UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

AVALIAÇÃO DE EFEITOS SINÉRGICOS NA BIOSSECAGEM CONJUNTA DAS BIOMASSAS DE LARANJA E CANA-DE-AÇÚCAR

Victor Hugo Castanheiro dos Santos

Trabalho de Graduação apresentado ao Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de São Carlos

Orientador: Prof. **Gustavo Dias Maia**

São Carlos – SP

2025

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Dias Mais, DEQ/UFSCar

Convidado: Profa. Dra. Thais Suzane Milessi Esteves, DEQ/UFSCar

Professor da Disciplina: Prof. Dr. Luís Augusto Martins Ruotolo, DEQ/UFSCar

Trabalho de Graduação apresentado no dia _____ de _____ de _____ perante a seguinte banca examinadora:

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, aos meus pais, Giovana Maria e Sidney Donizeti, que nunca mediram esforços ao me apoiar e para que a minha conclusão do curso de graduação em Engenharia Química se tornasse uma realidade, que sempre me incentivaram em minha jornada acadêmica e que me mostraram os caminhos certos, com muito amor, carinho e compreensão.

Agradeço aos meus amigos, os antigos e os que a universidade me apresentou, em especial à Marina, à Juliana, ao Lucas e à Aline, que estiveram ao meu lado, comemorando momentos incríveis e relembrando meu potencial frente aos desafios do caminho. Obrigado por todo o afeto.

Agradeço também a todos os professores, mas, em especial, ao meu orientador Gustavo Dias Maia, por todos os ensinamentos, pelos conselhos e pela paciência. Com o professor, pude encontrar uma grande inspiração.

Por fim, agradeço a todos os demais que, em algum momento desta trajetória, estiveram me apoiando, torcendo pelo meu sucesso ou me auxiliando nesta etapa de minha vida.

RESUMO

A biossecagem é uma alternativa promissora para a remoção de umidade de resíduos orgânicos com elevado teor de água, permitindo a intensificação de processos de secagem e a valorização energética de resíduos agroindustriais. Entre esses resíduos, o bagaço de laranja e o bagaço de cana-de-açúcar se destacam por sua alta disponibilidade no Brasil e pelo potencial de aproveitamento em sistemas de tratamento térmico. Embora a biossecagem desses materiais tenha sido investigada separadamente, há uma lacuna no entendimento dos efeitos provocados pela mistura de diferentes biomassas no desempenho do processo. Este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos sinérgicos na biossecagem conjunta dessas duas biomassas, analisando as variações de temperatura do sistema e a eficiência na remoção de água. Foram estudadas duas condições experimentais: mistura com 75% de bagaço de cana e 25% de bagaço de laranja, e mistura com 50% de cada biomassa em base mássica. A hipótese é que a combinação das características físico-químicas distintas dos resíduos possa favorecer a formação de um leito mais poroso e bem oxigenado, aumentando a atividade microbiana e, consequentemente, a geração de calor metabólico responsável pela secagem. A investigação contribuiu para o desenvolvimento de estratégias mais eficientes de aproveitamento de resíduos orgânicos em processos térmicos. A biossecagem conjunta evidenciou a influência da proporção de diferentes biomassas nos parâmetros na eficiência do processo. A maior presença da biomassa de cana-de-açúcar melhorou a porosidade do leito, ocasionando na maior percolação da corrente de ar e remoção de 2,2 kg de água do leito. No entanto, a maior quantidade de biomassa de laranja providenciou uma maior quantidade de nutrientes para a microbiota presente na matéria orgânica analisada, resultando na manutenção de altas temperaturas ao longo de todo o tempo de operação. Ainda assim, mesmo com temperaturas elevadas por mais tempo, o experimento realizado com proporções iguais de biomassas apresentou menor remoção de umidade.

ABSTRACT

Biodrying is a promising alternative for moisture removal from organic waste with high water content, enabling the intensification of drying processes and the energy valorization of agro-industrial residues. Among these wastes, orange peel and sugarcane bagasse stand out due to their high availability in Brazil and their potential for use in thermal treatment systems. Although the biodrying of these materials has been individually investigated, there is a gap in understanding the effects of mixing different biomasses on process performance. This study aimed to evaluate the synergistic effects of the joint biodrying of these two biomasses by analyzing temperature variations within the system and the efficiency of water removal. Three experimental conditions were assessed: pure biomass (100% orange peel and 100% sugarcane bagasse), a mixture with 75% sugarcane bagasse and 25% orange peel, and a mixture containing 50% of each biomass on a mass basis. The hypothesis is that the combination of distinct physicochemical properties of the residues may promote the formation of a more porous and well-oxygenated bed, enhancing microbial activity and, consequently, the generation of metabolic heat responsible for drying. The investigation contributed to the development of more efficient strategies for the utilization of organic waste in thermal processes. The combined biodrying process highlighted the influence of the proportion of different biomasses on process efficiency parameters. A higher presence of sugarcane biomass improved bed porosity, promoting greater airflow percolation and the removal of 2.2 kg of water from the bed. However, a larger amount of orange biomass provided a greater supply of nutrients for the microbiota present in the organic matter analyzed, resulting in the maintenance of high temperatures throughout the entire operation period. Nevertheless, even with prolonged elevated temperatures, the experiment conducted with equal proportions of biomasses showed lower moisture removal.

SUMÁRIO

Banca Examinadora i
Agradecimentos ii
Resumo iii
Abstract iv
Lista de Figuras v
Lista de Tabelas e Quadros vi
1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS 9
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 11
2.1. Biossecagem: fundamentos e aplicações 11
2.2. Características do bagaço de laranja e do bagaço de cana-de-açúcar 15
2.2.1. Características do bagaço de laranja 15
2.2.2. Características do bagaço de cana-de-açúcar 18
2.3. Misturas de biomassas: potencial de sinergia 25
3. MATERIAIS E MÉTODOS 28
3.1. Biomassas: Resíduos industriais de laranja e Bagaço de cana-de-açúcar 28
3.2. Equipamento de biossecagem 28
3.3. Procedimento experimental 30
3.4. Procedimento de cálculo 33
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 36
5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES 58
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 60
7. APÊNDICES 66
7.1. APÊNDICE A 66

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Cogeração de energia elétrica a partir da biomassa de cana-de-açúcar .. 23
Figura 3.1. Diagarma do equipamento de biossecagem e sistema de aquisição de dados: corpo (1); rotâmetro (2); sistema de medição de temperatura com cinco sensores (3); sistema de medição de massa (4); aquisição de dados (5)..... 29
Figura 4.1. Perda de massa em função do tempo de biossecagem – Experimento 1... 37
Figura 4.2. Temperatura do terminal 1 e Temperatura ambiente em função do tempo de biossecagem – Experimento 1..... 39
Figura 4.3. Temperatura do terminal 2 e Temperatura ambiente em função do tempo de biossecagem – Experimento 1..... 40
Figura 4.4. Temperatura do terminal 3 e Temperatura ambiente em função do tempo de biossecagem – Experimento 1..... 40
Figura 4.5. Temperatura do terminal 4 e Temperatura ambiente em função do tempo de biossecagem – Experimento 1..... 41
Figura 4.6. Temperatura do terminal 5 e Temperatura ambiente em função do tempo de biossecagem – Experimento 1..... 41
Figura 4.7. Comportamento térmico do sistema ao longo do tempo de biossecagem – Experimento 1..... 44
Figura 4.8. Perda de massa em função do tempo de biossecagem – Experimento 2... 46
Figura 4.9. Temperatura do terminal 1 e Temperatura ambiente em função do tempo de biossecagem – Experimento 2..... 48
Figura 4.10. Temperatura do terminal 2 e Temperatura ambiente em função do tempo de biossecagem – Experimento 2..... Erro! Indicador não definido.
Figura 4.11. Temperatura do terminal 3 e Temperatura ambiente em função do tempo de biossecagem – Experimento 2..... 49
Figura 4.12. Temperatura do terminal 4 e Temperatura ambiente em função do tempo de biossecagem – Experimento 2..... 50
Figura 4.13. Temperatura do terminal 5 e Temperatura ambiente em função do tempo de biossecagem – Experimento 2..... 50
Figura 4.14. Comportamento térmico do sistema ao longo do tempo de biossecagem – Experimento 2..... 53

Figura 4.15. Comparação da perda de massa em função do tempo de biossecagem para os experimentos realizados 54
Figura 4.16. Curvas da maior temperatura registrada em função do tempo de biossecagem para os experimentos realizados 56

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 2.1. Composição do bagaço de laranja e seus resíduos sólidos. 16

Tabela 2.2. Composição do bagaço de cana-de-açúcar. 20

Tabela 2.3. Massa de bagaço de cana-de-açúcar retirada de acordo com o tamanho de partícula. 21

Tabela 4.1. Dados para identificação da umidade do material – Experimento 136

Tabela 4.2. Dados para identificação da umidade do material – Experimento 245

Tabela 7.1. Dados coletados na realização do Experimento 1 – 50:50 66

Tabela 7.2. Dados coletados na realização do Experimento 2 – 75:25 81

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

Sabe-se que a biossecagem de matérias orgânicas surge como um processo biológico alternativo à secagem convencional desse material, cujo principal objetivo é a remoção parcial de quantidade de água presente no meio para posterior aproveitamento em uma gama de aplicações, que variam entre aplicações industriais e de estruturação civil, em bens de consumo, na formação de compósitos, na suplementação da nutrição animal, entre outros.

Entretanto, grande parte da literatura acerca da biossecagem retrata o processamento de resíduos sólidos urbanos em sua forma pura ou em conjunto com outros resíduos orgânicos para reaproveitamento na cogeração de energia elétrica, principalmente em países do leste europeu e da Ásia, uma realidade muito distante da disponível no Brasil.

No Brasil, a cogeração de energia elétrica à base de biomassa é, em sua majoritária parte, movida pela combustão da biomassa de cana-de-açúcar, provinda do processamento da cana-de-açúcar em usinas sucroalcooleiras para obtenção de açúcar e etanol. A redução da umidade do bagaço de cana por meio da biossecagem, embora já explicitamente benéfica para a elevação do poder calorífico do material e melhora na eficiência energética da combustão, foi pouco explorada, o que gera uma lacuna de conhecimento para compreensão das vantagens da remoção de água do material e condições na operação da mesma.

Ainda, alguns parâmetros de processamento, como a porosidade do meio, a carga microbiológica do material e a umidade inicial da matéria orgânica, podem trazer significativas vantagens na eficiência de biossecagem, que podem ser alcançadas a partir do coprocessamento de biomassas. A literatura referente ao estudo da correlação desses parâmetros com a biossecagem de biomassa de cana-de-açúcar, principalmente em conjunção com demais biomassas, é escassa, o que promove uma maior necessidade de compreensão de tais efeitos.

Além da cana-de-açúcar, a produção de laranjas *in* natura e de suco de laranja concentrado apresenta grande extensão no Brasil, colocando o país como o maior produtor mundial da *commodity* e de seu bem de consumo associado por diversos anos consecutivos. No entanto, cerca de 50% da massa das laranjas processadas em suco não são efetivamente convertidas em suco concentrada, gerando um subproduto para as indústrias de transformação que apresenta alto valor agregado. No entanto, a biomassa de laranja provinda da transformação necessita passar por um processo de secagem para aproveitamento, cujos custo de processamento são onerosos, reduzindo os lucros obtidos pela venda do material.

Assim como a biomassa da cana-de-açúcar, os estudos de biossecagem da biomassa de laranja são escassos, criando uma lacuna no conhecimento de todos os parâmetros importantes para controle das taxas de biossecagem da matéria orgânica para ´posterior aproveitamento.

Tendo em vista os fatores explicitados, o presente trabalho tem por finalidade o estudo exploratório dos efeitos sinérgicos do coprocessamento das biomassas de cana-de-açúcar e de laranja, em diferentes composições mássicas, analisando as variações de temperatura observadas no sistema durante a realização da biossecagem e a perda de massa, em forma de remoção de água, ao longo do processo.

Para que tais experimentos sejam possíveis, as duas proporções mássicas estipuladas – mistura com 75% de bagaço de cana e 25% de bagaço de laranja e mistura com 50% de cada biomassa em base mássica – serão processadas em um biossecador cilíndrico de bancada, a fim de simular as condições às quais uma biopilha do mesmo material estaria exposta. A principal diferença entre o sistema projetado e uma biopilha consiste na área de contato com a superfície, uma vez que o biossecador apresenta como única área de contato com o meio externo a sua seção superior, ao passo que uma biopilha é capaz de realizar trocas térmicas com as vizinhanças através de todas as suas superfícies expostas ao meio externas, exceto por sua seção inferior.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Biossecagem: fundamentos e aplicações

Segundo Reis (2017), a biossecagem é um processo alternativo de secagem que se garante pelo aquecimento do ar em escoamento com o calor liberado na degradação da matéria orgânica, realizada pela atividade biológica existente na mesma. Embora um processo similar à compostagem, o objetivo da biossecagem é a utilização do calor metabólico da decomposição dos resíduos orgânicos na remoção da água do material, partindo do menor tempo de residência possível e na menor perda de matéria para degradação biológica possível. (ASTOLPHI, OLIVEIRA E ACHON, 2021)

Winkler et al. (2013) evidenciam a diferença marcante entre a compostagem e a biossecagem. A compostagem apresenta como objetivo final a degradação total da matéria orgânica para posterior uso aplicado na agricultura, como fertilizante; ao passo que, diferentemente, a biossecagem tem por objetivo a remoção máxima da água de composição dos resíduos orgânicos, aumentando seu poder calorífico para posterior exploração desse material, principalmente como combustível.

He et al. (2013) complementa que, embora o calor utilizado é derivado dos processos metabólicos dos microrganismos aeróbicos, na biossecagem, faz-se necessário que a taxa de degradação do material seja controlada e que a energia ali gerada seja contida e utilizada da melhor forma possível, para garantir a eficiência do processo de biossecagem

Para a biossecagem, Velis et al. (2009) indica que o mecanismo que a torna operacional é dividido em duas etapas principais. Na primeira etapa, ocorre a evaporação de água através da superfície do material, causada pela existência do calor metabólico gerado dentro do meio oriundo da biodegradação aeróbica da matéria orgânica. Já, na segunda etapa, o transporte de água pelo leito e a remoção de água do meio são suportados pela presença de um fluxo de ar forçado que permeia a matriz de matéria orgânica e carrega a umidade com os gases de exaustão.

