apresentam-se gráficos da variação da temperatura em função do tempo, na secagem do tomate da segunda amostra.

A figura 18 mostra o comportamento dos gráficos dos dias referidos na descrição. a) Neste dia pode-se observar que o pico das temperaturas ocorreu pelas 12 horas e 10 minutos, com temperaturas de 45°C de bulbo seco e 35°C de bulbo húmido, sendo a sua humidade 58%, mas com esse dados é possível perceber que a humidade estava relativamente alta, o que fez com que a amostra do tomate tivesse baixa taxa de secagem. b) Observa-se temperaturas altas as 12 horas e 10 minutos, atingindo para bulbo seco 45 °C e para o bulbo húmido 34 °C, mas como a temperatura de bulbo húmido reduziu, tornou favorável o aumento da humidade relativa para 52%, no entanto é visível o aumento da humidade as 12 horas e 20 minutos, até as 13 horas desfavorecendo a secagem do tomate. A partir do gráfico da Fig4.18c) observa-se altas temperaturas variando de 34 °C a 55 °C no interior da estufa. A Seguir imagens da amostra nos três dias respectivamente.

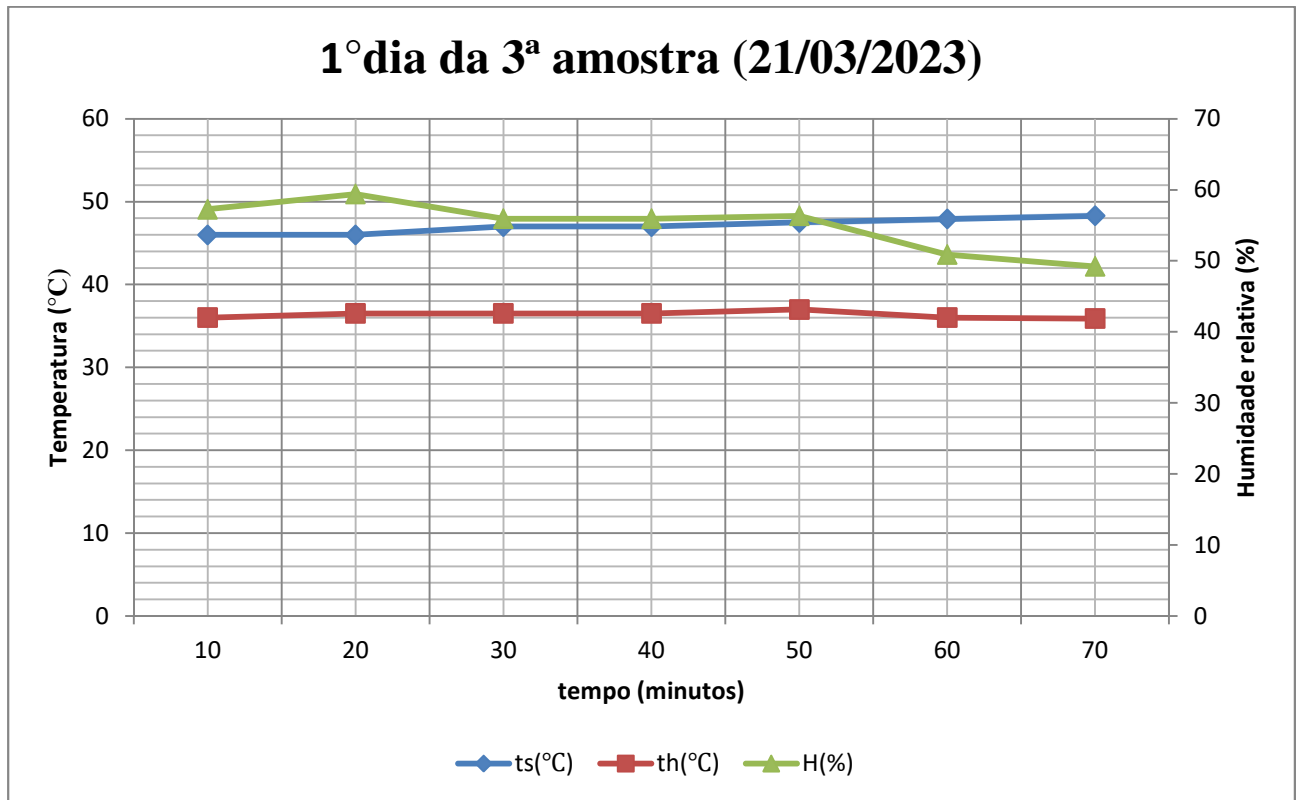
O peso inicial da amostra de tomate era de 20 kg, e o peso final após o processo de secagem foi de 705 g. Isso equivale a uma perda de 96,475% de água, evidenciando uma significativa redução no peso da amostra durante o processo.



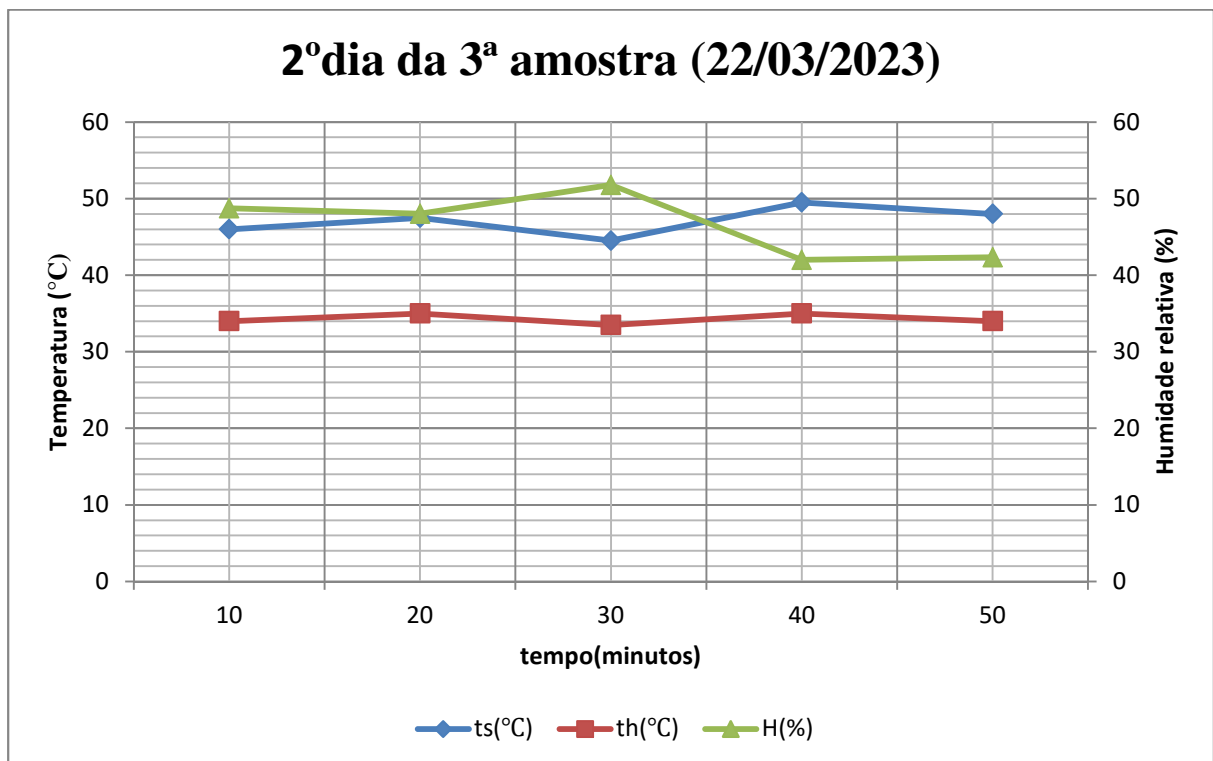
Figura 19: Imagens do tomate, a) depois de colocado na prateleira, fatias de 0,5 mm de espessura, (b) tomates semi-desidratados , (c) tomate depois de finalizado o processo de secagem no secador solar , dias 14, 15, e 17 respectivamente.