Frei, Camaron e Stuart (2004) reforçam que, no processo de biossecagem, o fluxo de ar é responsável pelo transporte da água presente nas superfícies das partículas de material e nos espaços vazios localizados no interior da matriz. Após a remoção da água dos referidos locais, ocorre a transferência de água do interior das partículas do material submetido à biossecagem para a superfície, continuando, desta forma, o processo de evaporação

O foco principal da biossecagem na remoção da água através da degradação de matéria suficiente para geral calor biológico para secá-la é devido à necessidade de aumentar o conteúdo energético da matriz pela retirada da maior quantidade de água possível da matriz e de preservar a fração substancial do valor calorífico bruto dos compostos químicos orgânicos por meio da biodegradação mínima. (TOM, PAWELS E HARIDAS, 2016)

Cai et al. (2016) adicionam que, ao passo que o calor metabólico é essencial para a evaporação da água no processo de biossecagem, ele é simultaneamente responsável pelo aumento da temperatura na matriz e, por sua vez, na reconfiguração das comunidades microbiológicas. Dessa forma, com a alteração da microbiota na matéria orgânica, ocorrem mudanças no comportamento da biodegradação do material, impactando na geração de calor biológico e, consequentemente, modificando o perfil de evaporação de água e biossecagem do sistema. Além disso, o autor também cita que, de forma integrada com a geração de calor metabólico, existe a formação de água provinda do metabolismo dos microrganismos, que agrega à umidade do material e apresenta influência direta à eficiência de biossecagem.

Para Velis et al. (2009), as dificuldades principais no processo de biossecagem consistem no material a ser seco e no substrato que suporta a atividade biológica, que fornece o calor necessário para a secagem. Outra dificuldade surge da grande diferença estrutural de grãos alimentares e resíduos orgânicos, estrutura essa que pode ser a responsável por uma elevada heterogeneidade durante a operação de secagem.

Em seus estudos sobre a biossecagem aplicada ao lodo de estações de esgoto, Astolphi, Oliveira e Achon (2021) apontam a versatilidade do uso da tecnologia para a secagem de diversos materiais e não apenas o lodo em questão, explicitando a necessidade de ter um leito minimamente poroso para que seja possível a passagem do fluxo de ar aquecido. O autor ainda indica que uma vantagem da biossecagem perante os métodos convencionais está relacionada ao aumento da temperatura diretamente ligado à redução dos sólidos devido à degradação. Essa atividade, por consequência, garante que a remoção de água do material seja mais eficaz, gerando um produto mais seco.

Outra vantagem é o menor consumo de energia elétrica previsto nos estudos e, portanto, a redução dos custos operacionais, em detrimento do tempo de operação que, em determinados casos, pode vir a ser justificável e preferível. (VELIS et al., 2009)

Ainda, a tecnologia de biossecagem vem sendo aplicada no tratamento térmico de diversas substâncias, como o esterco, o lodo de estações de tratamento de águas residuárias de papel e celulose, lodo de esgoto e resíduos urbanos e de cozinha.

Almeida (2020) salienta que as vantagens na aplicação da biossecagem como tratamento térmico são os ganhos em relação ao custo operacional do processo, uma vez que a secagem convencional é um processo oneroso, e os ganhos em relação ao aumento do potencial biocombustível dos resíduos sólidos pós-tratamento.

No que diz respeito à aeração do meio no processo de biossecagem, Huiliñir e Villegas (2015) estudaram o efeito da taxa de fluxo de ar na biossecagem de lodo de esgoto. Dentre as taxas estudadas (1, 2 e 3 L min^{-1} kg^{-1}), os autores indicam que o maior índice de remoção de água foi obtido com uma alta taxa de aeração, equivalente a 3 L min^{-1} kg^{-1}.

Colomer-Mendoza et al. (2012) também apresentam resultados semelhantes. Em seus experimentos, os autores investigaram a performance da biossecagem de resíduos de jardinagem em reatores, submetidos a taxas de aeração em uma faixa entre 0,88 L min^{-1} kg^{-1} a 6,42 L min^{-1} kg^{-1}, onde verificou-se que, embora seja obtida maior quantidade de água removida com a aplicação de fluxos de ar mais elevados, esta relação não é linearmente proporcional. Dessa forma, os autores demonstram que a partir de determinada taxa de aeração – aproximadamente 4 L min^{-1} kg^{-1} –, os ganhos de remoção de água com o aumento da taxa de aeração deixam de ser significativos.

Villegas e Huiliñir (2014) acrescentam a análise de outro parâmetro importante para a biossecagem em seus estudos: a temperatura. Segundo os autores, elevados fluxos de alimentação de ar no sistema estão relacionados com o aumento da remoção de umidade da matriz, ao passo que, a utilização de baixos valores de fluxo de ar resultaram em elevadas temperaturas do sistema de biossecagem, quando comparados aos experimentos com alta taxa de aeração.

Zawadzka et al. (2010) apresentam resultado similar. Em seus experimentos, a presença de uma elevada taxa de fluxo de ar resultou na maior redução de umidade do meio (de 82,3% para 34,4%) e na menor temperatura máxima alcançada no sistema (48°C). Entretanto, a utilização de uma baixa vazão de ar de alimentação foi responsável pelo aumento da temperatura máxima alcançada pelo meio (53°C) em detrimento da redução de umidade do lodo de esgoto (de 84,3% para 46,9%). Por fim, o experimento que atingiu melhor eficiência de biossecagem (97%) ocorreu sob condições moderadas de aeração do meio, apresentando temperatura máxima moderada (50°C) e remoção de água significativa do meio (de 80,7% para 0,372%).

Huiliñir e Villegas (2015) também estudaram o teor de umidade inicial na biossecagem de lodo de esgoto, demonstrando que este parâmetro tem forte influência na remoção de água

do meio e na temperatura da matriz. A presença de um teor de umidade inicial moderado (68%) obteve maiores temperaturas do sistema quando comparado a valores de umidade inferiores e superiores.

No que se refere a umidade inicial do material, Yang, Zhang e Jahng (2014) demonstram que amostras de lodo de esgoto com índices moderados de umidade que são submetidos à biossecagem apresentam melhores taxas de remoção de água, resultando em uma maior redução da umidade do material ao final do processo. Os autores indicam em seu estudo que o excesso de água presente no material dificulta a convecção do ar e, portanto, o transporte de grande parte das moléculas, ao passo que a baixa presença de água no material impõe barreiras para transferência de água do interior do material à superfície das partículas.

Huiliñir e Villegas (2015) estudaram o efeito do teor inicial de umidade inicial do material na biossecagem de lodo de esgoto. Para isso, os experimentos foram realizados com três índices de umidade (MC – *Moisture content*) diferentes: MC1 = 59%, MC2 = 68% e MC3 = 78%. Os autores apontam que, sob mesma aeração constante e frequência de agitação, o experimento com teor de umidade moderado, MC2, atingiu maior temperatura máxima de biossecagem (aproximadamente 44°C) .

Zhao et al. (2010) estudaram a influência da frequência de agitação da matriz em conjunto com a aeração, para biossecagem de lodo desidratado. Os autores identificaram que maiores frequência de agitação do leito (4 dias) demonstraram melhor evolução da biossecagem, temperaturas mais altas e maior índice de remoção de água, quando comparados com baixas frequências de agitação (2 dias).

Em contrapartida, Yuan et al. (2018) identificaram na biossecagem de resíduos sólidos municipais, que sob taxa de aeração constante, alterações no padrão de alteração e na frequência de agitação do leito não afetaram significativamente a performance do processo de biossecagem, sendo, portanto, a taxa de aeração o principal parâmetro na secagem desse material. Segundo os autores, existiu uma taxa de aeração ótima, de 0,5 L min^{-1} kg^{-1}, onde a remoção de água do meio atingiu o seu máximo e o uso de taxas superiores a esta não surtem efeito positivo para o processo. Dessa forma, a melhor taxa de remoção de água obtida nos experimentos foi de 0,5 kg kg^{-1}, a partir de uma aeração constate a 0,5 L min^{-1} kg^{-1} e agitação do meio a cada três dias.

2.2. Características do bagaço de laranja e do bagaço de cana-de-açúcar

2.2.1. Características do bagaço de laranja

Ao redor do mundo, a laranja (*Citrus sinensis*) destaca-se entre as principais frutas consumidas, sendo o Brasil reconhecido como o maior produtor global dessa *commodity* agrícola. No contexto nacional, a parte majoritária da produção de laranjas *in natura*, cerca de 70% do total produzido, é direcionada à indústria de transformação, com ênfase na fabricação de suco de laranja, produto amplamente comercializado no mercado interno e internacional. (BARBOSA et al, 2020)

De acordo com relatório publicado pelo *United States Department of Agriculture (USDA) (2025)*, referente à safra global de 2024/2025, a produção mundial de laranjas atingiu o volume de 45,5 milhões de toneladas. Desse total, o Brasil contribuiu com aproximadamente 28,7% da produção, correspondendo a cerca de 13 milhões de toneladas, consolidando-se, assim, como o maior produtor mundial da *commodity*, segundo os dados apresentados no referido documento. No que se refere ao suco de laranja, o mesmo relatório apontou que a produção brasileira representou cerca de 70% da produção global, a qual somou 1,44 milhão de toneladas no referido período.

Segundo Bhattacharjee e Biswas (2019), aproximadamente entre 40% e 60% da massa de laranjas submetidas ao processamento industrial é efetivamente convertida em suco. A fração sobressalente corresponde a resíduos sólidos, compostos majoritariamente por sementes, cascas e membranas dos segmentos da fruta. Nesse contexto, evidencia-se a produção de uma expressiva quantidade de resíduos, nesse trabalho, chamados de bagaço de laranja, associada à produção em larga escala de suco de laranja.

Cypriano, Silva e Tasic (2018) analisam, em seu trabalho, a composição do bagaço de laranja, em comparação com a literatura. Segundo os autores, a biomassa analisada apresenta um alto teor de umidade, correspondendo a 78% da massa do material. No que se refere à porção de fibras, extrativos e impurezas, esta fração é composta de 21% de açúcares recuperáveis, 20% de celulose, 19% de pectina, 6% de hemicelulose, 4% de lignina e 10% de cinzas e demais compostos.

de la Torre et al. (2017) evidenciam concordâncias e divergências com a literatura supracitada. Ao analisar os componentes dos resíduos sólidos de laranja, os autores identificaram, em seu estudo, uma fração de 38% de açúcares recuperáveis, 19% de celulose,

19% de pectina, 14% de hemicelulose, 6,5 % de lignina e 4% de cinzas e demais impurezas na composição.

A Tabela 2.1 apresenta mais detalhes da composição da biomassa de laranja na literatura consultada.

Tabela 2.1. Composição da biomassa de laranja e seus resíduos sólidos.

Parâmetros	**de la Torre et al. (2017)**	**Cypriano, Silva e Tasic (2018)**	**Ayala et al. (2021)**	**Mantovan et al. (2023)**
Umidade (%) (b.u.)	80,5 ± 0,2	78,2 ± 0,2	73,5 ± 0,5	-
Celulose (%) (b.s.)	18,6 ± 0,1	19,7 ± 0,9	69,1 ± 9,0	12,4 ± 0,4
Hemicelulose (%) (b.s.)	14,3 ± 0,2	6,3 ± 0,1	5,4 ± 5,4	7,5 ± 0,1
Lignina (%) (b.s.)	6,5 ± 0,6	4,2 ± 0,7	19,8 ± 3,6	8,9 ± 0,5
Pectina (%) (b.s.)	18,6 ± 1,9	18,5 ± 1,7	-	-
Açúcares recuperáveis (%) (b.s.)	38,0 ± 0,5	21,1 ± 1,9	40,4 ± 2,6	-
Cinzas e outros (%) (b.s.)	3,7 ± 0,1	10,4 ± 1,6	0,7 ± 0,1	-

Fonte: DE LA TORRE ET AL., 2017; CYPRIANO, SILVA E TARIC, 2018; AYALA ET AL., 2021; MANTOVAN ET AL, 2023.

Os resíduos sólidos do processamento de laranja, assim como demais resíduos cítricos, apresentam grande potencial em aplicações industriais, reaproveitando uma significativa parte do volume de resíduos gerados nas indústrias de suco e minimizando o impacto ambiental proveniente deste excesso.

Tahir et al. (2023) que, após processos como a ensilagem ou a secagem, os diversos nutrientes, fibras, vitaminas e minerais presentes nas cascas de laranjas podem ser utilizados para a suplementação da alimentação de animais ruminantes e não-ruminantes no setor agropecuário.

Os resíduos sólidos de laranja também apresentam aplicação em seu processamento para extração de pectina, uma vez que possuem uma significativa parcela da substância em sua composição, assim como observado na Tabela 2.1. Industrialmente, a principal forma de

extração da pectina se constitui em um tratamento físico-químico de múltiplos estágios da matéria-prima, realizando a extração do polissacarídeo por meio de ácidos minerais a elevadas temperaturas e posterior etapa de recuperação em precipitação alcoólica. (CHRISTY et al., 2014; TAHIR, 2023)

O trabalho de Cypriano, Silva e Tasic (2018) demonstram a possibilidade de os resíduos sólidos de laranja serem utilizados como matéria-prima viável na obtenção de produtos de alto valor agregado como óleos essenciais, nanocelulose e hesperidina, que apresenta uso em fármacos no tratamento de determinadas doenças venosas, como a insuficiência venosa crônica.

Ao passo que alguns autores estudam a aplicabilidade dos resíduos sólidos de laranja para obtenção de produtos industriais, Barbosa et al. (2020) estudam a secagem alternativa de resíduos de laranja para aumento da eficiência energética na pirólise e/ou combustão da biomassa, para obtenção de bio-óleo e biocarvão, compostos de grande valor energético, capazes de substituir a utilização de combustíveis fósseis em determinadas aplicações.

Aguiar et al. (2008) estudaram a valorização energética dos resíduos de laranja a partir da pirólise do material. No que se refere a matéria-prima, os autores indicam que o resíduo de laranja, após etapa de secagem para redução de sua umidade até um teor de 7%, apresenta um poder calorífico de 18.35 MJ/kg, o que equivale a aproximadamente 4.386 kcal/kg. Alvarez et al. (2018) trazem em seu estudo a pirólise dos resíduos sólidos do processamento industrial de laranja em suco, com um teor de umidade de 1,5%. No caso dos autores, foi identificado que, na combustão de um quilograma do material, há a geração associada de um total de cerca de 4.640 kcal.

Por sua vez, Barbosa et al. (2020) destacam que, com base na fórmula química empírica do bagaço de laranja, seu poder calorífico corresponde a um valor de 21,72 MJ/kg, representando 5.191 kcal/kg. No entanto, em seus experimentos, os autores obtiveram um valor de 17,26 MJ/kg, o que se distancia do esperado pela fórmula química, porém permanece como o esperado indicado nas demais literaturas.

Assim como apresentado por Cai et al. (2016) e Maia, Horta e Felizardo (2023), a biossecagem apresenta por si só, um desafio em sua operação. Como Maia, Horta e Felizardo (2023) indicam que, no estudo da biossecagem de resíduos sólidos de laranja, embora a remoção da água da matriz seja o objetivo principal, tal processo compromete a atividade metabólica, responsável pela geração de calor metabólico e pela elevação da temperatura do meio. Os autores ainda complementam que, ao passo que a biossecagem ocorre, há a redução

da atividade microbiológica responsável pela biodegradação do material, impactando na geração de calor do meio, no aumento de temperatura e, consequentemente, na remoção de água do leito. Dessa forma, a investigação de configurações que promovam a manutenção da atividade metabólica associada à redução de umidade é uma área em potencial.