Os dados para os gráficos abaixo foram colectados nos dias 21, 23 e 24 de Março de 2023. Nos dias 21 e 24 de Março o céu apresentou-se limpo e no dia 23 o céu apresentou-se nublado. Na Figura 4.20 apresenta-se a terceira amostra, desde a entrada, até a saída do tomate completamente desidratado. A figura 20 é uma ilustração do comportamento da temperatura desde o primeiro ao terceiro dia.

a)



b)



c)

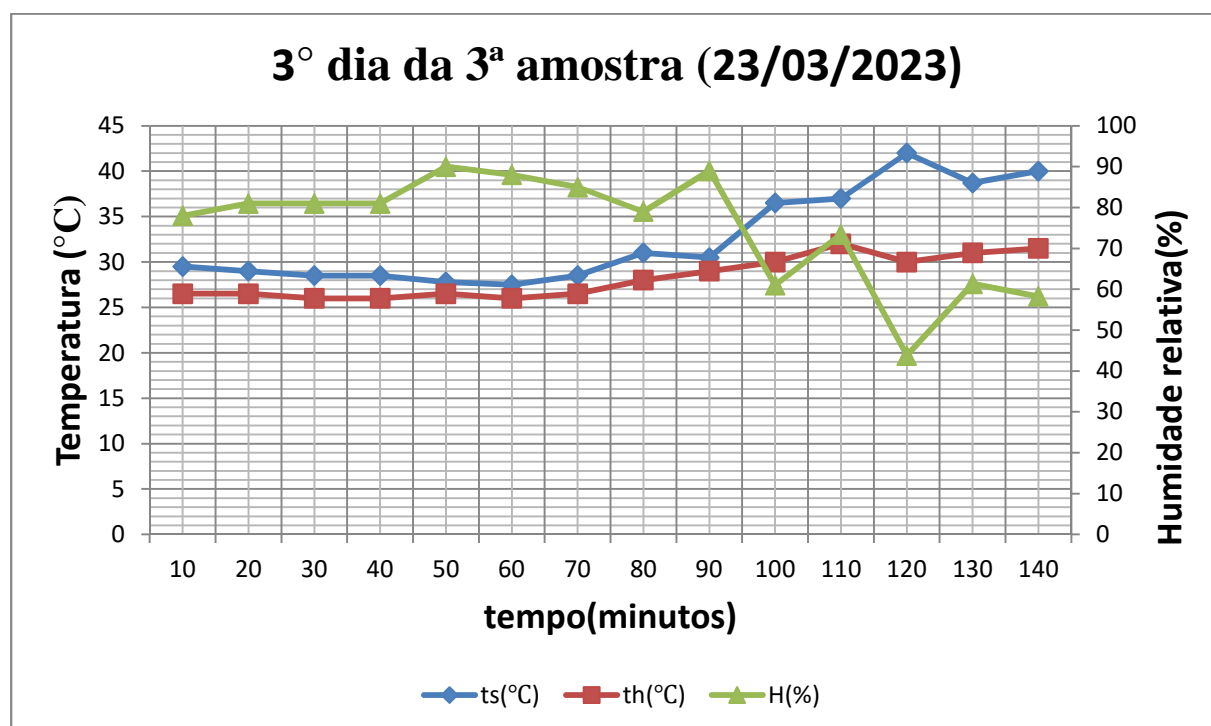


Figura 20:Gráfico da variação da temperatura e da humidade relativa em função do tempo na secagem do tomate da terceira amostra

Na figura 20 mostra-se o comportamento, das temperaturas do bulbo seco, húmido e a humidade relativa em função do tempo, da terceira amostra na secagem do tomate, no interior de secador. Constatou-se que no primeiro dia da terceira amostra, as temperaturas foram altas ate a última leitura oque influenciou na baixa percentagem da humidade. Situação similar foi constatada no gráfico b) em que se tem um grande afastamento das temperaturas do bulbo húmido e seco, favorecendo a redução de HR, favorecendo a evaporação e consequentemente a secagem do tomate no segundo dia, porém em c) as temperaturas estavam muito próximas, das 8 horas 40 minutos até as 10 horas e 20 minutos, influenciando na alta humidade.

O peso inicial da amostra de tomate foi de 30 kg, e após o processo de secagem, o peso final da amostra reduziu para 1.027 g. Isso corresponde a uma perda de aproximadamente 95,75% de água.

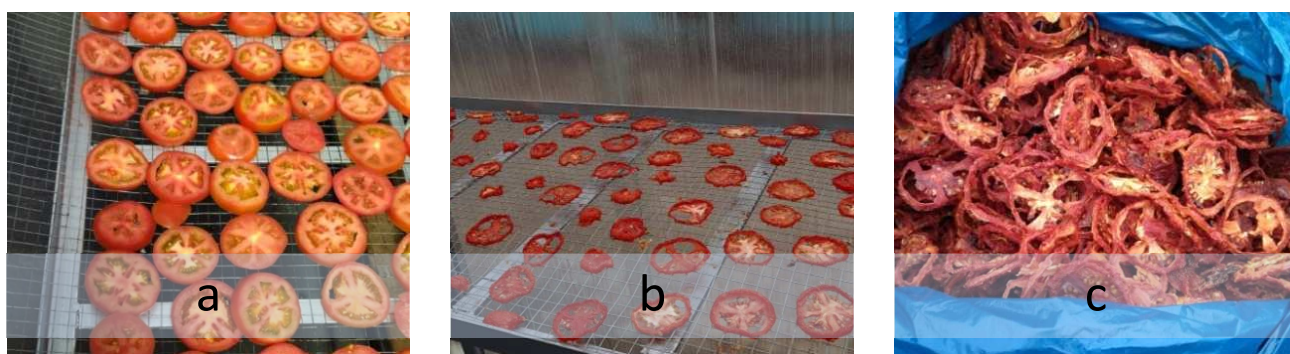


Figura 21:a) Tomate fresco depois de colocado na prateleira (b) tomates semi-desidratados no segundo dia, (c)tomate depois de finalizado o processo de secagem no secador solar

4.1.3. Análise da velocidade do vento fora da estufa

Os dados da velocidade do vento fora da estufa, da primeira amostra no terceiro dia, revelam uma variação de 0.5-1.5 m/s. Para a velocidade de 0.5 m/s verificou-se que houve saída de ar húmido, e entrada de ar mais seco dentro do secador, por outro lado a velocidade de 1.5 m/s propiciou a remoção óptima do ar, proporcionando uma baixa humidade relativa interna, acelerando deste modo a evaporação e a secagem do produto.

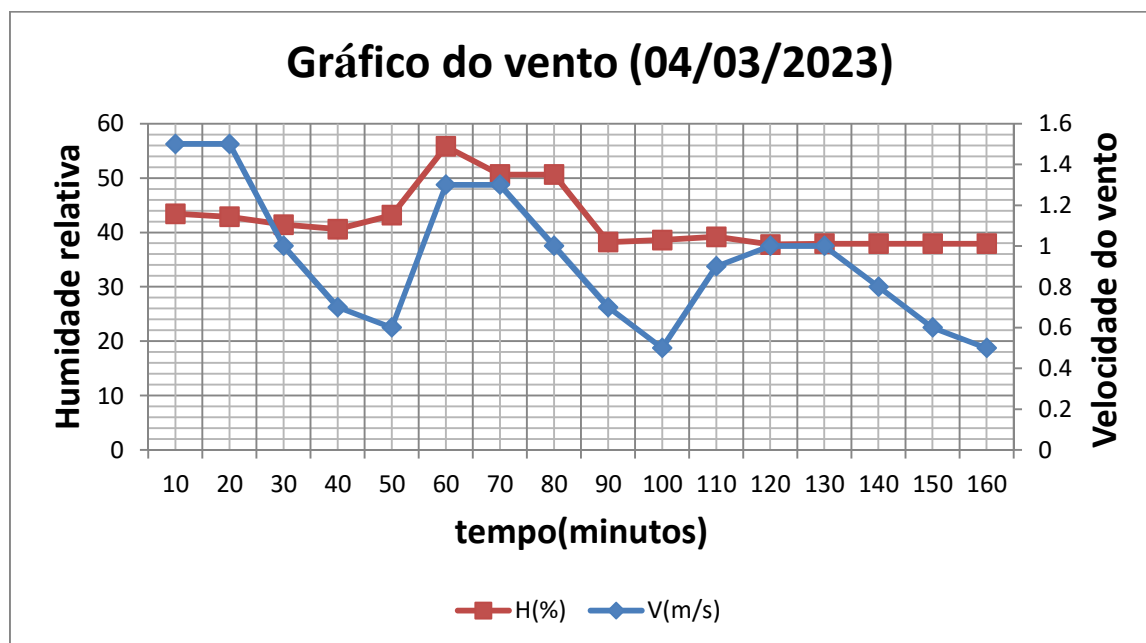


Figura 22: O gráfico mostra a relação da velocidade e a humidade relativa em função do tempo, para o terceiro dia da primeira amostra.

Na figura 22 apresentam-se dados da velocidade do vento fora do secador para o dia 15 de Março de 2023 (Segundo dia da segunda amostra), no início a velocidade do vento era relativamente alta, mas as 13 horas, ela baixou significativamente, o neste dia (o dia 15 de Março de 2023) vento variou de 0-1m/s. Para 1 m/s a humidade relativa dentro do secador reduziu, fazendo com que a eficiência de secagem aumentasse. E para 0 m/s aconteceu o contrário, a remoção do ar foi mínima, favorecendo assim o aumento da humidade (pois o ar húmido tende a permanecer dentro do secador).