Entretanto, a literatura ainda carece de investigações a respeito dos parâmetros que precisam ser estudados no âmbito da biossecagem de bagaço de laranja e seus resíduos sólidos, como os efeitos de aeração e revolução das matrizes submetidas no processo de biossecagem, alterações nas disposições de leitos e porosidade, buscando o aumento da eficiência do processo.

2.2.2. Características do bagaço de cana-de-açúcar

A produção de açúcar e etanol a partir do processamento industrial da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) traz inúmeras vantagens; seja pela obtenção do açúcar industrial, um produto alimentício inserido e estabelecido no cotidiano do ser humano, ou pela produção em larga escala do etanol, produto amplamente utilizado em bebidas, fármacos e como principal alternativa ao combustível fóssil para abastecimento de veículos populares de pequeno porte. Silva (2010) aponta como principais subprodutos gerados das industriais sucroalcooleiras a palha da cana-de-açúcar, a vinhaça, a torta de filtro e, em quantidade mais expressiva que os demais, o bagaço de cana-de-açúcar. De acordo com Silva, Gomes e Alsina (2007), a cada tonelada de cana-de-açúcar moída nas unidades sucroalcooleiras brasileiras, há a geração de aproximadamente 280 quilogramas da biomassa úmida em questão.

Almeida e Hofsetz (2022) reforçam que, na safra de 2022/2023, o setor sucroalcooleiro brasileiro foi responsável pelo processamento de cerca de 596 milhões de toneladas de cana-de-açúcar e pela consequente geração de aproximadamente 167 milhões de toneladas de bagaço de cana. Em seu relatório para o *United States Department of Agriculte*, Hayashi (2024) aponta a expectativa da produção de cana-de-açúcar no Brasil, principalmente considerando as intensas mudanças climáticas e eventos ambientais que decorrentes no país, para o ano de 2024, de 600 milhões de toneladas de cana de açúcar a ser processada nas unidades industriais de açúcar e etanol.

Segundo dados oficiais do Portal de Informações Agropecuárias da Conab – Companhia Nacional de Abastecimento, na safra 2024/25, foram produzidas cerca de 687 milhões de toneladas de cana-de-açúcar. Com isso, pela métrica apresentada, é possível

estimar a produção de cerca de 192 milhões de biomassa de cana-de-açúcar, que pode ser destinada à combustão ou demais aplicações.

Segundo Paoliello (2006), o bagaço de cana-de-açúcar, além de ser um dos principais subprodutos da produção de açúcar e etanol, apresenta-se como o principal em maior quantidade nas indústrias do ramo sucroenergético que fazem uso da cana-de-açúcar como matéria-prima no Brasil. De acordo com o mesmo autor, a composição do bagaço de cana tem uma baixa variância, constituindo-se, principalmente, como um material com índice de umidade entre 45% e 50%, um teor celulósico da ordem de 46% e demais matérias em solução, como açúcares e impurezas, compondo de 2% a 6,5% da composição total da biomassa. O bagaço de cana-de-açúcar, assim como demais resíduos agroindustriais, é rico em biomassa lignocelulósica, composta principalmente a partir de celulose, hemicelulose e lignina. Em seus experimentos, o autor identificou o índice de umidade de 50% no material utilizado, além de um percentual de 2% de açúcares redutores (ART). (GUILHERME et al., 2015)

Em seus estudos, Bhatnagar, Gupat e Bhatnagar (2015) relatam resultados similares aos trabalhos supracitados, acrescendo também a pectina e um teor de cinzas à composição do bagaço de cana. Após a análise de amostras de bagaço, os autores obtiveram um teor de umidade do material de 49%, ao passo que a composição das fibras analisadas foi de uma faixa de 45% a 55% de celulose, sendo a principal componente, uma variação de 20% a 25% de hemicelulose, 18% a 24% de lignina, 1,5% a 9% de açúcares e outros componentes solúveis, 1% a 4% de cinzas e 0,6% a 0,8% de pectina.

De acordo com Sanjuán et al. (2001), após análise morfológica e química de bagaço de cana-de-açúcar de uma variedade mexicana, a composição obtida do material foi de 45,0% de celulose, 28,8% de hemicelulose, 17,7% de lignina, 1,1% de cinzas e ainda um teor de componentes que podem ser extraídos com solventes como água quente, etanol e um mistura de etanol e benzeno.

Dentre os diversos fatores que contribuem para as variações na composição do bagaço de cana-de-açúcar e de suas fibras, pode-se destacar a variedade da planta cultivada; o tipo do solo no qual a plantação foi instalada; as técnicas de colheita, que podem envolver etapas manuais e mecanizadas; e o manuseio do material e armazenamento, capaz de influenciar consideravelmente o teor de umidade da biomassa. Silva, Gomes e Alsina (2007) trazem o estudo do bagaço de cana-de-açúcar composto em: 50% de umidade; 46% de fibras,

correspondente de 26,6% a 54,3% de celulose, 14,3% a 24,4% de hemicelulose e 22,7% a 29,7% de lignina; 2% de açúcares solúveis; e 2% de impurezas minerais.

Os detalhes das composições do bagaço de cana-de-açúcar e de suas fibras encontrados nos estudos referenciados estão apresentados na Tabela 2.2.

Tabela 2.2. Composição do bagaço de cana-de-açúcar.

Parâmetros	Yadav, Gupat e Bhatnagar (2015)	Sanjuán et al. (2001)	Silva, Gomes e Alsina (2007)	Xiong (2018)
Umidade (%) (b.u.)	49,0 ± 0,0[i]	-	50,0 ± 0,0[i]	50,0 ± 0,0[i]
Celulose (%) (b.s.)	50,0 ± 5,0[i]	45,0 ± 0,0[i]	40,4 ± 13,8	50,4 ± 0,0[i]
Hemicelulose (%) (b.s.)	22,5 ± 2,5	28,8 ± 0,0[i]	19,3 ± 5,0	28,5 ± 0,0[i]
Lignina (%) (b.s.)	21,0 ± 3,0	17, 7 ± 0,0[i]	26,2 ± 3,5	14,9 ± 0,0[i]
Pectina (%) (b.s.)	0,7 ± 0,1	1,1 ± 0,0[i]	-	-
Açúcares recuperáveis (%) (b.s.)	5,2 ± 3,7	1,1 ± 0,0[i]	2,0 ± 0,0[i]	-
Cinzas e outros (%) (b.s.)	2,5 ± 1,5	1,1 ± 0,0[i]	2,0 ± 0,0[i]	2,0 ± 0,0[i]

[i] Variância não informada.

Fonte: DE LA TORRE ET AL., 2017; CYPRIANO, SILVA E TARIC, 2018; AYALA ET AL., 2021; MANTOVAN ET AL, 2023.

Pérez et al. (2019), em seu trabalho, destacam o processo de análise granulométrica, onde 80% da massa da amostra analisada foi retida entre peneiras de diâmetro aproximado de 9,5 mm até 0,250 mm. Portanto, apenas uma massa inferior a 20% da amostra apresentou diâmetro inferior a 0,250 mm. Ainda, a partir do experimento, os autores obtiveram o diâmetro médio característico, utilizando o equacionamento do diâmetro de Sauter de 0,788 ± 0,03 mm.

Na Tabela 2.3, é apresentada a análise de tamanho de partícula realizada por Hugo (2010), para a massa total de aproximadamente 1 kg de bagaço de cana-de-açúcar.

Tabela 2.3. Massa de bagaço de cana-de-açúcar retirada de acordo com o tamanho de partícula.

Tamanho de partícula (µm)	Massa retida (%)	Massa acumulada (g)
< 180	6,0 ± 0,3	60,0 ± 3,0
180 – 425	17,8 ± 0,3	238,0 ± 6,0
425 – 850	22,5 ± 0,3	463,0 ± 9,0
850 – 1700	16,4 ± 0,3	627 ± 12,0
1700 – 2800	12,1 ± 0,3	748 ± 15,0
> 2800	23,5 ± 0,3	983 ± 18,0

FONTE: Adaptado de HUGO, 2010.

Após a geração dos subprodutos sólidos da produção sucroalcooleira, são inúmeros os destinos possíveis ao bagaço de cana-de-açúcar. Principalmente na área da alimentação animal, na estruturação civil, no setor têxtil, na fabricação de miscelâneas ou na geração de energia elétrica, entre outras, as aplicações da biomassa têm grande presença no mercado.

Segundo Oliveira (2016), o bagaço de cana-de-açúcar in natura (BIN) tem utilização na alimentação de ruminantes de produção, uma vez que é uma fonte de fibra, componente importante para a manutenção da saúde ruminal. No entanto, o uso do material apresenta limitações em seu valor nutricional, por conter baixo valor energético e baixo teor de proteínas e minerais. Dessa forma, a viabilidade do uso de BIN para alimentação animal está frequentemente associada a tratamentos, físicos – baseados na auto-hidrólise da biomassa, permitida por temperaturas e pressões elevadas – e/ou químicos – associado ao tratamento com hidróxido de sódio, amônia ou ureia –, para obtenção de ganho nutricionais para o gado ruminante.

As fibras do bagaço de cana-de-açúcar também podem ser utilizadas como reforço na formação de compósitos de matriz polimérica (PCMs – *Polymer Matrix Composites*), utilizados em placas de isolamento térmico, compósitos de cimento, painéis de particulado, tetos falsos e demais estruturas leves. (DEVADIGA, BHAT e MAHESHA, 2020)

A biomassa de cana-de-açúcar também apresenta atuação como fonte de carbono para ação microbiana, uma vez que a celulose e a hemicelulose presentes em sua composição podem, a partir do pré-tratamento físico e químico do bagaço, ser convertidas em glicose e xilose que, por sua vez, são a base do substrato de diversos processos fermentativos. Mustafa et al. (2023) apresenta em seu trabalho a utilização do bagaço de cana como substrato para

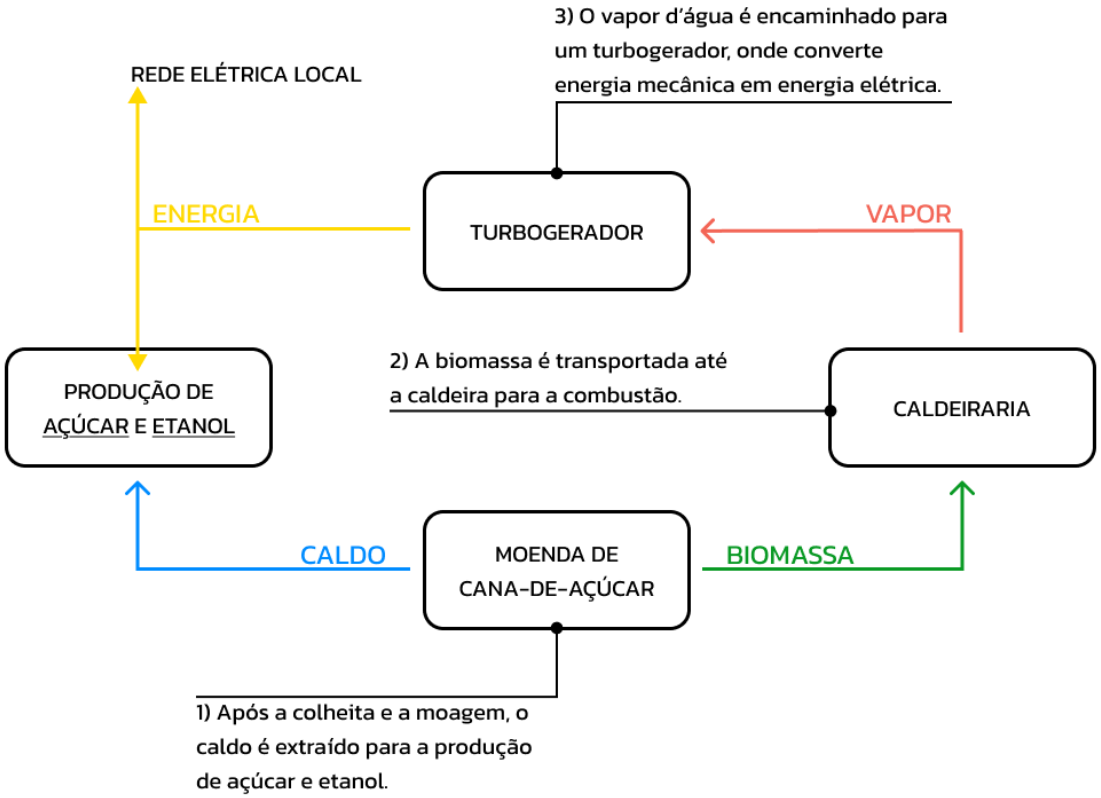
produção industrial de diversas enzimas, como as β-xilosidases, e da produção de etanol, denominado de Etanol de 2ª Geração (E2G). Santos et al. (2016) destacam que a partir de microrganismos geneticamente modificados (GMOs – *Genetically Modified Organisms*) capazes de metabolizar os açúcares C6 e C5, disponibilizados pelo bagaço, tornando a produção industrial viável.

Singh, Sharma e Sambyal (2022) estudam a possibilidade de o bagaço de cana-de-açúcar ser utilizado como componente crucial em coberturas de embalagens biodegradáveis e filmes poliméricos para inúmeras áreas industriais, devido a sua baixa densidade e aprimoramento das características mecânicas dos polímeros. Torres et al. (2021) apresentam o uso das cinzas da biomassa de cana-de-açúcar, subproduto do processo de incineração do bagaço de cana, como agente de enchimento em materiais elastoméricos, devido a presença de sílica (SiO_2) em sua composição. A sílica é responsável pelo melhoramento de propriedades mecânicas como resistência à compressão, resistência à deformação e ao atrito e dureza dos materiais.

Entretanto, um atual uso para os resíduos sólidos orgânicos da cana-de-açúcar tem sido uma solução para o sistema energético brasileiro: a produção de energia elétrica a partir do bagaço de cana-de-açúcar. Com o crescimento econômico, a matriz energética do país sofre mudanças e as preocupações com a estiagem e redução da disponibilidade hídrica de bacias e corpos d'água poderiam ser controladas com a geração da chamada agroenergia (GALBIATI; GALLO; LAVANHOLI, 2010).

Nos últimos anos, observa-se o crescimento do consumo de energia no Brasil e, em vista da possível crise hídrica iminente, com a redução da disponibilidade de água em represas e hidrelétricas, urge a busca de fontes alternativas de produção de energia elétrica, como pontua Santos, Nascimento e Alves (2017). O processo de cogeração de energia, como ilustrado na Figura 1.1, é benéfico por conduzir a energia elétrica gerada para a própria usina, custeando parte da produção de etanol e de açúcar, ao passo que o excedente é vendido à rede local.

Figura 2.1. Cogeração de energia elétrica a partir da biomassa de cana-de-açúcar.



Fonte: Adaptado de PRETEL (2020).