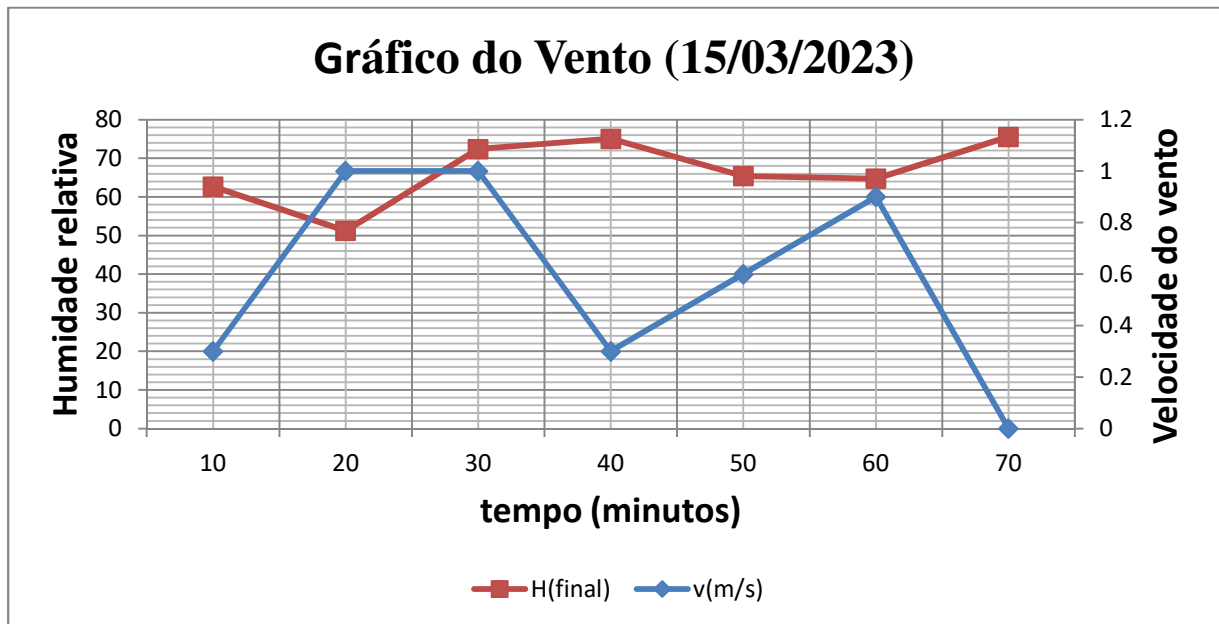


Figura 23: Relação entre a velocidade e a humidade relativa em função do tempo, para o segundo dia da segunda amostra.

A figura 24, mostra que no dia 21 de Março de 2023 (primeiro dia da terceira amostra, a velocidade do vento variou de 0-1.3 m/s, e para esta variação entende-se que houve nas horas iniciais remoção de ar, fazendo com que a humidade baixasse relativamente, e a secagem do tomate fosse mais eficiente, porem nas ultimas horas a humidade voltou a subir devido a velocidade do vento ter baixado.

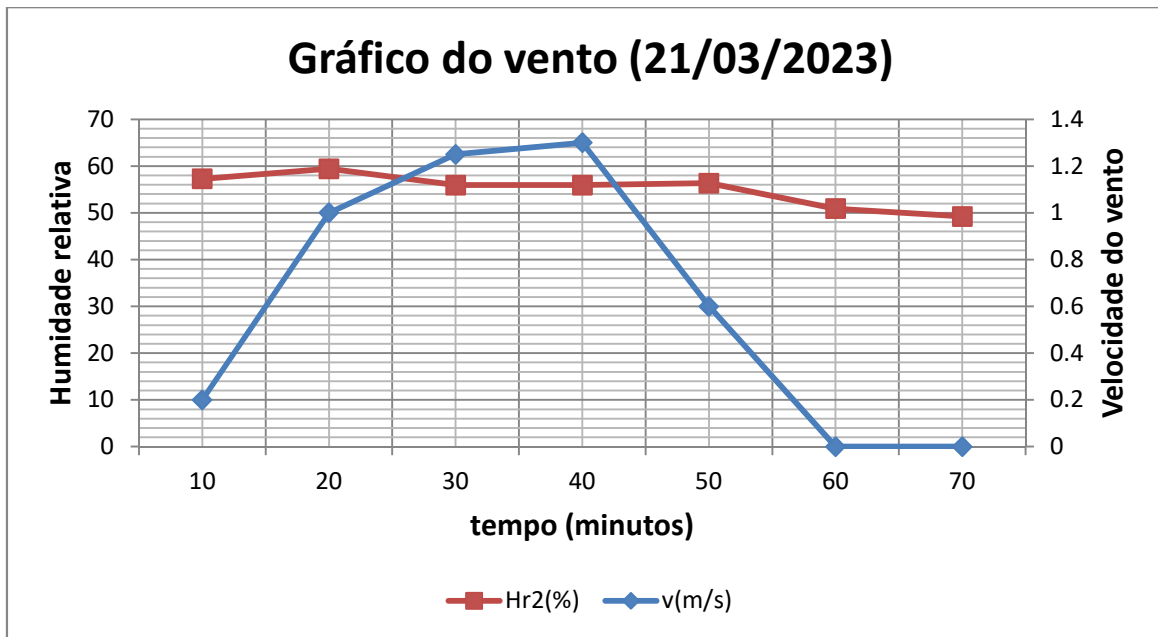


Figura 24: Relação da velocidade do vento e a humidade relativa em função do tempo, para o primeiro dia, da terceira amostra.

CAPITULO V- CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5. Conclusões e Recomendações

A combinação de altas temperaturas, moderada velocidade de vento e baixa humidade relativa favoreceu a secagem eficiente do tomate no secador solar de efeito estufa. Estes factores climáticos foram cruciais para o processo de desidratação de alimentos utilizando energia solar.

- ✓ Através do registo das temperaturas de bulbo seco e de bulbo húmido, foi possível calcular a humidade relativa ao longo de um intervalo de temperaturas que variou de 29 -52°C.
- ✓ Observou-se que a humidade relativa variou alcançando um máximo de 83% e um mínimo de 48%. Essa variação de humidade relativa evidenciou a sua forte dependência das temperaturas medidas. Altas temperaturas reduziram a humidade relativa, enquanto temperaturas mais baixas a aumentaram. As três amostras perderam em média cerca de 96.6% de humidade, o que indica que maior parte da massa foi retirada, constatando assim, que a secagem foi eficiente. Primeira amostra levou 50 horas e 30 minutos para a sua secagem, a segunda amostra 49 horas e 30 minutos, e a terceira amostra levou 48 horas para a secagem, isso deve-se as condições atmosféricas, a primeira levou mais tempo a secar, porque teve muita humidade, durante os dias, enquanto a última amostra, levou menos tempo porque os dias foram de céu limpo.
- ✓ Os resultados mostraram que a velocidade do vento fora da estufa, a partir do primeiro dia da primeira amostra até ao último dia da terceira amostra, variou de 0 a 1,5 m/s. Apesar das velocidades registadas terem sido baixas, tiveram impactos nas trocas térmicas entre o interior e o exterior do secador. As velocidades do vento próximas de 1,5 m/s ajudaram na dissipação do calor excessivo acumulado dentro da estufa, contribuindo para uma temperatura interna mais estável e, conseqüentemente, acelerando na secagem do tomate. Por outro lado, vento fraco (0 m/s) resultou em menor troca de ar, o que pode ter causado acúmulo da humidade e calor no interior do secador.

5.1. Recomendações

- ✓ Para futuros trabalhos, recomenda-se a utilização de controladores automáticos, para monitorar as condições internas do secador, melhorando ainda recolha de dados em 24 horas;
- ✓ Fazendo estudos adicionais pode-se explorar o impacto das variações sazonais e a implementação de sistemas híbridos, de baixo custo, que combinem energia solar com outras fontes de energia (para que durante a noite, haja energia suficiente para manter ambiente interno do secador com baixa humidade relativa e os produtos com baixa humidade).

5.2. Limitações

Durante a realização do trabalho, foram identificadas várias limitações, a saber:

- ✓ Interrupção no registo de dados nocturnos: A insuficiência de meios de fornecimento de corrente eléctrica aos dispositivos de colecta de dados (o computador), impossibilitou o registo contínuo de dados incluindo a noite;
- ✓ Dificuldade na leitura de temperaturas: A escala do termómetro de bulbo húmido era pouco visível, comprometendo a leitura precisa das temperaturas registradas;
- ✓ Baixa base do secador: A base do secador estava muito baixa, permitindo a entrada de pequenas quantidades de água das chuvas;
- ✓ Insuficiência de material de registo de dados: houve insuficiência de equipamentos essenciais, como um psicrómetro em mais de um ponto no interior e fora do secador solar de efeito estufa;

6. Referências Bibliográficas

1. Banze, A. E. (2022). *Concepção de um secador solar de efeito estufa para secagem de hortícolas e frutas*. Maputo.
2. Barbosa, E. G., & George, G. (2018). *Avaliação da secagem do tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) em corte transversal em estufa e secador solar*. Brasil: CONADIS - Conselho Nacional da Diversidade do Semiárido. Brasil.
3. Bezerra, T. S. (2007). *Disidratação de hortaliças: Aspectos teóricos*. Brasília.
4. Ekechukwu, V., & Norton, B. (1999). Review of solar-energy drying systems III: Low temperature air-heating solar collectors for crop drying applications. *Energy Conversion & Management*, 40(6), 657–667. [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(98\)00083-5](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(98)00083-5)
5. EMBRAPA. (2023). *Tomates: Variedades e cultivo*. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.
6. FAO. (2020). Africa regional overview of food security and nutrition. Rome: FAO. <https://doi.org/10.4060/ca7343en>
7. Ferreira, A., & Candeias, M. (2005). O efeito estufa e a utilização de secadores solares. *Jornal da Engenharia Agrícola*, 18(2), 152-158.
8. Fontes, P. C. R., Cardoso, A. A., Finger, F. L., & Ribeiro, C. S. C. (2004). *Produção e qualidade de frutos de tomateiro em função do manejo do nitrogênio e do potássio*. Editora UFV. Brasília
9. Giordano, L. B., & Ribeiro, C. S. C. (2000). Cultivo de tomate para processamento industrial. EMBRAPA Hortaliças.
10. Guina, J. F. (2021). Impact of COVID-19 in Sub-Saharan Africa Food Security and Human Development. *European Journal of Agriculture and Food Sciences*, 3(2), 34-40. <https://doi.org/10.24018/ejfood.2021.3.2.233>
11. Hegnsholt, E., & Shalini, M. B. (2018). *Tackling the 1.6-billion-ton food loss and waste crisis*. The Boston Consulting Group. Geneva.
12. Hoogeveen, H. (2020). Addressing food loss and waste: A global problem with local solutions. In *World Bank Group* (pp. 2-13). London: World Bank.
13. MAE. (2005). *Perfil do distrito de Boane, província de Maputo*. Maputo: Ministério da Administração Estatal.

14. Martins, P. C., Porto, P. S., & Pinto, L. A. (2004). Estudo das propriedades físicas e de transporte na secagem de cebola (*Allium cepa* L.) em camada delgada. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 24(4), 498-503.
15. Monteiro, M., Charlo, H. C. O., Melo, P. C. T., & Fernandes, C. (2008). Tomate: Do plantio à colheita. Editora A Lavoura.
16. Morais, A. R. (2009). A energia solar e a sua aplicação na secagem de produtos agrícolas. *Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias*, 2(4), 211-221.
17. Naika, S., de Jeude, J. V. L., Goffau, M., Hilmi, M., & Van Dam, B. (2006). *Cultivo de tomate: Manual técnico*. Fundação Agromisa.
18. Nascimento, V. R. (2014). Secagem convectiva e com radiação infravermelha de grãos de Moringa oleifera Lam. Universidade Estadual de Campinas.
19. Nimnuan, P., & Nimnuan, T. (2020). Case Studies in Thermal Engineering. *Case Studies in Thermal Engineering*, 12. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2020.100549>
20. Oliveira, T. M. (2020). *Efeito de revestimentos comestíveis na qualidade do tomate cereja cultivado nos sistemas orgânico e convencional*. Universidade Federal de Goiás.
21. Pardhi, T. R., & Bhagoria, J. L. (2013). Development and performance evaluation of mixed-mode solar dryer with thermal storage. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 4, 23. <https://doi.org/10.1186/2251-6832-4-23>
22. Park, K. J., Vohnikova, Z., & Brod, F. P. R. (2007). Estudo da cinética de secagem de produtos alimentícios. *Journal of Food Engineering*, 79(3), 1302-1309. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.04.034>
23. Pereira, A. S., Freitas, S. T., & Resende, J. T. V. (2006). Cultivo de tomate para mesa e para processamento industrial. EMBRAPA Hortaliças.
24. Pires, P. M., Oliveira, F. G., & Reis, A. A. (2015). Utilização de um secador solar na secagem de frutas tropicais. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, 4(3), 33-45. <https://doi.org/10.5935/2359-0847.20150004>
25. Reis, M. (2019). Aplicações da energia solar na agricultura. In *Manual de energias renováveis* (pp. 102-125). Editora Sustentável.
26. Santos, R. M. (2022). Secagem de produtos e subprodutos agrícolas. Viseu.
27. Sousa, J. d., Afonso, A. D., & Donzelles, S. M. (2001). Secagem e armazenagem de produtos agrícolas.

28. Souza, J. S., Oliveira, E. C., & Mendes, M. L. (2018). Aspectos climáticos e de projeto de secadores solares para frutas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 22(6), 445-451. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n6p445-451>
29. Tavares, A. C., & Aguilar, E. W. (2020). Secagem solar de tomate Carmem: análise de curvas de secagem para diferentes padrões de corte. In *X Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção*. Brasil.
30. Thomazini, L. F. (2015). Estudos do comportamento da temperatura e da umidade relativa do ar no interior de um secador solar misto de ventilação natural. Universidade de São Paulo.
31. Tiwari, A. (2016). A review on solar drying of agricultural produce. *Journal of Food Processing & Technology*. <https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000599>
32. Trento, R., Lima, L. F., & Monteiro, C. D. (2021). Manual de cultivo do tomate italiano: Características e boas práticas de manejo. Instituto de Agronomia de São Paulo.
33. Vega-Gálvez, A., Miranda, M., Vergara, J., Uribe, E., Puente, L., & Martínez, E. A. (2012). Cinética de secagem de produtos agrícolas: Modelagem e otimização. *Food and Bioproducts Processing*, 90(2), 155-162.

ANEXOS

Anexo 1 – Tabela das humidades relativas do rio Umbeluzi

Anexo 2 – Tabelas de humidades relativas extrapoladas.

Anexo 3 – Imagens ilustrativas do secador, seus componentes, materiais e amostras de tomate.

ANEXO 1 – Tabela das humidades relativas do rio Umbeluzi

Estação meteorológica de: UMBELUZI												HUMIDADE RELATIVA																		
Ts	27.3	27.4	27.5	27.6	27.7	27.8	27.9	28.0	28.1	28.2	28.3	28.4	28.5	28.6	28.7	28.8	28.9	29.0	29.1	29.2	29.3	29.4	29.5	29.6	29.7	29.8	29.9	30.0	30.1	
23.6																														
23.7																														
23.8																														
23.9																														
24.0																														
24.1																														
24.2																														
24.3																														
24.4																														
24.5																														
24.6																														
24.7																														
24.8																														
24.9																														
25.0																														
25.1																														
25.2																														
25.3																														
25.4																														
25.5																														
25.6																														
25.7																														
25.8																														
25.9																														
26.0																														
26.1																														
26.2																														
26.3																														
26.4																														
26.5																														
26.6																														
26.7																														
26.8																														
26.9																														
27.0																														
27.1																														
27.2																														
27.3	100																													
27.4	99	100																												
27.5	98	99	100																											
27.6	98	98	99	100																										
27.7	97	98	98	99	100																									
27.8	96	97	98	98	99	100																								
27.9	95	96	97	98	98	99	100																							
28.0	94	95	96	97	98	98	99	100																						
28.1	94	95	95	96	97	98	98	99	100																					
28.2	93	94	95	95	96	97	98	98	99	100																				
28.3	92	93	94	95	95	96	97	98	98	99	100																			
28.4	91	92	93	94	95	95	96	97	98	98	99	100																		
28.5	91	92	92	93	94	95	95	96	97	98	98	99	100																	
28.6	90	91	92	92	93	94	95	95	96	97	98	98	99	100																
28.7	89	90	91	92	92	93	94	95	95	96	97	98	98	99	100															
28.8	89	89	90	91	92	92	93	94	95	95	96	97	98	98	99	100														
28.9	88	89	89	90	91	92	92	93	94	95	95	96	97	98	98	99	100													
29.0	87	88	89	89	90	91	92	92	93	94	95	95	96	97	98	98	99	100												
29.1	86	87	88	89	89	90	91	92	92	93	94	95	95	96	97	98	98	99	100											
29.2	86	86	87	88	89	89	90	91	92	92	93	94	95	95	96	97	98	98	99	100										
29.3	85	86	87	87	88	89	89	90	91	92	92	93	94	95	95	96	97	98	98	99	100									
29.4	84	85	86	87	87	88	89	89	90	91	92	92	93	94	95	95	96	97	98	98	99	100								
29.5	84	84	85	86	87	87	88	89	89	90	91	92	92	93	94	95	95	96	97	98	98	99	100							
29.6	83	84	84	85	86	87	87	88	89	89	90	91	92	92	93	94	95	95	96	97	98	98	99	100						
29.7	82	83	84	84	85	86	87	87	88	89	90	90	91	92	92	93	94	95	95	96	97	98	98	99	100					
29.8	82	82	83	84	84	85	86	87	87	88	89	90	90	91	92	92	93	94	95	95	96	97	98	98	99	100				
29.9	81	82	82	83	84	85	85	86	87	87	88	89	90	90	91	92	92	93	94	95	95	96	97	98	98	99	100			
30.0	80	81	82	82	83	84	85	85	86	87	87	88	89	90	90	91	92	92	93	94	95	95	96	97	98	98	99	100		
30.1	80	80	81	82	82	83	84	85	85	86	87	87	88	89	90	90	91	92	93	93	94	95	95	96	97	98	98	99	100	
30.2	79	80	80	81	82	83	83	84	85	85	86	87	87	88	89	90	90	91	92	93	93	94	95	95	96	97	98	98	99	
30.3	78	79	80	80	81	82	83	83	84	85	85	86	87	87	88	89	90	90	91	92	93	93	94	95	95	96	97	98	98	
30.4	78	78	79	80	81	81	82	83	83	84	85	85	86	87	88	88	89	90	90	91	92	93	93	94	95	96	96	97	98	
30.5	77	78	79	79	80	81	81	82	83	83	84	85	85	86	87	88	88	89	90	90	91	92	93	93	94	95	96	96	97	
30.6	77	77	78	79	79	80	81	81	82	83	83	84	85	85	86	87	88	88	89	90	90	91	92	93	93	94	95	96	96	
30.7	76	77	77	78	79	79	80	81	81	82	83	83	84	85	85	86	87	88	88	89	90	90	91	92	93	93	94	95	96	
30.8	75	76	77	77	78	79	79	80	81	81	82	83	83	84	85	86	86	87	88	88	89	90	90	91	92	93	93	94	95	
30.9	75	75	76	77	77	78	79	79	80	81	81	82	83	83	84	85	86	86	87	88	88	89	90	90	91	92	93	93	94	
31.0	74	75	75	76	77	77	78	79	79	80	81	81	82	83	83	84	85	86												