Fernandes (2020) relata as vantagens e desvantagens da produção e venda de energia elétrica a partir da queima do bagaço de cana no período entressafra. De acordo com o autor, obtém-se vantagem na cogeração de energia a partir da biomassa em usinas de açúcar e álcool. Santos (2005) acrescenta que as usinas de açúcar e etanol utilizam de 60% a 90% do bagaço de cana produzido como combustível às caldeiras, substituindo, portanto, o óleo combustível na etapa de aquecimento e a lenha, que foi utilizada durante anos como fonte energética.

Segundo Teixeira et al. (2015), o bagaço de cana é incinerado em caldeira, contribuindo com a geração de vapor, o qual é utilizado nos processos industriais e é levada para turbogeradores para produção de energia elétrica. Os autores ainda complementam que, no ano de 2015, a cogeração com o bagaço de cana foi responsável por contribuir com 5% da produção de eletricidade no Brasil.

De acordo com Paoliello (2006), o poder calorífico de uma substância se distingue de duas formas: o Poder Calorífico Superior (PCS) e o Poder Calorífico Inferior (PCI).

Enquanto o PCS de um material se relaciona a uma medida teórica de eficiência energética de um processo de combustão, o PCI é uma medida que estabelece a quantidade de calor real que se pode ser obtida através da combustão de um quilograma de matéria. Nos estudos realizados na literatura, o bagaço de cana-de açúcar úmido (em média, 50% de umidade) apresenta Poder Calorífico Inferior de 1.800 kcal/kg, ou seja, um potencial de produzir cerca de 1.800 kcal a partir da combustão de 1 kg de material. O mesmo produto após um processo de secagem (em média, 35% de umidade) apresenta como CPI o valor de 2.525 kcal/kg, simbolizando um aumento de cerca de 40% na geração de energia com a mesma massa de material.

Já, Nassar, Ashour e Wahid (1996), para uma variedade egípcia de cana-de-açúcar, obtiveram um valor de poder calorífico do bagaço úmido (50% umidade) de 2.200 kcal/kg e de 4.041 kcal/kg para o mesmo material com umidade equivalente a 7,3%, com o método de degradação térmica da biomassa. Dessa forma, a redução de umidade apresentada, de 50% a 7,3%, contribuiu para o aumento estimado de 84% do poder calorífico. Stanmore (2010) apontou em seus estudo que, em uma base de 5% de umidade, o calor específico do bagaço de cana-de-açúcar é de 19 $GJ.ton^{-1}$, o que, convertido às unidades apresentados pelos demais autores, equivale a aproximadamente 4.541 kcal/kg. Com base no calor específico apresentado e a produção de bagaço de cana resultante no ano de 2010, o autor indica que seria possível a produção de energia elétrica suficiente para abastecimento da demanda interna de um país como a Austrália.

A literatura da biossecagem do bagaço de cana-de-açúcar é escassa, estando essa biomassa presente em poucos estudos, onde participa secundariamente. Contreras-Cisneros et al. (2021) estudaram a biossecagem em biopilhas de uma combinação de cascas de laranja (79,8%) e bagaço de cana-de-açúcar e demais resíduos como agentes de *bulking*. Os autores destacaram a importância da manutenção das concentrações de O_2 no interior da pilha e, com isso, a maior oxigenação do meio e manutenção da microbiota na matriz orgânica. No estudo apresentado, foi utilizado o bagaço de cana-de-açúcar como agente de *bulking* para garantir maior porosidade ao meio, permitindo com que o ar percolasse pelo leito, garantindo as necessidades para a biodegradação aeróbica e aumento da temperatura de biossecagem.

No que se refere a seus demais desafios, a biossecagem de bagaço de cana se assemelha à biossecagem de resíduos sólidos de laranja, onde a manutenção da carga microbiológica, os efeitos de aeração e revolução das matrizes submetidas no processo de biossecagem,

alterações nas disposições de leitos e porosidade, são capazes de afetar a eficiência do processo.

2.3. Misturas de biomassas: potencial de sinergia

Zhang et al. (2018) estudaram o processo de co-biossecagem da mistura de diferentes proporções de lodo de esgoto e das frações orgânicas de resíduos sólidos municipais (OFMSW – *Organic Fractions of Municioal Solid Waste*), onde todos os experimentos foram suportados com a adição de talos de milhos com baixa umidade (agente de *bulking*). Os autores concluíram que o processo de biossecagem conjunta dos materiais é viável, mas que deve ser realizado com frações mássicas iguais de ambos os componentes, em adição do agente de *bulking*, material sólidos, muitas vezes com base em carbono, que é responsável pelo aumento da porosidade do meio, tornando possível a operação de leitos líquidos e pastosos e facilitando a percolação de ar no meio, visando o equilíbrio de todos os parâmetros importantes para a biossecagem.

De acordo com Zhang et al (2018), quando em comparação com uma mistura apresentando menores frações de OFMSW, o aumento do volume da biomassa resulta em temperaturas mais elevadas e maior redução de umidade da matriz submetida ao processo de biossecagem. Entretanto, o aumento da redução da umidade está relacionado com o elevado volume de água livre no material, que apresenta evaporação facilitada, além da ocorrência de aceleração da degradação de componentes orgânicos, reduzindo, portanto, o índice de biossecagem.

Ma, Zhang e Li (2016) estudam em seu trabalho os efeitos de fração de mistura, tamanho de partículas de agente de *bulking* e taxa de aeração do sistema na co-biossecagem de lodo desidratado e resíduos alimentares. Os autores evidenciam que uma fração mássica igual entre as biomassas resultou no melhor índice de biossecagem. No que se refere à oxigenação do sistema, um moderado fluxo de ar de 0,04 $m^3\ h^{-1}\ kg^{-1}$, equivalente a cerca de 0,66 $L\ min^{-1}\ kgDM^{-1}$ estabelece condições favoráveis para o processo de biossecagem da matriz.

Zhang et al. (2020) demonstram que a intensidade de aeração no processo de biossecagem conjunta de duas biomassas, lodo de esgoto e resíduos de cozinha em frações mássicas iguais, apresenta potencial de exercer grande influência na remoção de água do sistema e, dessa forma, na degradação da matéria orgânica da matriz selecionada. De acordo

com os autores, o aumento da taxa de aeração de 0,45 L min^{-1} kg^{-1} para 0,65 L min^{-1} kg^{-1} foi responsável pela facilitação da redução da umidade da matriz, inibindo que a atividade microbiana e reduzindo a biodegradação da matéria orgânica. Além disso, os autores também acrescentam que o posterior aumento da taxa de aeração para 0,85 L min^{-1} kg^{-1} não resultou em qualquer diferença para o sistema, indicando a possibilidade de uma taxa de remoção de água máxima com base apenas na intensidade de aeração.

Um importante parâmetro que é discutido na bibliografia é o agente de *bulking* utilizado nas matrizes de co-biossecagem. Segundo Ma et al. (2019), nos estudos de co-biossecagem com resíduos alimentares e lodo desidratado, a preparação de uma matriz com um agente de *bulking*, que apresente menor taxa de absorção e maior taxa de dessorção de água, é responsável pela ocorrência de maiores temperaturas no sistema de biossecagem. Além disso, Ma et al. (2019) também evidenciam que o tipo de agente de *bulking* apresenta influência na atividade microbiológica e enzimática presente no meio. Os experimentos realizados com espigas de milho como agente de *bulking* apresentaram maior índice de atividade de enzimas lipases e amilases, enquanto o uso de palha na matriz orgânica resultou no maior índice de atividade de proteases. Dessa forma, é reforçado pelos autores que a escolha do agente de *bulking* também é fator de influência no processo de biossecagem conjunta, com base na caracterização das biomassas de interesse na biossecagem conjunta.

Contreras-Cisneros et al. (2021) investigaram a biossecagem em biopilhas compostas majoritariamente por cascas de laranja (79,8%), associadas ao bagaço de cana-de-açúcar (16,7%) e a outros resíduos (3,5%) como agentes de bulking. Nesse estudo, o bagaço de cana-de-açúcar foi empregado com o objetivo de aumentar a porosidade do meio, favorecendo a percolação do ar através do leito, condição essencial para a promoção da biodegradação aeróbica e a elevação da temperatura do processo de biossecagem. Os autores ressaltaram, ainda, a importância da manutenção de concentrações adequadas de oxigênio no interior da pilha, assegurando, assim, a oxigenação do meio e a preservação da atividade microbiológica da matriz orgânica.

Orozco-Álvarez et al. (2025) estudaram a biossecagem de uma combinação de matérias orgânicas, composta por 79,7% de cascas de laranja, 16,7% de bagaço de cana-de-açúcar e 3,6% de demais resíduos orgânicos. O material foi disposto em uma biopilha, medindo 1,65 metros de largura, 1,85 metros de comprimento e 0,90 metros de altura, localizada em uma estufa em espaço aberto, sobre solo exposto e sob as condições climáticas

da Cidade do México. Os autores relataram o acompanhamento dos parâmetros importantes da biossecagem, como temperatura, umidade e demais parâmetros possivelmente influentes.

O uso conjunto de diferentes biomassas pode influenciar grandemente a carga biológica presente na matriz submetida ao processo. Orozco-Álvarez et al. (2025) demonstram que, na matéria orgânica estudada, o bagaço de laranja apresentou grande carga de microrganismos termófilos, ao passo que o bagaço de cana apresentou carga majoritária de microrganismos mesófilos. Dessa forma, o coprocessamento das duas biomassas garante uma microbiota na matriz orgânica variada, podendo assim, ter efeitos na maior geração de calor metabólico e, portanto, na eficiência da biossecagem, enfrentando, de certa forma, os desafios apresentados na biossecagem das duas biomassas detalhadas neste estudo.

Portanto, a literatura indica a viabilidade do processo de co-biossecagem de matérias orgânicas distintas, onde é possível obter-se uma maior porosidade do leito, contribuindo para a percolação do ar e, por consequência, para a secagem do material, e uma maior variabilidade microbiológica, garantindo a maior estabilidade da microbiota ao longo do processo e manutenção da geração de calor metabólico para que a biossecagem se proceda.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para atingir os objetivos propostos e analisar os efeitos no processo de biossecagem da matéria orgânica, composta pela combinação das biomassas previamente descritas, a condução experimental deste trabalho foi estruturada em três eixos centrais: a caracterização das biomassas utilizadas como substrato (resíduos industriais do processamento de laranja e bagaço de cana-de-açúcar) e o pré-tratamento ao qual as biomassas foram submetidas; a metodologia aplicada na realização dos experimentos; e a aquisição, o tratamento e a análise dos dados obtidos ao longo da biossecagem em estudo.

3.1. Biomassas: Resíduos industriais de laranja e Bagaço de cana-de-açúcar

Para a realização deste trabalho, os resíduos sólidos industriais de laranja, compostos principalmente por bagaço, cascas e sementes de laranja, foram originados da produção de suco de laranja e adquiridos diretamente da planta industrial, localizada em Araraquara, município do estado de São Paulo (Brasil), pertencente ao grupo Sucocitrico Cutrale LTDA, empresa brasileira produtora de laranjas, suco de laranja e seus subprodutos.

Ao passo que, para os mesmos fins, a biomassa fresca de cana-de-açúcar, composta majoritariamente de bagaço de cana-de-açúcar, foi originada no processamento de cana-de-açúcar para produção de açúcar e etanol e adquiridos diretamente em unidades industriais presentes na região circunvizinha ao município de São Carlos, São Paulo (Brasil). O material foi adquirido durante a temporada de safra e operação das usinas.

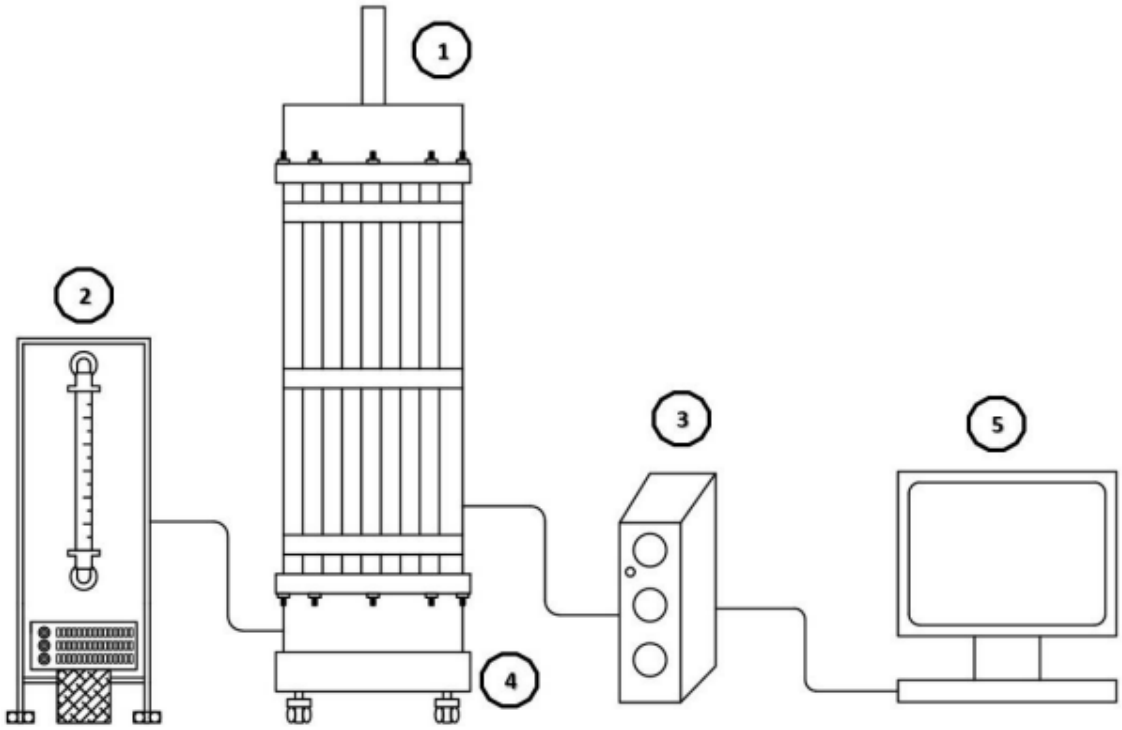
3.2. Equipamento de biossecagem

Na Figura 1, está presente, um diagrama do equipamento de biossecagem utilizado nas corridas experimentais a serem descritas. O corpo do biossecador foi construído em policloreto de vinila (PVC) e é constituído de três diferentes seções: a base do equipamento, o cilindro central e o topo. As laterais exteriores do secador foram revestidas com uma manta cerâmico, no intuito de aprimorar o isolamento térmico do equipamento e reduzir a perda de temperatura do leito para as vizinhanças. O cilindro central apresentou diâmetro interno de 0,30 m e uma altura equivalente a 0,62 m, com volume máximo de operação de aproximadamente 0,04 m^3. O equipamento foi projetado e construído nas dependências do

Departamento de Engenharia Química (DEQ) da Universidade Federal de São Carlos (Brasil).

O leito fixo presente no biossecador consistiu de 12,0 kg da mistura de biomassas supracitadas, com diâmetro de 0,3 m e altura muito próxima da máxima do cilindro central, existindo um espaço livre de cerca de 0,1 m acima do leito para permitir o processo de homogeneização do material sem perdas de massa e reduzir a condensação de vapor imediatamente acima do leito. O material de estudo foi disposto acima de uma placa perfurada, que apresentou duas funções principais: suporte do leito e auxílio da distribuição do fluxo de ar uniformemente.

Figura 3.1. Diagrama do equipamento de biossecagem e sistema de aquisição de dados: corpo (1); rotâmetro (2); sistema de medição de temperatura com cinco sensores (3); sistema de medição de massa (4); aquisição de dados (5).



Fonte: MAIA (2023)

A temperatura foi aferida utilizando sensores de temperatura calibrados (modelo Ds18b20, Dallas Semiconductor, Estados Unidos), os quais são compatíveis com a plataforma Arduíno e apresentam precisão de ±0,5°C. Já, a taxa de fluxo de ar foi regulada por meio de um rotâmetro calibrado (modelo INF-R-P-200, Indflow Ind. Solutions, Brasil). O sistema de aferição de massa foi construído a partir de três placas de aquisição (model

Hx711, Avia Semiconductor Co. Ltd., China), as quais apresentam um limite máximo de medição de 2000 ± 5 g cada.

O processo de biossecagem foi monitorado com auxílio de sistema supervisório desenvolvido utilizando o *software* LabVIEW (National Instruments Corp, Estados Unidos). De modo geral, a cada 10 segundos, o sistema era responsável por ler a porta serial conectada ao microcontrolador e recebe uma *string* única, atualizando todos os valores dos sensores conectados ao processo. Esta *string* é decodificada e ocorre a atualização de todas as variáveis nos indicatores gráficos do *software*, além de realizar o salvamento das informações no disco rígido do computador.

Por sua vez, para as medições de temperatura, o microcontrolador calcula a média entre 5 medições realizadas em um intervalo de 1 segundo entre cada uma e converte esse dado para sinal digital por meio das bibliotecas *DallasTemperature.h* e *OneWire.h*. Já, para as medições de massa, a cada três segundos, o microcontrolador lê a massa nas placas utilizando a biblioteca *HX711.h*. Ao final do procedimento de aquisição e processamento, o microcontrole compila todos os dados obtidos em uma única *string* e encaminha esta informação à porta serial a cada 10 segundos. O *software SuperSys Drying* foi desenvolvido nas dependências do Departamento de Engenharia Química (DEQ) da Universidade Federal de São Carlos (Brasil), para exclusivamente atuar na aquisição de dados de experimentos de biossecagem.

3.3. Procedimento experimental

Para a análise dos efeitos do processamento da combinação de biomassas neste trabalho, foram realizados dois experimentos distintos, ambos partindo de 12kg de material orgânico a ser processado. No primeiro experimento, no presente trabalho denominado “Experimento 1” ou “E1”, foi processada a combinação de biomassas de laranja e de cana-de-açúcar a 50% em massa, ou seja, foram processados conjuntamente 6 kg de biomassa úmida de laranja e 6 kg de biomassa úmida de cana-de-açúcar. Já, para o segundo experimento, denominado “Experimento 2” ou “E2”, foi utilizada uma proporção diferente para a mistura de biomassas, constituindo-se em 25% de biomassa úmida de laranja (3 kg) e 75% de biomassa úmida de cana-de-açúcar (9 kg).

Inicialmente, as amostras de bagaço de cana-de-açúcar foram submetidas a um pré-tratamento, com o intuito de equiparar a umidade inicial da biomassa ao nível de umidade

dos resíduos sólidos industriais de laranja, uma vez que, como observado anteriormente, as duas biomassas de interesse apresentam distintos teores de umidade.

Para isso, foi realizada a adição de água na biomassa de cana-de-açúcar com o objetivo de elevar a umidade do material de 1,0 (kg de água/kg de material seco) (b.s.) até atingir o nível de 3,0 (kg de água/kg de material seco) (b.s.), para evitar o gradiente e transferência de umidade entre as biomassas que foram aplicadas. Dessa forma, para cada quilograma de bagaço de cana-de-açúcar, foram coletados, pesados e adicionados ao conteúdo 2,0 kg de água e realizada a homogeneização. Durante o procedimento de homogeneização, a massa de bagaço de cana-de-açúcar, definida a partir do experimento a ser realizado, apresentando a umidade inicial do material (50% b.u.), foi disposta em uma bandeja plástica e, com o auxílio de um béquer de vidro de capacidade máxima de 2,0 L, o volume de água pesado foi adicionado e a mistura foi homogeneizada manualmente. Após, desconsiderando o peso inicial da bandeja plástica, o material orgânico foi pesado, no intuito de verificar se a massa destinada aos experimentos estava adequada.

Após tratamento inicial da biomassa de cana-de-açúcar, as amostras foram preparadas de acordo com o experimento que seria realizado. Dessa forma, para o E1, foi disposta em bandeja plástica um total de 6 kg de biomassa de cana-de-açúcar e foram acrescidos 6 kg de biomassa de laranja, seguido de uma homogeneização manual até uniformidade do material. Já, para o E2, foram adicionados 3 kg de resíduos sólidos de laranja à uma bandeja plástica contendo 9 kg de bagaço de cana-de-açúcar.

Uma vez preparada a combinação das biomassas, uma parcela do material foi separada para realização da aferição da umidade inicial do material. Simultaneamente, foi dado início ao E1 de biossecagem. O procedimento adotado para identificação da umidade do material é simplificado, consistindo na estadia de 4 amostras do material em estufa a 110 °C sem ventilação forçada, por um período de pelo menos 24h.

Para a conclusão de tal procedimento, primeiramente, realizou-se a medição da massa de quatro placas de Petri de vidro vazias por meio de uma balança analítica de bancada. Os pesos foram registrados para posterior cálculo e atribuídos às placas, numeradas de 1 (um) a 4 (quatro), para identificação das amostras. Em seguida, para cada uma das placas, uma porção da mistura de biomassas foi disposta de forma uniforme, evitando dois principais problemas que poderiam afetar na medição: 1) A compactação do material no interior da placa, dificultando a remoção da água do material e 2) A disposição de material nas bordas da placa ou acima do nível da mesma, uma vez que, com a movimentação das placas para

posicionamento no interior da estufa e/ou aferição da massa na balança, parte do material poderia se perder, comprometendo os dados obtidos. Com o material disposto corretamente nas placas, as amostras foram pesadas com a mesma balança utilizada para as aferições anteriores e as massas obtidas foram registradas, para cálculo da massa de material úmido a ser levado apar secagem em estufa.

Dando continuidade, as amostras foram levadas à estufa, configurada para estabilização da temperatura a 110°C, onde permaneceram por um período de, no mínimo, 24 horas. Os valores adotados para o tempo (24 horas) e temperatura (acima da temperatura de ebulição da água nas condições padrões) utilizados na estufa são imprescindíveis para garantir que o máximo possível de água tenha sido removido do material, resultando, portanto, em um material seco cuja massa pode ser utilizada para identificação da umidade inicial da mistura de biomassas que será processada.

Por fim, ao final do período de 24 horas de secagem, as amostras foram retiradas da estufa, com auxílio de luvas térmicas, e foram reservadas até se encontrarem em temperatura ambiente. Após alcançada esta temperatura, a massa das amostras foi aferida com a mesma balança utilizada em outras etapas e seus valores foram registros, no intuito de se obter a massa de material seco e, com esta, compreender a quantidade de água que foi retirada ao longo do processo para cálculo da umidade inicial da matéria orgânica preparada. Vale ressaltar que, anteriormente a cada uma das aferições de massa com a balança analítica, o equipamento foi previamente ligado e aguardou-se um período mínimo de 30 minutos, com o propósito de assegurar a precisão dos resultados obtidos.

No que se refere ao processo experimental da biossecagem, cada um dos experimentos realizados foi conduzido por um período total de 20 dias, onde houve passagem de ar pelo sistema e se empregou um fluxo de ar de 1,0 m^3/h, na tentativa de melhorar a oxigenação do leito e a transferência de massa de água com a corrente de ar.

Para os E1 e E2, a matéria-prima foi alocada manualmente no interior do biossecador, de modo a evitar a formação de espaços vazios ao longo de sua disposição, os quais são responsáveis por comprometer a uniformidade do leito. Simultaneamente, assegurou-se que não houvesse seções excessivamente compactadas do leito, que dificultam a percolação da corrente de ar, essencial para a remoção de água presente no material. É importante que esta etapa seja realizada com o equipamento de biossecagem desconectado do sistema de aquisição de dados, para evitar quaisquer prejuízos aos equipamentos utilizados.

Finalizada a etapa de carregamento do biossecador com biomassa, o equipamento foi reconectado ao sistema de aquisição de dados e foi dado início à corrida experimental. Nos primeiros 15 dias, o material permaneceu sem presença de corrente de ar constante, para análise dos efeitos sinérgicos no comportamento termodinâmico da operação conjunta das biomassas. Dessa forma, para contribuir com a oxigenação do meio, foram realizadas revoluções manuais do leito fixo, de forma periódica de 5 dias, no intuito de disponibilizar oxigênio de maneira facilitada à microbiota ali presente. Para isso, no momento da revolução de leito, a aquisição de dados foi cessada e o equipamento foi desconectado do sistema, ao passo que todo o conteúdo do leito foi retirado, homogeneizado e, sem seguida, novamente disposto do biossecador, assim como descrito anteriormente.

Além disso, foi dado início ao processo de aeração constante do leito por meio de uma corrente de ar de 1,0 m^3/h, com controle por meio do rotâmetro presente na instrumentação. Embora a injeção de ar no meio presente, ainda assim, permaneceu-se a frequência e procedimento de revoluções de leito, com foco principal para a eventual descompactação do leito, visto a extensão do período experimental.

Ao fim dos 30 dias de biossecagem, o biossecador foi desconectado do sistema de aquisição de dados para procedimentos de pós-operação. Realizou-se uma última homogeneização do leito e foram coletadas 4 amostras do material processado para aferição da umidade, seguindo o protocolo idêntico ao já descrito nesta seção. O material sobressalente foi descartado de forma adequada e se realizou a limpeza do interior do biossecador, para evitar resíduos de matéria orgânica.

O procedimento supracitado foi realizado em dois momentos distintos, para o E1 e para o E2. A condução experimental foi pariforme entre as duas corridas, sendo a principal diferença entre elas a proporção de biomassas adotadas para o estudo. Como mencionado anteriormente, a combinação de biomassas para o E1 foi equivalente a 50% em massa, resultando na mistura de 6 kg de resíduos industriais de laranja e 6 kg de bagaço de cana-de-açúcar. Já, para o E2, utilizou-se a proporção de 25:75 em massa, respectivamente, ou seja, um total de 3 kg de resíduos de laranja e de 9 kg de bagaço de cana-de-açúcar.

3.4. Procedimento de cálculo

Para o cálculo da massa de água a ser adicionada ao bagaço de cana-de-açúcar na etapa preliminar de hidratação da biomassa, foi utilizado o método matemático, onde é obtida a

massa de água necessária (m'_W), por meio da Equação 3.3, e a massa de biomassa inicial (m_B), por meio da Equação 3.4, a partir do conhecimento da umidade inicial do bagaço de cana, em base úmida, (UI) e definida a umidade desejada para a biomassa (UD) e a massa total utilizada no experimento (m_T).

$$\frac{m_W}{m_B} = \frac{m_W}{m_T - m'_W} = UI \tag{3.1}$$

$$\frac{m_W + m'_W}{m_B + m'_W} = UD \tag{3.2}$$

$$m'_W = m_T \frac{(UD - UI)}{(1 - UI)} \tag{3.3}$$

$$m_B = m_T - m'_W \tag{3.4}$$

onde (m_W) corresponde à massa de água presente inicialmente na biomassa de cana-de-açúcar.

A umidade inicial do material nos experimentos foi obtida a partir da Equação 3.5, cujos dados obtidos com o método aplicado podem ser incorporados na resolução do equacionamento. Com o protocolo adotado, tem-se que a primeira aferição realizada (A1) consiste na massa da placa de Petri (m_p), a segunda aferição (A2) é equivalente à massa do material úmido ($m_{ag} + m_{MS}$); e, na terceira aferição (A3), obteve-se a massa do material seco (m_{MS}), incluso à massa da placa.

$$U_i = \left(1 - \frac{A3 - A1}{A2}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{(m_{MS} + m_p) - (m_p)}{(m_{ag} + m_{MS})}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{m_{MS}}{m_{ag} + m_{MS}}\right) \cdot 100 \tag{3.5}$$

onde U_i é a umidade presente no material na placa i (em %), m_{ag} é a massa de água presente na biomassa.

Após obtidos os resultados, foi realizada a média aritmética, expressa pela Equação 3.6, para determinação da umidade média ($\overline{U}$) contida na matéria orgânica analisada.

$$\overline{U} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n} U_i \tag{3.6}$$

onde n é a quantidade de placas utilizadas no processo. Para o presente trabalho, n é equivalente às quatro placas empregadas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Primeiramente, após a realizado do protocolo para identificação da umidade inicial do material utilizado no E1, como descrito anteriormente, os dados de massa e umidade obtidos foram anotados e dispostos na Tabela 4.1.