ANEXO 1 – Tabela das humidades relativas do rio Umbeluzi (Cont.)

Estação meteorológica de:		UMBELUZI																														HUMIDADE RELATIVA											
Ts																															Tw												
	27.3	27.4	27.5	27.6	27.7	27.8	27.9	28.0	28.1	28.2	28.3	28.4	28.5	28.6	28.7	28.8	28.9	29.0	29.1	29.2	29.3	29.4	29.5	29.6	29.7	29.8	29.9	30.0	30.1														
32.8	64	65	65	66	66	67	68	68	69	69	70	71	71	72	72	73	74	74	75	76	76	77	78	78	79	79	80	81	81														
32.9	63	64	65	65	66	66	67	68	68	69	69	70	71	71	72	73	73	74	74	75	76	76	77	78	78	79	79	80	81														
33.0	63	64	64	65	65	66	67	67	68	68	69	70	70	71	71	72	73	73	74	74	75	76	76	77	78	78	79	80	80														
33.1	62	63	64	64	65	65	66	67	67	68	68	69	70	70	71	71	72	73	73	74	74	75	76	76	77	78	78	79	80														
33.2	62	63	63	64	64	65	65	66	67	67	68	68	69	70	70	71	71	72	73	73	74	75	75	76	76	77	78	78	79														
33.3	61	62	63	63	64	64	65	66	66	67	67	68	68	69	70	70	71	72	72	73	73	74	75	75	76	76	77	78	78														
33.4	61	62	62	63	63	64	64	65	66	66	67	67	68	68	69	70	70	71	72	72	73	73	74	75	75	76	76	77	78														
33.5	60	61	62	62	63	63	64	64	65	66	66	67	67	68	68	69	70	70	71	72	72	73	73	74	75	75	76	76	77														
33.6	60	61	61	62	62	63	63	64	65	65	66	66	67	67	68	68	69	70	70	71	72	72	73	73	74	75	75	76	77														
33.7	59	60	61	61	62	62	63	63	64	65	65	66	66	67	67	68	68	69	70	70	71	72	72	73	74	75	75	76	77														
33.8	59	60	60	61	61	62	62	63	64	64	65	65	66	66	67	67	68	68	69	70	70	71	72	72	73	74	74	75	76														
33.9	58	59	60	60	61	61	62	62	63	64	64	65	65	66	66	67	67	68	68	69	69	70	71	72	72	73	74	74	75														
34.0	58	59	59	60	60	61	61	62	62	63	64	64	65	65	66	66	67	67	68	68	69	69	70	71	72	72	73	74	74														
34.1	58	58	59	59	60	60	61	61	62	62	63	63	64	64	65	65	66	66	67	67	68	68	69	70	71	72	73	73	74														
34.2	57	58	58	59	59	60	60	61	61	62	62	63	63	64	64	65	65	66	66	67	67	68	68	69	70	71	71	72	73	73													
34.3	57	57	58	58	59	59	60	60	61	61	62	62	63	63	64	64	65	65	66	66	67	67	68	68	69	70	71	71	72	73													
34.4	56	57	57	58	58	59	59	60	60	61	61	62	62	63	63	64	64	65	65	66	66	67	67	68	68	69	70	71	71	72													
34.5	56	56	57	57	58	58	59	59	60	60	61	61	62	62	63	63	64	64	65	65	66	66	67	67	68	68	69	70	71	72													
34.6	55	56	56	57	57	58	58	59	60	60	61	61	62	62	63	63	64	64	65	65	66	66	67	67	68	68	69	70	71	72													
34.7	55	55	56	56	57	57	58	58	59	60	60	61	61	62	62	63	64	64	65	65	66	66	67	67	68	68	69	70	71	72													
34.8	54	55	55	56	56	57	58	58	59	60	60	61	61	62	62	63	64	64	65	65	66	66	67	67	68	68	69	70	71	72													
34.9	54	54	55	55	56	57	57	58	58	59	60	60	61	61	62	62	63	63	64	64	65	65	66	66	67	67	68	68	69	70													
35.0	53	54	54	55	55	56	56	57	57	58	58	59	59	60	60	61	61	62	62	63	63	64	64	65	65	66	66	67	67	68													
35.1	53	54	54	55	55	56	56	57	57	58	58	59	59	60	60	61	61	62	62	63	63	64	64	65	65	66	66	67	67	68													
35.2	53	53	54	54	55	55	56	56	57	57	58	58	59	60	60	61	61	62	62	63	63	64	64	65	65	66	66	67	67	68													
35.3	52	53	53	54	54	55	55	56	56	57	57	58	58	59	60	60	61	61	62	62	63	63	64	64	65	65	66	66	67	67													
35.4	52	52	53	53	54	54	55	55	56	56	57	57	58	59	60	60	61	61	62	62	63	63	64	64	65	65	66	66	67	67													
35.5	51	52	52	53	53	54	54	55	55	56	56	57	57	58	58	59	60	60	61	61	62	62	63	63	64	64	65	65	66	66													
35.6	51	51	52	52	53	53	54	54	55	55	56	56	57	57	58	58	59	60	60	61	61	62	62	63	63	64	64	65	65	66													
35.7	50	51	51	52	52	53	54	54	55	55	56	56	57	57	58	58	59	60	60	61	61	62	62	63	63	64	64	65	65	66													
35.8	50	51	51	52	52	53	53	54	54	55	55	56	56	57	57	58	58	59	60	60	61	61	62	62	63	63	64	64	65	65													
35.9	50	50	51	51	52	52	53	53	54	54	55	55	56	56	57	57	58	58	59	60	60	61	61	62	62	63	63	64	64	65													
36.0	49	50	50	51	51	52	52	53	53	54	54	55	55	56	56	57	57	58	58	59	60	60	61	61	62	62	63	63	64	65													
36.1	49	49	50	50	51	51	52	52	53	53	54	54	55	55	56	56	57	57	58	58	59	60	60	61	61	62	62	63	63	64													
36.2	48	49	49	50	50	51	51	52	52	53	53	54	54	55	55	56	56	57	57	58	58	59	60	60	61	61	62	62	63	63													
36.3	48	49	49	50	50	51	51	52	52	53	53	54	54	55	55	56	56	57	57	58	58	59	60	60	61	61	62	62	63	63													
36.4	48	48	49	49	50	50	51	51	52	52	53	53	54	54	55	55	56	56	57	57	58	58	59	60	60	61	61	62	62	63													
36.5	47	48	48	49	49	50	50	51	51	52	52	53	53	54	54	55	55	56	56	57	57	58	58	59	60	60	61	61	62	63													
36.6	47	47	48	48	49	49	50	50	51	51	52	52	53	53	54	54	55	55	56	56	57	57	58	58	59	60	60	61	61	62													
36.7	46	47	47	48	48	49	49	50	50	51	51	52	52	53	53	54	54	55	55	56	56	57	57	58	58	59	60	60	61	62													
36.8	46	47	47	47	48	48	49	49	50	50	51	51	52	52	53	53	54	54	55	55	56	56	57	57	58	58	59	60	60	61													
36.9	46	46	47	47	48	48	49	49	50	50	51	51	52	52	53	53	54	54	55	55	56	56	57	57	58	58	59	60	60	61													
37.0	45	46	46	47	47	48	48	49	49	50	50	51	51	52	52	53	53	54	54	55	55	56	56	57	57	58	58	59	60	61													
37.1	45	45	46	46	47	47	48	48	49	49	50	50	51	51	52	52	53	53	54	54	55	55	56	56	57	57	58	58	59	60													
37.2	45	45	45	46	46	47	47	48	48	49	49	50	50	51	51	52	52	53	53	54	54	55	55	56	56	57	57	58	58	59													
37.3	44	45	45	46	46	47	47	48	48	49	49	50	50	51	51	52	52	53	53	54	54	55	55	56	56	57	57	58	58	59													

Estação meteorológica de:		UMBELUZI																														HUMIDADE RELATIVA											
Ts																															Tw												
	27.3	27.4	27.5	27.6	27.7	27.8	27.9	28.0	28.1	28.2	28.3	28.4	28.5	28.6	28.7	28.8	28.9	29.0	29.1	29.2	29.3	29.4	29.5	29.6	29.7	29.8	29.9	30.0	30.1														
37.4	44	44	45	45	46	46	47	47	48	48	48	49	49	50	50	51	51	52	52	53	53	54	54	55	55	56	56	57	57														
37.5	43	44	44	45	45	46	46	47	47	48	48	49	49	50	50	51	51	52	52	53	53	54	54	55	55	56	56	57	57														
37.6	43	44	44	44	45	45	46	46	47	47	48	48	49	49	50	50	51	51	52	52	53	53	54	54	55	55	56	56	57														
37.7	43	43	44	44	45	45	46	46	47	47	48	48	49	49	50	50	51	51	52	52	53	53	54	54	55	55	56	56	57														
37.8	42	43	43	44	44	45	45	46	46	47	47	48	48	49	49	50	50	51	51	52	52	53	53	54	54	55	55	56	56														
37.9	42	42	43	43	44	44	45	45	46	46	47	47	48	48	49	49	50	50	51	51	52	5																					

ANEXO 1 – Tabela das humidades relativas do rio Umbeluzi (Cont.)

Estação meteorológica de:		UMBELUZI																				HUMIDADE RELATIVA									
Ts	Tw																														
	27.3	27.4	27.5	27.6	27.7	27.8	27.9	28.0	28.1	28.2	28.3	28.4	28.5	28.6	28.7	28.8	28.9	29.0	29.1	29.2	29.3	29.4	29.5	29.6	29.7	29.8	29.9	30.0	30.1		
42.0	30	30	30	31	31	32	32	32	33	33	33	34	34	35	35	35	36	36	36	37	37	37	38	38	38	39	39	40	40		
42.1	29	30	30	31	31	31	32	32	32	33	33	34	34	35	35	35	36	36	36	37	37	37	38	38	38	39	39	40	40		
42.2	29	30	30	30	31	31	31	32	32	32	33	33	34	34	35	35	35	36	36	37	37	37	38	38	39	39	39	40	40		
42.3	29	29	30	30	30	31	31	31	32	32	33	33	34	34	35	35	35	36	36	36	37	37	37	38	38	39	39	39	40		
42.4	29	29	29	30	30	31	31	31	32	32	32	33	33	34	34	35	35	35	36	36	36	37	37	37	38	38	39	39	40		
42.5	28	29	29	30	30	30	31	31	31	32	32	32	33	33	34	34	34	35	35	35	36	36	36	37	37	38	38	39	40		
42.6	28	29	29	29	30	30	30	31	31	31	32	32	33	33	33	34	34	34	35	35	35	36	36	37	37	37	38	38	38		
42.7	28	28	29	29	29	30	30	30	31	31	32	32	32	33	33	33	34	34	34	35	35	35	36	36	37	37	37	38	38		
42.8	28	28	28	29	29	29	30	30	31	31	31	32	32	32	33	33	33	34	34	35	35	35	36	36	37	37	37	38	38		
42.9	28	28	28	29	29	29	30	30	30	31	31	31	32	32	32	33	33	34	34	34	35	35	35	36	36	36	37	37	38		
43.0	27	28	28	28	29	29	29	30	30	30	31	31	31	32	32	33	33	33	34	34	34	35	35	35	36	36	37	37	37		
43.1	27	27	28	28	28	29	29	29	30	30	30	31	31	32	32	32	33	33	33	34	34	34	35	35	36	36	37	37	37		
43.2	27	27	27	28	28	28	29	29	30	30	30	31	31	31	32	32	32	33	33	33	34	34	35	35	35	36	36	37	37		
43.3	27	27	27	28	28	28	29	29	30	30	30	31	31	31	32	32	32	33	33	33	34	34	35	35	35	36	36	37	37		
43.4	26	27	27	27	28	28	28	29	29	30	30	30	31	31	31	32	32	33	33	33	34	34	34	35	35	35	36	36	36		
43.5	26	26	27	27	27	28	28	28	29	29	30	30	30	31	31	31	32	32	33	33	33	34	34	34	35	35	35	36	36		
43.6	26	26	27	27	27	28	28	28	29	29	29	30	30	30	31	31	31	32	32	32	33	33	33	34	34	35	35	35	36		
43.7	26	26	26	27	27	27	28	28	28	29	29	29	30	30	30	31	31	31	32	32	32	33	33	34	34	34	35	35	35		
43.8	25	26	26	26	27	27	27	28	28	28	29	29	29	30	30	30	31	31	32	32	32	33	33	34	34	34	35	35	35		
43.9	25	26	26	26	27	27	27	28	28	28	29	29	29	30	30	30	31	31	31	32	32	32	33	33	34	34	34	35	35		
44.0	25	25	26	26	26	27	27	27	28	28	28	29	29	29	30	30	30	31	31	31	32	32	32	33	33	34	34	35	35		
44.1	25	25	25	26	26	26	27	27	27	28	28	28	29	29	29	30	30	30	31	31	31	32	32	33	33	34	34	35	35		
44.2	25	25	25	26	26	26	27	27	27	28	28	28	29	29	29	30	30	30	31	31	31	32	32	32	33	33	34	34	35		
44.3	24	25	25	25	26	26	26	27	27	27	28	28	28	29	29	29	30	30	30	31	31	31	32	32	32	33	33	34	35		
44.4	24	24	25	25	25	26	26	26	27	27	27	28	28	28	29	29	29	30	30	30	31	31	31	32	32	32	33	33	34		
44.5	24	24	25	25	25	26	26	26	26	27	27	27	28	28	28	29	29	29	30	30	30	31	31	31	32	32	33	33	34		
44.6	24	24	24	25	25	25	26	26	26	27	27	27	28	28	28	29	29	29	30	30	30	31	31	31	32	32	32	33	34		
44.7	24	24	24	24	25	25	25	26	26	26	27	27	27	28	28	28	29	29	29	30	30	30	31	31	31	32	32	32	33		
44.8	23	24	24	24	25	25	25	26	26	26	27	27	27	28	28	28	29	29	29	30	30	30	31	31	31	32	32	32	33		
44.9	23	23	24	24	24	25	25	25	26	26	26	27	27	27	28	28	28	29	29	29	30	30	30	31	31	31	32	32	33		
45.0	23	23	24	24	24	24	25	25	25	26	26	26	27	27	27	28	28	28	29	29	29	30	30	30	31	31	31	32	32		

ANEXO 2 – Tabelas de humidades relativas extrapoladas.

PRIMEIRO DIA DA PRIMEIRA AMOSTRA (02/03/2023)														
#02/03/2023	t(minutos)	t(minutos)	ts(°C)	th(°C)	H (%)	es	e	Hr2(%)	corelacao	md corre	e(final)	y	media de gama	H(%)
1	10	10	34.9	28.1	58.00	55.93	37.49	67.02	0.87	0.86	37.44	2.71	2.72	57.92
2	20	20	35	28	57.00	56.24	37.15	66.06	0.86		37.20	2.73	2.88	57.09
3	30	30	37.5	29	51.00	64.49	38.26	59.32	0.86		40.03	2.89	3.18	51.26
4	40	40	36.1	28.5	55.00	59.75	37.82	63.30	0.87		37.88	2.87	3.72	54.71
5	50	50	36	28	53.00	59.42	36.46	61.35	0.86		33.96	3.09	3.82	53.02
6	60	60	37	28.1	54.00	62.76	35.93	57.25	0.94		34.44	3.01	4.21	49.48
7	70	70	40	29.1	43.00	73.77	36.20	49.08	0.88		39.08	3.45		42.41
8	80	80	42	31.9	54.24	82.01	44.29	54.00	1.00		44.48	3.66		46.67
9	90	90	42.5	31.9	53.22	84.19	43.84	52.07	1.02		44.80	3.73		45.00
10	100	100	41.5	30	41.00	79.88	37.76	47.27	0.87		37.15	3.75		40.85
11	110	110	46	32.5	48.93	100.89	42.69	42.32	1.16		49.37	3.81		36.57
12	120	120	42.5	31.5	50.14	84.19	42.31	50.26	1.00		42.21	3.81		43.44
13	130	130	42.7	32.5	54.24	85.07	45.95	54.01	1.00		46.15	3.84		46.68
14	140	140	42.1	31	43.38	82.44	40.83	49.52	0.88		35.76	4.15		42.80
15	150	150	44.9	32.5	45.32	95.36	43.87	46.00	0.99		43.21	4.15		39.76
16	160	160	44.9	32.5	45.32	95.36	43.87	46.00	0.99		43.21	4.31		39.76

ANEXO 2 – Tabelas de humidades relativas extrapoladas.