Tabela 4.1. Dados para identificação da umidade do material – Experimento 1

	Placa 1	**Placa 2**	**Placa 3**	**Placa 4**	
A1 (g)	119,52	118,51	119,68	116,53	
A2 (g)	95,88	73,55	72,44	74,64	
A3 (g)	142,05	136,09	136,42	133,76	
Umidade (%)	76,5	76,1	76,9	76,9	$\bar{U}$ **= 76,6 ± 0,4**

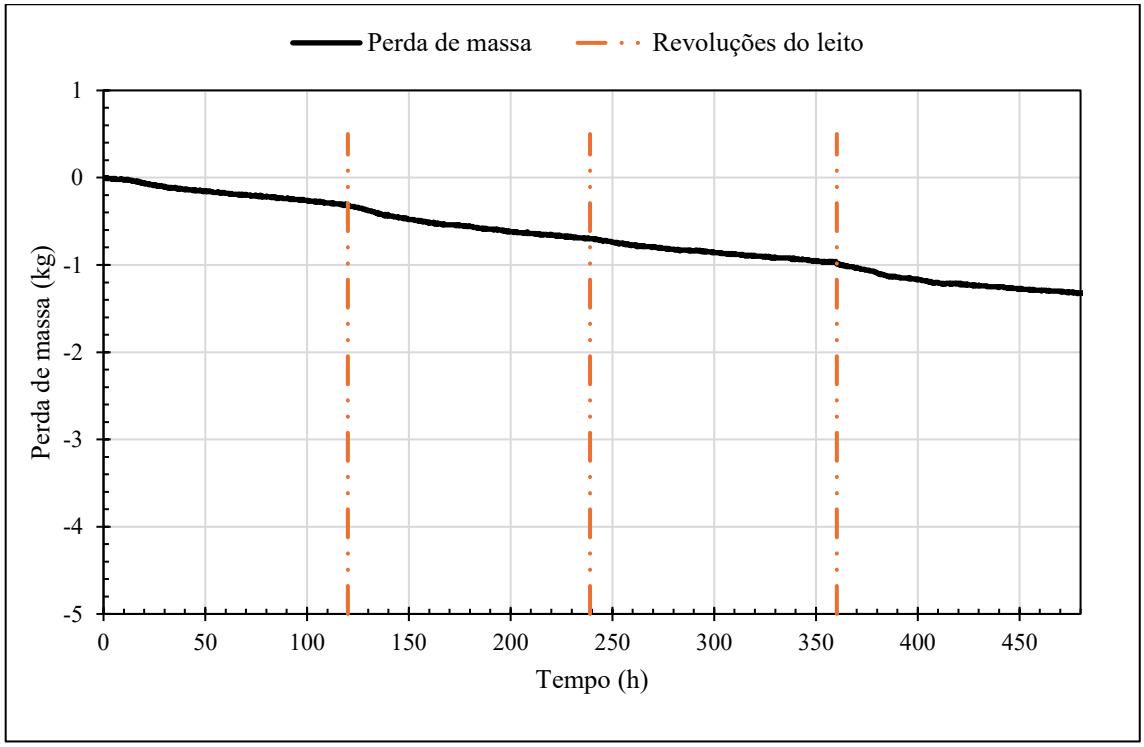
FONTE: Autoria própria (2025).

A umidade média da mistura de biomassas de cana-de-açúcar e laranja em 50% de massa, a partir dos dados coletado e cálculos demonstrados é de, aproximadamente 76,6%. Esse número está de acordo com o valor pretendido com a hidratação do material de 3 kg de água/kg de material seco, equivalente a 75%, demonstrando assim que a hidratação da mistura de biomassas foi realizada como desejado, sendo prováveis diferenças provinda de variações de umidade presente no material inicialmente recebido.

A totalidade dos dados coletados após a realização do processo de biossecagem nos parâmetros descritos para E1, presentes no Anexo A, são compostos de duas informações principais: 1) a perda de massa, simbolizando a remoção de água do leito, ao decorrer do experimento e 2) a variação de temperatura registrada em cada um dos terminais do biossecador ao longo do tempo de processamento.

Dessa forma, para o leito contendo 50% em massa de bagaço de cana-de-açúcar e 50% em massa de resíduos sólidos de laranja, durante um período de biossecagem de 20 dias, a partir dos dados obtidos, foi possível a construção do gráfico da perda de massa do leito em função do tempo de biossecagem, representado na Figura 4.1, onde é possível se observar a tendência linear da remoção de água do meio ao longo do tempo do experimento.

Figura 4.1. Perda de massa em função do tempo de biossecagem – Experimento 1.



Fonte: Autoria própria (2025).

Como é possível observar na Figura 4.1, a taxa de remoção de água ao longo do período de biossecagem se manteve consideravelmente constante até o final do experimento, contribuindo para perda de massa do leito até atingir 1,3 kg de água, equivalente a aproximadamente 14,4% da quantidade de água inicial presente no material. Tal redução simboliza, com base nos 12 kg inicias de material e uma umidade em base úmida de aproximadamente 75,0%, uma redução de umidade total para o valor de 72,0%, o que não configura uma redução significativa da umidade do material. Assim, uma vez que o material utilizado no experimento apresentava umidade inicial de cerca de 3,0 kg de água/kg de material seco, a perda de água é virtualmente insignificante em termos da quantidade de água ainda presente no sistema.

Para um processo de biossecagem, similar ao apresentado neste trabalho, com leito composto por resíduos sólidos de laranjas, provindos da indústria de transformação, Maia, Horta e Felizardo (2023) descreveram uma remoção de água aproximada de 1,8 kg nas primeiras 48h de biossecagem, partindo de uma matéria-prima cuja umidade inicial era de 3 kg de água/kg de material seco. Isso demonstra a ineficiência da remoção de água da biossecagem da mistura de bagaço de cana-de-açúcar e resíduos de laranja, cuja apresentou

uma perda de massa inferior após processamento por um período aproximadamente 10 vezes maior, onde a alimentação de ar no sistema se manteve igual no experimento e na bibliografia citada, com valor de 1,0 m³/h.

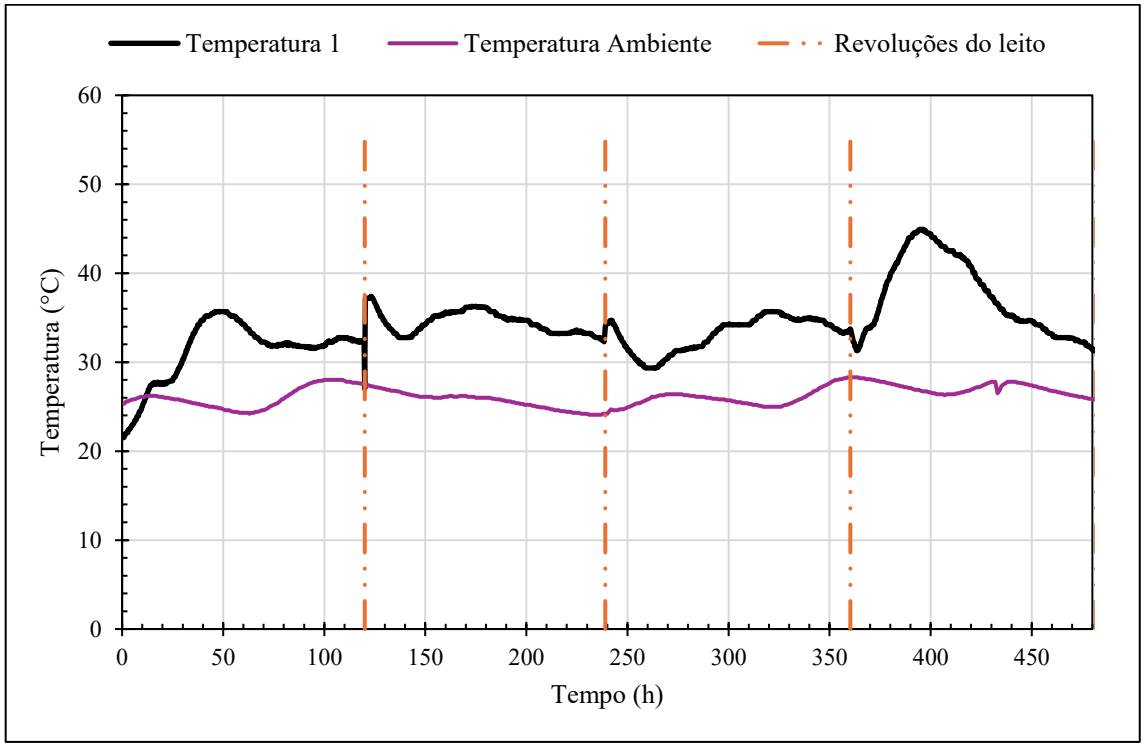
Entretanto, a cada revolução de leito (realizadas em t = 120h, t = 240h e t = 360h), é possível observar a ocorrência de pequenas alterações na tendência da remoção de massa do leito, indicando uma sútil melhora no processo de redução da umidade do material, conforme o leito foi reconfigurado. Esta melhora no processo pode ser originada na homogeneização da umidade do material do biossecador, redistribuindo-a em todas as seções do equipamento e ocasionando no aumento da umidade no topo do leito, a qual é a única superfície de contato e área de troca térmica do sistema e suas vizinhanças. O intuito de configurar o leito nesta disposição e apresentando a massa escolhida (12 kg) baseou-se na emulação das condições encontradas em uma biopilha do material e dos cenários aos quais ela poderia estar submetida. No entanto, é válido destacar que, no caso da biopilha de resíduos orgânicos, toda a superfície da biopilha está disponível para o transporte de massa e troca térmica ao passo que, no biossecador utilizado para os experimentos descritos neste trabalho, a mesma superfície se limita única e exclusivamente ao topo do leito cilíndrico.

Assim como descrito anteriormente, a taxa de aeração do meio e disponibilização de oxigênio para a microbiota presente no material é um importante parâmetro que contribui para a remoção de água do sistema. No E1, a baixa perda de massa está fundamentalmente relacionada com a reduzida vazão de ar empregada na alimentação do sistema, cujo valor foi de 1,0 m³/h. Entretanto, ao se considerar o processo de biossecagem, a aumento exacerbado da taxa de aeração do sistema é responsável pelo aumento da transferência de massa entre a corrente de ar e a água presente no leito, mas também compromete a geração de calor metabólico e a manutenção de temperaturas mais elevadas no leito. Dessa forma, para a configuração de um processo de biossecagem, esta relação intrínseca entre a vazão de ar empregada e a queda de temperatura do meio decorrente da corrente de ar deve ser sempre contabilizada, no intuito de se obter uma eficiência de biossecagem adequada.

Partindo desta informação, com os dados coletados do E1 e presentes no Anexo A, foram construídos os gráficos de temperaturas de cada um dos terminais de aferição de temperatura (1 a 5, em ordem crescente partindo da seção inferior do biossecador), para acompanhamento do desenvolvimento de temperatura na seção inferior do leito (terminal 1) (Figura 4.2) a qual apresenta contato direto com a alimentação de ar no processo; nas seções internas (terminais 2, 3 e 4) (Figura 4.3, Figura 4.4 e Figura 4.5, respectivamente); e na seção

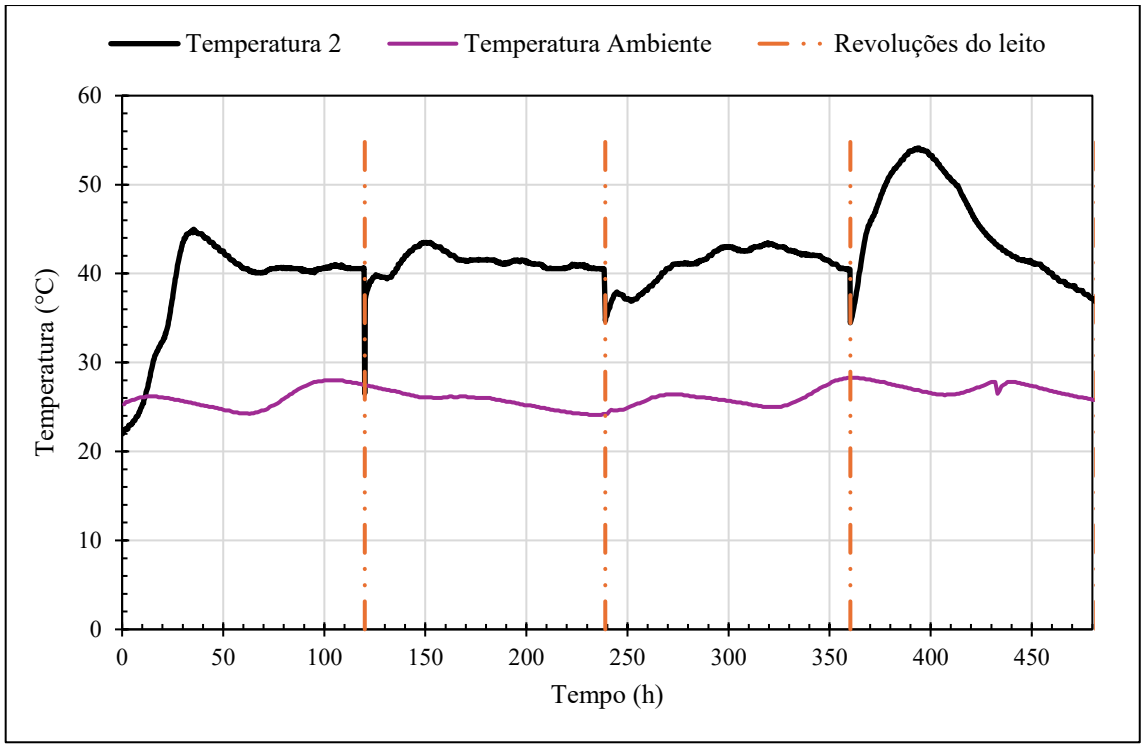
superior do leito (terminal 5) (Figura 4.6), a qual tem maior influência da temperatura ambiente.

Figura 4.2. Temperatura do terminal 1 e Temperatura ambiente em função do tempo de biossecagem – Experimento 1.



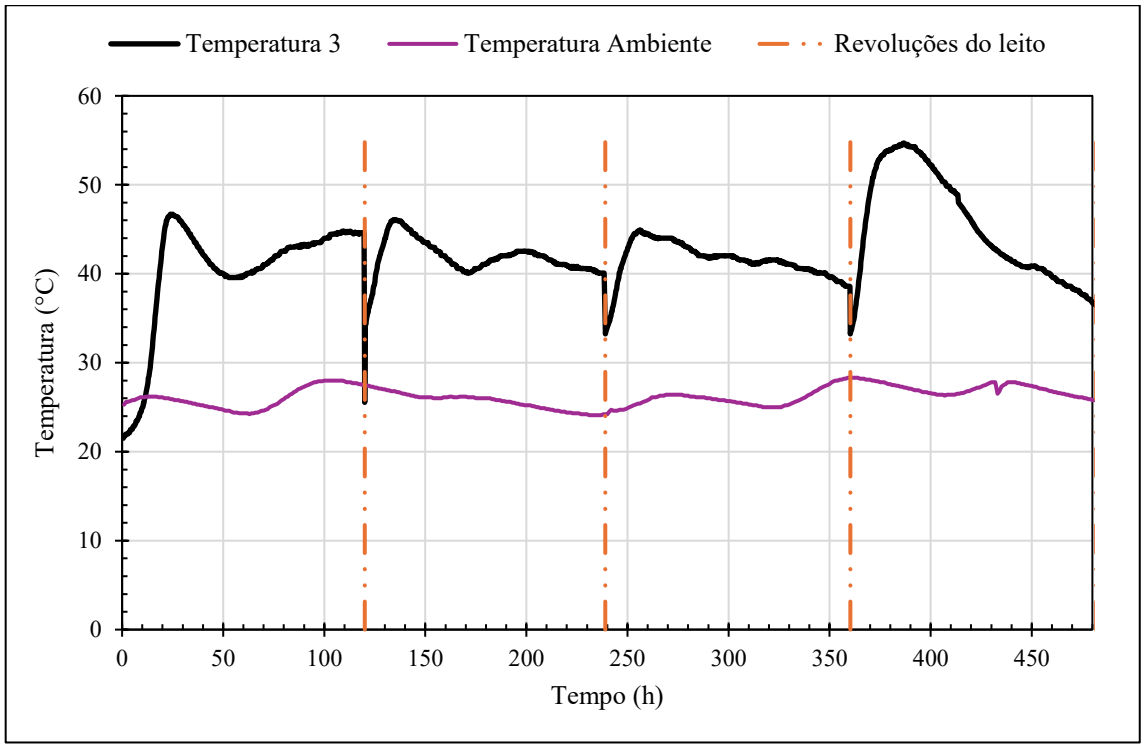
Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 4.3. Temperatura do terminal 2 e Temperatura ambiente em função do tempo de biossecagem – Experimento 1.