SEGUNDO DIA DA PRIMEIRA AMOSTRA (03/03/2023)

t(minutos)	ts (°C)	th(°C)	H1(%)	es	e	Hr2(%)	Corelacao	md corre.	e(final)	y	media de gama	H(%)
10	31	28	79	44.9375	38.4854	85.642	0.9224441	0.8848		2.1507	2.6067	75.77608094
20	36	28.5	55	59.4246	37.8944	63.7688	0.8624905			2.8707	3.1635	56.42264995
30	37	29	54	62.7635	38.6459	61.5739	0.8769956			2.7987	3.3267	54.4805468
40	35.5	28.5	58	57.8137	38.2228	66.1138	0.8772758			3.0147	3.4995	58.49745078
50	38.9	30.5	61.7962	69.557	41.9353	60.2891	1.0249985		42.9836	3.1875	3.6387	53.34379605
60	41.5	31	56.2709	79.879	41.4207	51.8543	1.0851748		44.9487	3.2883	3.7011	45.88065981
70	43	32	55.4544	86.416	43.7503	50.6275	1.095341		47.9215	3.3027	3.7683	44.79525551
80	41.5	31.2	53.0808	79.879	42.1532	52.7713	1.0058643		42.4004	3.3027	3.8547	46.69207582
90	40	30	47	73.7738	39.3068	53.2801	0.8821297		38.7788	3.3747	3.9555	47.14227354
100	40.1	31	57.063	74.1678	42.6718	57.5341	0.991811		42.3224	3.4467	4.2147	50.90621327
110	40	30	47	73.7738	39.3068	53.2801	0.8821297			3.4611	4.4163	47.14227354
120	41	31.1	55.4675	77.7972	42.2493	54.3069	1.0213703		43.1521	3.5907	4.5027	48.05076957
130	43	33	57.1711	86.416	47.629	55.116	1.0372882		49.405	3.5907		48.76659591
140	42	31.1	47.4265	82.0089	41.3006	50.3612	0.9417268		38.8939	3.6627		44.55957092
150	39	29	46	69.9315	36.9045	52.7724	0.871668			3.6627		46.69300817
160	42.1	31.1	49.7198	82.4407	41.2006	49.976	0.9948739		40.9894	3.6627		44.21877816
170	39	30	50	69.9315	40.2072	57.4951	0.8696386			3.7059		50.87170735
180	38.2	30	52	66.9836	40.8461	60.9793	0.8527489			3.7347		53.95445485
190	42.1	32	53.8337	82.4407	44.5747	54.0689	0.9956496		44.3808	3.7491		47.84015086
200	43.1	32.1	49.9118	86.8678	44.0437	50.702	0.9844155		43.3573	3.7491		44.86109647
210	42.5	30.8	47.6299	84.1875	39.6491	47.0962	1.0113314		40.0984	3.8067		41.67073291

220	41.8	31	55.7266	81.1511	41.1274	50.68	1.0995774		45.2228	3.8067		44.84167816
230	46.7	33	42.1287	104.548	44.1105	42.1916	0.9985092		44.0447	3.8787		37.3311226
240	41	29.5	41	77.7972	36.5041	46.9222	0.873787			3.8787		41.51675253
250	41.5	30.1	42	79.879	38.1243	47.7275	0.8799959			3.8931		42.2292878
260	47.5	32.5	37.9638	108.873	40.9722	37.6331	1.0087864		41.3322	3.9507		33.29779289
270	46.5	32.4	39.8303	103.49	41.6942	40.288	0.9886373		41.2204	4.0227		35.64686165
280	39.5	29.1	51.8342	71.8304	36.7336	51.1393	1.0135898		37.2328	4.0227		45.24802529
290	45.5	33	46.4262	98.3387	45.3549	46.1212	1.0066145		45.6549	4.2387		40.80799389
300	43.5	31	44.2543	88.6952	39.3115	44.322	0.9984737		39.2515	4.3827		39.21607679
310	47	32.5	38.4947	106.152	41.559	39.1504	0.9832527		40.863	4.3827		34.6402636
320	44	31	43.5091	91.0261	38.731	42.5493	1.0225556		39.6046	4.4115		37.64765752
330	42.5	30.1	43.224	84.1875	36.9845	43.931	0.9839068		36.3893	4.4547		38.87017847
340	46.5	32.1	41.3552	103.49	40.3794	39.0176	1.0599117		42.7986	4.4547		34.52275232
350	44	31	39.8073	91.0261	38.731	42.5493	0.9355555		36.235	4.5267		37.64765752
360	47	32.2	38.4268	106.152	40.2226	37.8914	1.0141294		40.7909	4.5267		33.52633802
370	47.5	31.9	35.1385	108.873	38.2562	35.1385	1		38.2562	4.5267		31.09050461

ANEXO 2 – Tabelas de humidades relativas extrapoladas.

#04/03/2023	t(minutos)	ts(°C)	th(°C)	V(m/s)	es	e	H(%)
1	10	49	35	1.5	117.398	51	43.442
2	20	49.2	35	1.5	118.577	50.8214	42.8595
3	30	49.7	35	1	121.569	50.3692	41.4327
4	40	50	35	0.7	123.395	50.0944	40.5968
5	50	48	34.2	0.6	111.653	48.1911	43.1614
6	60	44	34	1.3	91.0261	50.7991	55.8072
7	70	43	32	1.3	86.416	43.7503	50.6275
8	80	43	32	1	86.416	43.7503	50.6275
9	90	48	33	0.7	111.653	42.6726	38.2189
10	100	50	34.5	0.5	123.395	47.651	38.6167
11	110	52	36	0.9	136.183	53.3878	39.203
12	120	51.5	35.3	1	132.884	50.22	37.7925
13	130	51	35	1	129.653	49.1623	37.9182
14	140	51	35	0.8	129.653	49.1623	37.9182
15	150	51	35	0.6	129.653	49.1623	37.9182
16	160	51	35	0.5	129.653	49.1623	37.9182

ANEXO 2 – Tabelas de humidades relativas extrapoladas.

PRIMEIRO DIA DA SEGUNDA AMOSTRA (14/03/2023)

#14/03/2023	t(minutos)	ts(°C)	th(°C)	H(%)	V(m/s)	es	e	H(%)
1	10	39	32		1	69.9315	46.8126	66.9407
2	20	41	31		1	77.7972	41.8902	53.8454
3	30	35.5	31.1		0.6	57.8137	45.4994	78.7001
4	40	35	29.5	65	0.8			65
5	50	35	30	68	0.2			68
6	60	40	30.5		0	73.7738	41.0301	55.6161
7	70	44	33		0.5	91.0261	46.7764	51.3879
9	80	44	34.5		1	91.0261	52.8105	58.0168
10	90	45	35		0.9	95.8469	54.1799	56.5275

ANEXO 2 – Tabelas de humidades relativas extrapoladas.

SEGUNDO DIA DA SEGUNDA AMOSTRA (15/03/2023)														
#15/03/2023	t(minutos)	ts(°C)	th(°C)	H(%)	v(m/s)	Es	e	Hr2(%)	correlação	Md correlação	e(final)	y	Md de y	H(final)
1	10	40.6	32.6	59.87	0.3	76.17	47.90	62.89	0.95	0.996	45.60	2.81	2.84	62.67
2	20	44.6	33.5	54.83	1	93.89	48.28	51.42	1.07		51.48	2.87	3.28	51.24
3	30	37.2	31.5	70.55	1	63.45	46.10	72.66	0.97		44.76	3.04	3.82	72.40
4	40	35.6	30.5	75.07	0.3	58.13	43.79	75.32	1.00		43.64	3.35		75.05
5	50	39.3	32	66.32	0.6	71.07	46.64	65.63	1.01		47.13	3.45		65.40
6	60	40	32.5	66.67	0.9	73.77	47.92	64.96	1.03		49.18	3.53		64.73
7	70	36	31	76.09	0	59.42	45.07	75.85	1.00		45.22	4.11		75.57

ANEXO 2 – Tabelas de humidades relativas extrapoladas.