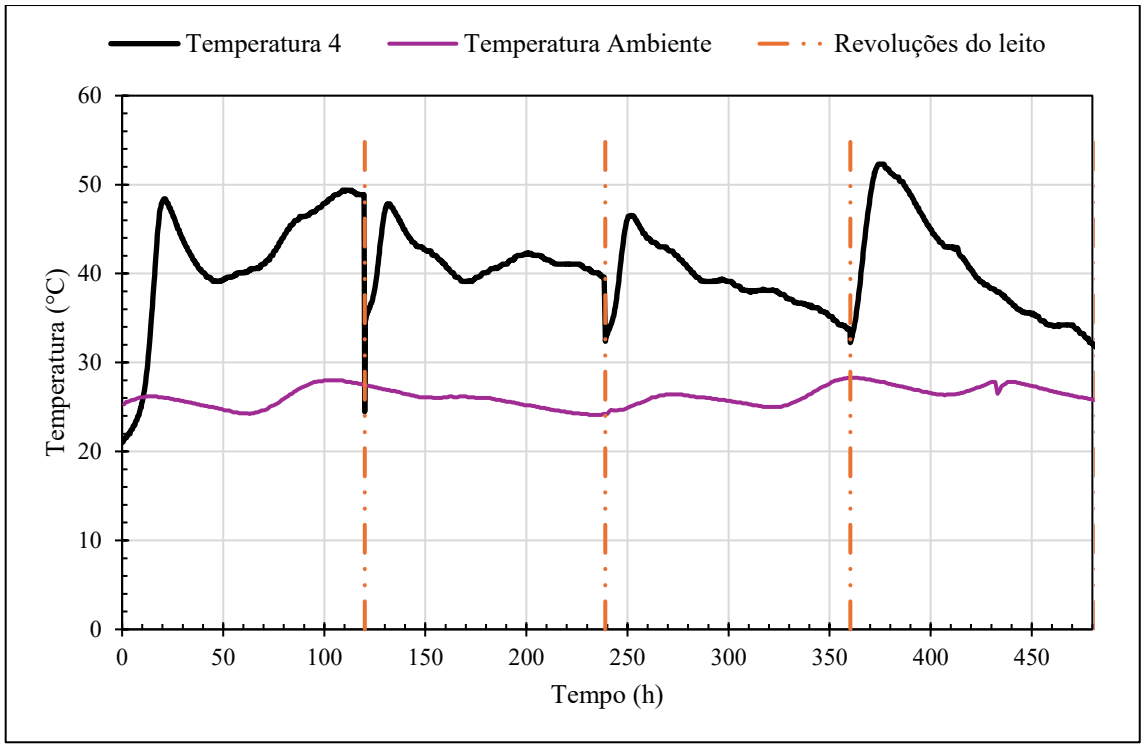
Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 4.4. Temperatura do terminal 3 e Temperatura ambiente em função do tempo de biossecagem – Experimento 1.



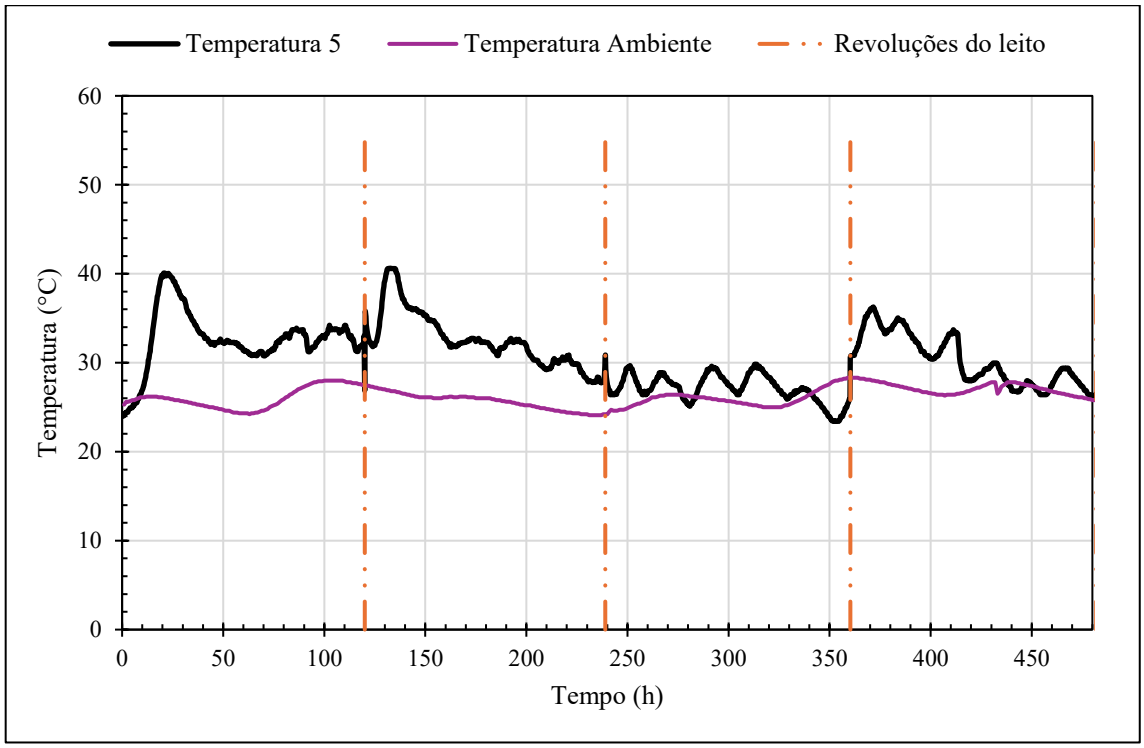
Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 4.5. Temperatura do terminal 4 e Temperatura ambiente em função do tempo de biossecagem – Experimento 1.



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 4.6. Temperatura do terminal 5 e Temperatura ambiente em função do tempo de biossecagem – Experimento 1.



Fonte: Autoria própria (2025).

A partir dos gráficos para os terminais com sensores de temperatura, pode entender o comportamento térmico do meio ao longo do processo de biossecagem da biomassa conjunta de bagaço de cana-de-açúcar e resíduos industriais de laranja em 50% em massa. Para a curva de temperatura da camada inferior (localizada na Figura 4.2), observa-se, de forma geral, que, a cada ciclo de revolução do leito, o sistema apresentou elevação na temperatura registrada, em especial após o último ciclo de homogeneização (t = 360h). Dentre os dados de temperatura coletados, o pico de máxima temperatura do setor foi de 44,9°C, ocorrido após cerca de 390h de biossecagem, ao passo que a menor temperatura relatada após as primeiras 30h de experimento foi igual a 27,0°C, configurando uma amplitude térmica de 17,9°C.

Para as camadas internas do leito, acompanhadas nas Figuras 4.3, 4.4 e 4.5, a temperatura mais elevada, alcançada também por volta de 390h após início da biossecagem, para essa região foi equivalente a aproximadamente 54,7°C, sendo essa a maior temperatura registrada ao longo de todo o E1. A porção interna do equipamento também registrou a maior amplitude térmica ao longo do período de 20 dias (29,1°C), cuja temperatura mínima foi de 24,5°C na seção mais superior da camada interna (terminal 4).

Já, analisando os dados para a camada superior (Figura 4.6), tem-se que as temperaturas coletadas pelo Sensor 5 não alcançaram temperaturas tão elevadas quanto as observadas nos outros sensores, apresentando um pico de temperatura em torno de 130h decorridas de experimento, apresentando o valor de 40,6°C e temperatura mínima do processo de 23,4°C, até mesmo abaixo da temperatura ambiente no momento em que está temperatura foi desenvolvida. A dificuldade no desenvolvimento de elevadas temperatura e possível influência da temperatura ambiente e do meio externo na seção, que apresentava a maior superfície de contato com as vizinhanças, conferiu a menor amplitude térmica do sistema, o marco de 17,2°C de variação entre seus pontos de máximo e mínimo.

Em análise ao perfil térmico presentes nos gráficos dos setores 1 (Figura 4.2), 2 (Figura 4.3), 3 (Figura 4.4) e 4 (Figura 4.5), observa-se que todos eles apresentaram uma elevação na temperatura do sistema após o último ciclo de revolução de leito realizado, onde o principal aumento de temperatura foi verificado nas seções internas ao leito, correspondendo aos terminais 2, 3 e 4. Este comportamento pode ser justificado pelo contato direto do inferior do leito com a alimentação do fluxo de ar, resultando na ocasional redução da umidade, mesmo que em pequenas proporções. Uma vez que ainda se encontra instaurado, o ar apresenta a tendência de provocar o ressecamento das camadas inferiores do leito,

tornando o meio inviável para o desenvolvimento da microbiota no material, desfavorecendo a atuação da atividade microbiológica no início do leito e, portanto, reduzindo a geração de calor metabólico e, por consequência, na manutenção da temperatura no local.

Uma análise muito similar pode se realizar para as seções 3 e 4 com a execução do experimento. Ao longo de um maior tempo de operação do sistema, foi possível observar um significativo aumento de temperatura em comparação à temperatura ambiente. Uma hipótese para justificativa do comportamento térmico observado é o fato das seções indicadas não apresentarem contato com um meio cuja diferença de umidade seja um fator responsável pelo favorecimento da transferência de massa. Dessa forma, estas camadas centrais do leito se apresentaram com temperaturas elevadas e baixa eficiência na remoção de água durante o processo de biossecagem. Ainda, a passagem da corrente de ar, ao alcançar as porções centrais do equipamento, já se encontrava em condição de saturação, resultante na redução de perda de umidade e permitindo condições mais favoráveis e propícias para o desenvolvimento celular, responsável pela geração de calor metabólico, mas também podendo contribuir para a formação de água devido ao metabolismo dos microrganismos.

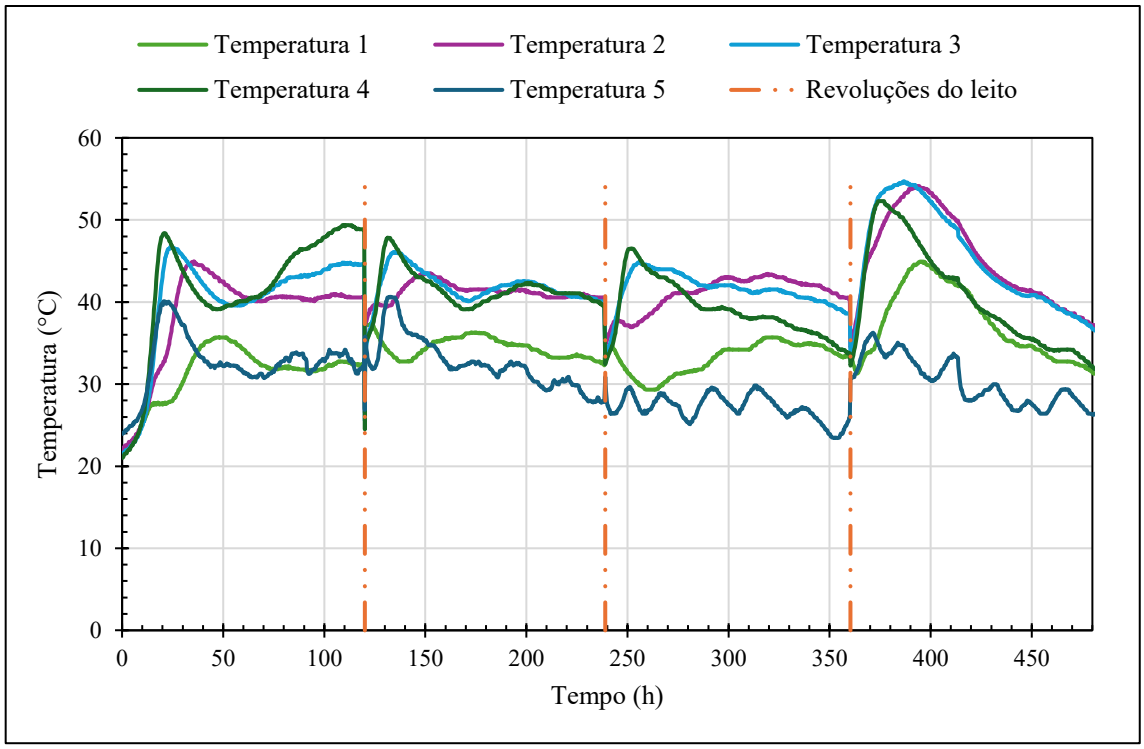
Já, para a seção superior do sistema, cujos dados foram obtidos no terminal 5 (Figura 4.6), por estar em contato com a superfície externa do equipamento, favorecendo a transferência de massa por esta área, possivelmente sofreu grande influência com a perda de umidade no topo do leito, impactando, por tanto, a elevação da temperatura neste setor, não alcançado maiores temperaturas, diferentemente dos demais setores do biossecador.

No que se refere às revoluções de leito, o perfil térmico das curvas de temperatura foi muito semelhante, exceto pelo Setor 5, apresentando picos de temperatura após a homogeneização da umidade e oxigenação do leito, provavelmente associadas ao favorecimento da geração de calor metabólico. Além disso, a aeração adicional provocada pelas homogeneizações periódicas demonstrou que, para tempos de biossecagem superiores a 360 h (equivalente a 15 dias), o leito demonstrou uma recuperação com maiores chance de obtenção da elevação da temperatura do sistema, principalmente das seções internas, na sequência. Esse evento pode ser justificado possivelmente pela elevada quantidade de microrganismos presentes nestes setores, que se apresentam mais favoráveis ao desenvolvimento da microbiota, cujo desenvolvimento microbiológico foi impulsionado pela baixa perda de umidade, resultando no aumento do calor biológico gerado e, portanto, na elevação da temperatura do sistema.

A partir de uma análise combinada dos efeitos da temperatura e da remoção de massa de água do leito, fica destacado que, apesar do tempo prolongado de operação, superior a 250h e a apresentação de um relevante perfil térmico como é possível observar pela figuras apresentadas, a ausência de uma corrente de ar robusta, que permita que a umidade livre presente no sistema seja removida com sucesso, é responsável pela inviabilização do processo de biossecagem nessas condições, baseando-se no ponto de vista operacional.

Ademais, a Figura 4.7 apresenta o comportamento de todas as curvas de temperatura do sistema ao longo do processamento da matéria orgânica.

Figura 4.7. Comportamento térmico do sistema ao longo do tempo de biossecagem – Experimento 1.



Fonte: Autoria própria (2025).