TERCEIRO DIA DA SEGUNDA AMOSTRA (16/03/2023)														
#17/03/2023	t(minutos)	ts(°C)	th(°C)	H(%)	v(m/s)	es	e	Hr2(%)	Correlação	Md corre.	e(final)	Y	Md de y	H(final)
1	10	40	31	59.71	0	73.77	42.75	57.95	1.03	0.99	44.05	3.16	3.30	57.60
2	20	38	31	65.11	0.9	66.26	44.15	66.63	0.98		43.14	3.45	3.66	66.23
3	30	40.5	33	63.74	0.5	75.76	49.37	65.17	0.98		48.29	3.52	4.37	64.78
4	40	41	34	67.04	1.15	77.80	52.66	67.69	0.99		52.16	3.59	4.67	67.29
5	50	43	37.5	76.69	0.9	86.42	65.08	75.31	1.02		66.27	3.88	4.84	74.86
6	60	45	40.1	77.67	0.4	95.85	75.43	78.70	0.99		74.44	4.17	4.97	78.23
7	70	47	40.5	73.25	0.6	106.15	77.20	72.72	1.01		77.76	4.45		72.29
8	80	47.2	39	66.60	0.3	107.23	70.47	65.72	1.01		71.41	4.48		70.05
9	90	48.9	45	84.42	0	116.81	98.37	84.21	1.00		98.62	4.60		83.71
10	100	49	46	87.64	0.9	117.40	103.17	87.88	1.00		102.88	4.67		87.35
11	110	48	43	83.60	1	111.65	88.66	79.41	1.05		93.34	4.73		78.93
12	120	48.5	42	79.21	0	114.49	84.13	73.48	1.08		90.69	4.74		73.04
13	130	50	40	70.32	0	123.39	74.53	60.40	1.16		86.77	4.89		60.04
14	140	50.8	39.5	56.23	1	128.38	71.86	55.97	1.00		72.18	4.89		55.64
15	150	50.5	39.5	56.75	1.5	126.49	71.95	56.88	1.00		71.79	4.96		56.54
16	160	50	38	52.94	0.8	123.39	64.75	52.48	1.01		65.33	5.00		52.16
17	170	52	38.5	50.70	1	136.18	66.32	48.70	1.04		69.05	4.96		48.41

ANEXO 2 – Tabelas de humidades relativas extrapoladas.

PRIMEIRO DIA DA TERCEIRA AMOSTRA 21/03/2023								
#21/03/2023	t(minutos)	ts(°C)	th(°C)	H(%)	v(m/s)	es	e	Hr2(%)
1	10	46	36		0.2	100.89	57.78	57.27
2	20	46	36.5		1	100.89	59.93	59.41
3	30	47	36.5		1.25	106.15	59.38	55.94
4	40	47	36.5		1.3	106.15	59.38	55.94
5	50	47.5	37		0.6	108.87	61.34	56.34
6	70	47.9	36		0	111.09	56.54	50.89
7	80	48.3	35.9		0	113.35	55.79	49.22




ANEXO 2 – Tabelas de humidades relativas extrapoladas.

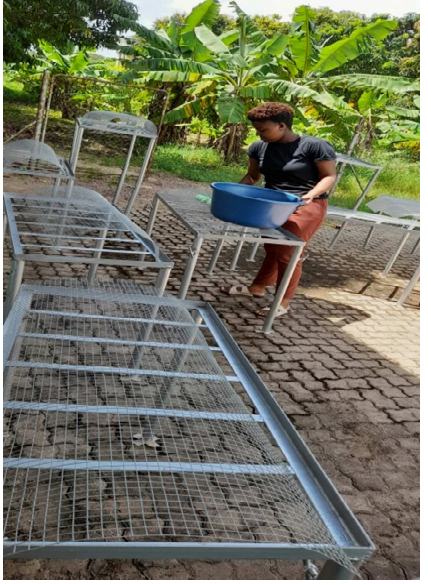


SEGUNDO DIA DA TERCEIRA AMOSTRA (22/03/2023)								
#23/03/2023	t(minutos)	ts(°C)	th(°C)	H(%)	v(m/s)	es	e	Hr2(%)
1	10	46	34		0.2	100.89	49.16	48.73
2	20	47.5	35		1.29	108.87	52.29	48.03
3	30	44.5	33.5		0.6	93.41	48.37	51.78
4	40	49.5	35		0.2	120.36	50.55	42.00
5	50	48	34		0.2	111.65	47.27	42.34


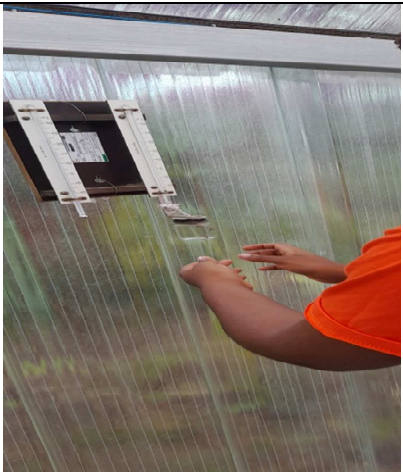

ANEXO 2 – Tabelas de humidades relativas extrapoladas.


TERCEIRO DIA DA TERCEIRA AMOSTRA (23/03/2023)														
#24/03/2023	t(minutos)	ts(°C)	th(°C)	H(%)	v(m/s)	es	E	Hr2(%)	correlação	Md corre.	e(final)	Y	Md de y	H(final)
1	10	29.5	26.5	78	0.3									
2	20	29	26.5	81	0									
3	30	28.5	26	81	0.2									
4	40	28.5	26	81	1									
5	50	27.8	26.5	90	0									
6	60	27.5	26	88	0.6									
7	70	28.5	26.5	85	0.6									
8	80	31	28	79	0.3									
9	90	30.5	29	89	1									
10	100	36.5	30	61	1.29									
11	110	37	32	75.01	2	62.76	47.69	75.98	0.99	0.97	47.08	3.01	3.14	73.39
12	120	42	30	40	1	82.01	37.19	45.35	0.88		38.92	3.26	3.59	43.80
13	130	38.7	31	64.90	0.7	68.81	43.72	63.53	1.02		44.66	3.45		61.35
14	140	40	31.5	58.63	0.3	73.77	44.48	60.29	0.97		43.25	3.73		58.23

ANEXO 3 – Imagens ilustrativas do secador, seus componentes, materiais e amostras de tomate.

Nr.	Descrição	Imagem
1	Secador solar de efeito estufa usado para as medições efectuadas no trabalho.	 A photograph showing the exterior of a solar greenhouse. The structure is built with a metal frame and covered with translucent plastic. It is situated on a paved area with some plants and trees in the background.
2	Ilustração dos seis ventiladores na parte traseira do SSEE.	 A close-up photograph of the back of the greenhouse, showing six circular fans mounted on the wall. The fans are arranged in a horizontal line.
3	Ilustração dos seis ventiladores e o painel solar.	 A photograph showing the solar panel and the fans on the greenhouse. The solar panel is mounted on a metal pole and is positioned above the greenhouse. The fans are visible on the back of the structure.

<p>4</p>	<p>Ilustração da lavagem das prateleiras, para a posterior secagem de tomate.</p>	 A person is shown outdoors, kneeling on a paved surface, washing several long, metal mesh drying racks. The racks are arranged in a row. The person is holding a blue bucket and appears to be rinsing the racks. In the background, there are banana plants and other vegetation.
<p>5</p>	<p>Tomate fresco, antes da sua entrada no secador.</p>	 A close-up shot of a green plastic bowl filled with fresh, ripe red tomatoes. The tomatoes are piled together, and some are cut in half, showing their internal structure. The bowl is sitting on a white tiled surface.
<p>6</p>	<p>Lavagem de tomate e desinfecção do mesmo.</p>	 A person wearing an orange shirt is standing at a white sink, washing a large quantity of red tomatoes. The tomatoes are in a green plastic bowl on the counter. The person is using a brush to scrub the tomatoes. The sink area is tiled with white tiles.

7	Tomate nas prateleiras no interior do SSEE.	 A photograph showing several metal shelves inside a SSEE (Sistema de Estufa de Estufa de Estufa). The shelves are filled with ripe, red tomatoes. The background shows the interior structure of the SSEE, including a black plastic covering on the floor.
8	Leitura das temperaturas de bulbo seco e húmido, medida com o psicrómetro.	 A photograph showing a person's hands holding a psychrometer (a device used for measuring humidity) against a transparent plastic covering. The person is wearing an orange shirt. The background shows the interior of a SSEE.
9	Leitura da velocidade do vento fora do SSEE, usando o anemómetro digital.	 A photograph showing a hand holding a digital anemometer (wind speed meter). The device is black and yellow, with a fan-like sensor at the top. The digital display shows the number '100'. The background shows an outdoor setting with trees and a paved area.

10	Ilustração da condições atmosféricas, a primeira apresenta-se com o céu completamente nublado, e a segunda com céu parcialmente limpo.	
11	Ilustração do tomate seco (completamente desidratado) nas prateleiras, dentro do SSEE.	