A partir da Figura 4.7, é possível verificar que, dentre todas as curvas de temperaturas para os setores inferior (Temperatura 1), interno (Temperaturas 2, 3 e 4) e superior (Temperatura 5), a porção interna do leito apresentou um perfil mais desenvolvido termicamente que os demais setores, em especial as Temperaturas 3 e 4, dentro da proposta experimental adotada para a realização deste trabalho. Além disso, é possível notar uma grande diferença entre os valores de temperatura observados para o terminal 3 e o terminal 5, ao longo da realização do experimento. O maior delta de temperatura registrado se

procedeu após o terceiro ciclo de revolução do leito, onde todas as curvas apresentaram recuperação da elevação da temperatura, porém, em comparação com as demais, a porção 5 não apresentou grande aumento, configurando uma diferença média de 15,0°C quando confrontado com os dados coletados do terminal 3.

Assim como realizado para o E1, após a realização do protocolo para cálculo da umidade presente do material preparada para utilização no E2, os dados de massa e umidade obtidos foram anotados e dispostos na Tabela 4.2.

Tabela 4.2. Dados para identificação da umidade do material – Experimento 2

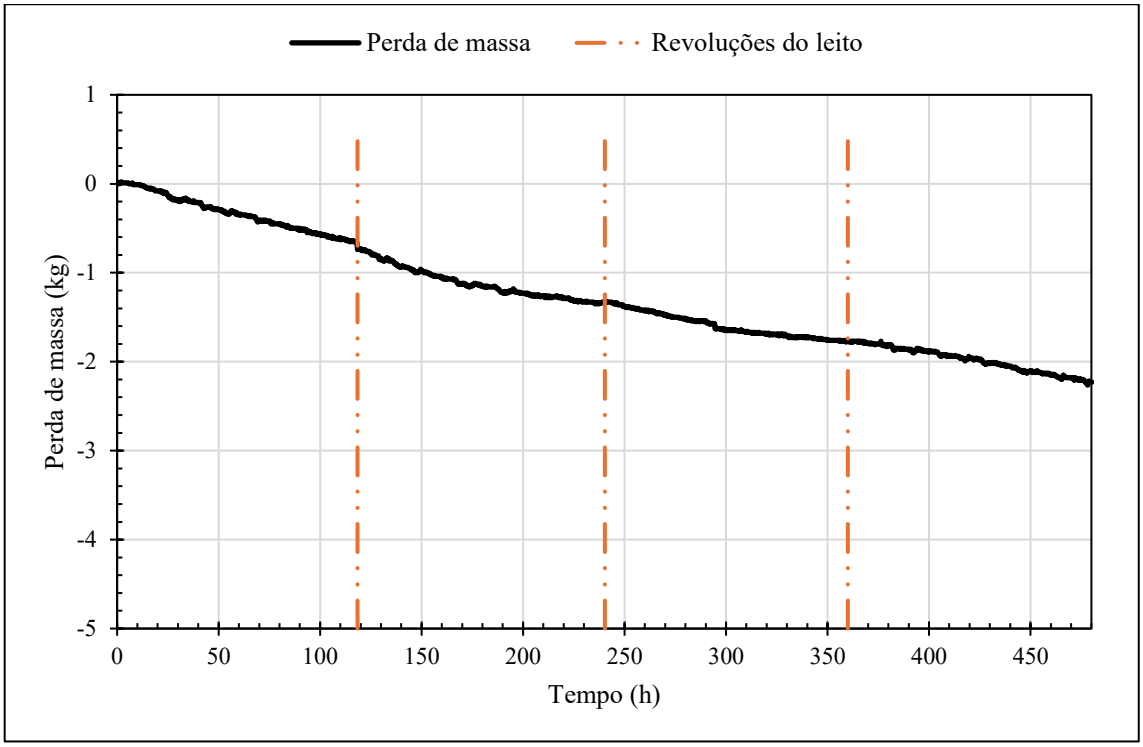
	Placa 1	**Placa 2**	**Placa 3**	**Placa 4**	
A1 (g)	119,63	118,57	119,71	116,59	
A2 (g)	85,83	96,61	102,81	80,66	
A3 (g)	139,47	139,74	142,10	135,07	
Umidade (%)	76,8	78,0	78,2	77,0	$\bar{U}$ **= 77,5 ± 0,7**

FONTE: Autoria própria (2025).

A umidade média da mistura de biomassas de cana-de-açúcar em 75% de massa e e laranja em 25% em massa, a partir dos dados coletado e cálculos demonstrados é de, aproximadamente 77,5%. Esse número está de acordo com o valor pretendido com a hidratação do material de 3 kg de água/kg de material seco, equivalente a 75%, demonstrando assim que a hidratação da mistura de biomassas foi realizada como desejado, sendo prováveis diferenças provinda de variações de umidade presente no material inicialmente recebido.

Dando continuidade à análise dos dados, para o E2, conduzido com uma proporção em massa diferente entre bagaço de cana-de-açúcar (75%) e resíduo de laranja (25%), foi possível construir o gráfico de perda de massa (remoção de água) ao longo do tempo de biossecagem. Tal gráfico está apresentado na Figura 4.8.

Figura 4.8. Perda de massa em função do tempo de biossecagem – Experimento 2.



Fonte: Autoria própria (2025).

Seguindo a análise do E2, a partir da Figura 4.8, é possível observar o desenvolvimento de uma tendência linear, de forma geral, para toda a duração da biossecagem, da perda de massa na forma de remoção de água do leito para o material apresentado. Isso demonstra que a taxa de remoção de água do leito permaneceu relativamente constante no decorrer do toda a experimentação prática. Entretanto, assim como no E1, pequenas melhorias na perda de água do sistema foram registradas após cada ciclo de revolução de leito.

Ao término das 480h de biossecagem, o sistema constatou a redução de massa de 2,2 kg de água, o que equivale a cerca de 24,4% da quantidade de água inicial presente na matéria orgânica utilizada neste trabalho. Dessa forma, baseando-se na umidade inicial em base úmida de aproximadamente 75%, a remoção de água obtida configura uma redução de umidade para a casa de 69,4%, o que indica que a adição de uma maior proporção de bagaço de cana-de-açúcar foi benéfica para o processo de remoção de água no sistema, uma vez que a perda de água do sistema estabelecido no E2 foi superior à perda obtida no E1.

Uma vez que o meio possuiu uma maior quantidade de bagaço de cana, rotineiramente utilizado em outros sistemas assim como já descritos nas revisões bibliográficas, como agente de *bulk*, a maior perda de umidade do Experimento pode ter se dado pela elevação da

porosidade do leito no interior do biossecador. Tal aumento na porosidade contribui positivamente para a transferência de massa entre o meio orgânico, que dispõe da água livre na superfície das partículas, e a corrente de ar empregada na alimentação do equipamento, que, nesta configuração, apresentou maior quantidade de espaços de vazios para percolar pelo leito.

Todavia, mesmo que apresente uma melhora comparada à proporção 50:50 utilizada no E1, a remoção de água obtido nesta segunda investigação ainda se encontra relativamente inconsistente e se torna insignificante ao ser relacionada a um material, cuja umidade inicial é de 3 kg de água/kg de material seca. Como apresentado, Maia, Horta e Felizardo (2023) obtiveram uma redução de massa próxima à apresentada (1,8 kg de água) em um tempo de processamento exorbitantemente inferior ao registrado (48h). Dessa forma, mesmo que represente uma evolução no processo, a biossecagem da mistura de bagaço de cana-de-açúcar e resíduos industriais do processamento de laranja em suco na proporção de 75:25, respectivamente, ainda apresentou uma eficiência de biossecagem baixa.

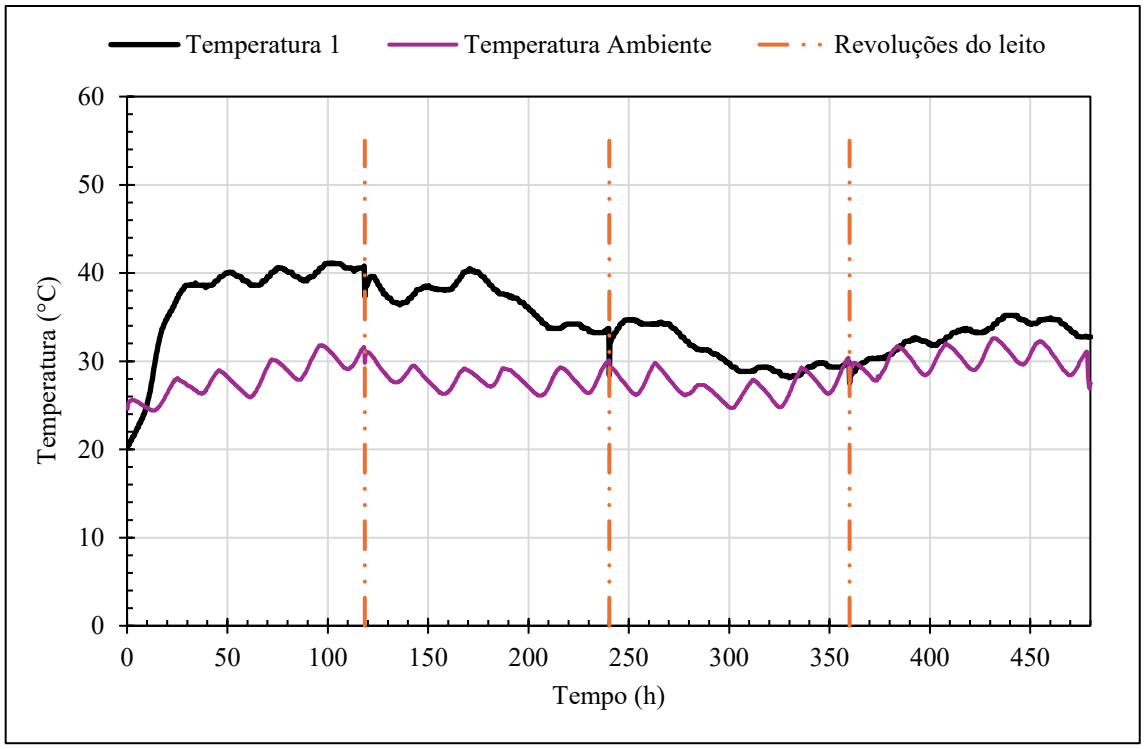
Após os procedimentos de revolução e homogeneização do leito, realizados a cada 120h de biossecagem (t = 120h, t = 240h e t = 360h), constatou-se uma leve melhoria no processo de remoção de água do meio. Tal melhora possivelmente se deriva do fato de que, com a homogeneização, a umidade é redistribuída a porções com maior favorabilidade de troca térmica com o meio externo, como seção superior do leito, intensificando a redução de massa do sistema e promovendo as pequenas acelerações na curva de perda de massa. Assim, como no E1, fica evidenciado que, pela configuração de biopilhas e sua maior área de contato com as vizinhanças, as melhoras na redução da umidade podem ser ainda mais intensificadas com a revolução das mesmas, por motivos similares aos observados na seção do topo do leito do biossecador utilizado.

No que se refere à baixa eficiência da biossecagem, compreende-se que a taxa de aeração e disponibilização de oxigênio para os microrganismos presentes naturalmente na matéria orgânica é um fator essencial para a remoção de umidade do meio, em virtude do favorecimento das condições para o desenvolvimento microbiológico e, por consequência, da geração do calor metabólico responsável pelo aquecimento do ar no quesito da troca térmica e evaporação da água no material. Tendo isso em mente, é explícito que a baixa vazão de ar empregada nesta etapa do experimento, correspondente a 1,0 m³/h, contribuiu para a obtenção da baixa eficiência registrada. No entanto, assim como indicado nas discussões dos dados do E1, o aumento desproporcional da corrente de ar aplicada no

processo é responsável por debilitar o crescimento da microbiota existente, em razão da mudança de ambiente e remoção acelerada da umidade e inevitável diminuição da temperatura, por consequência.

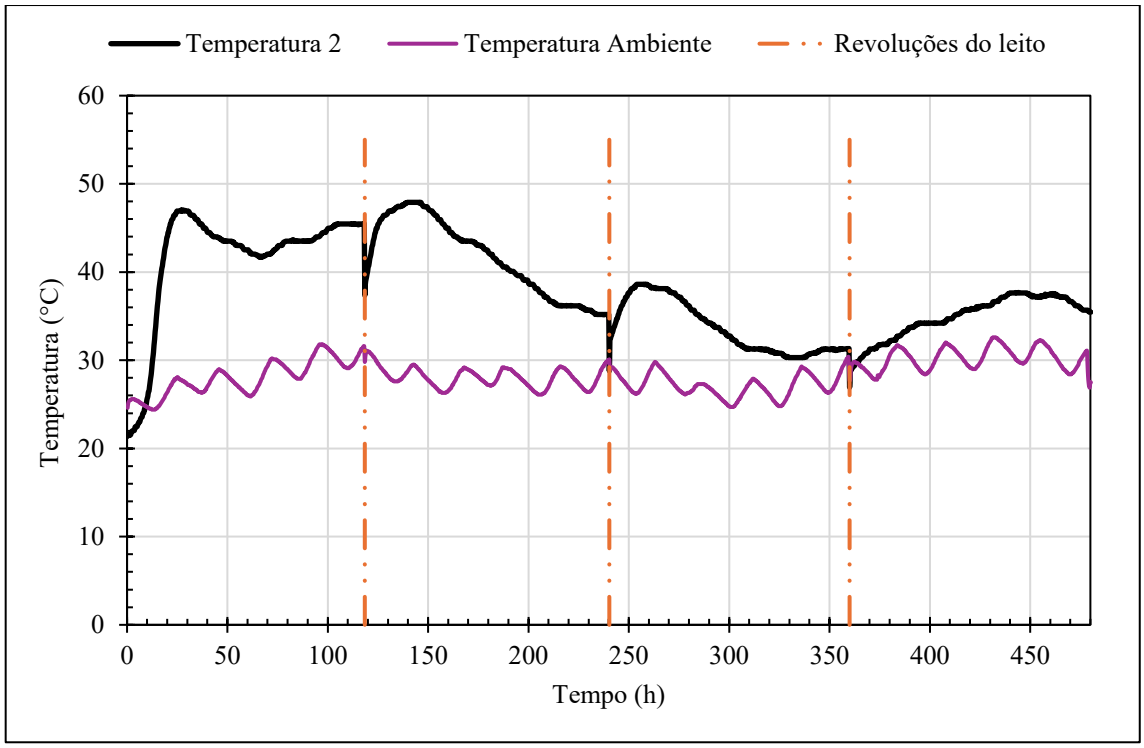
Prosseguindo para a análise da temperatura registrada no sistema do E2, a partir dos dados presentes no Apêndice A, foram construídas as curvas de temperatura ao longo da duração do estudo de biossecagem, divididas por cada terminal de 1 a 5 (Figuras 4.9, 4.10, 4.11, 4.12 e 4.13, respectivamente), em comparação com o desenvolvimento da temperatura do meio externo (temperatura ambiente) simultaneamente ao experimento.

Figura 4.9. Temperatura do terminal 1 e Temperatura ambiente em função do tempo de biossecagem – Experimento 2.



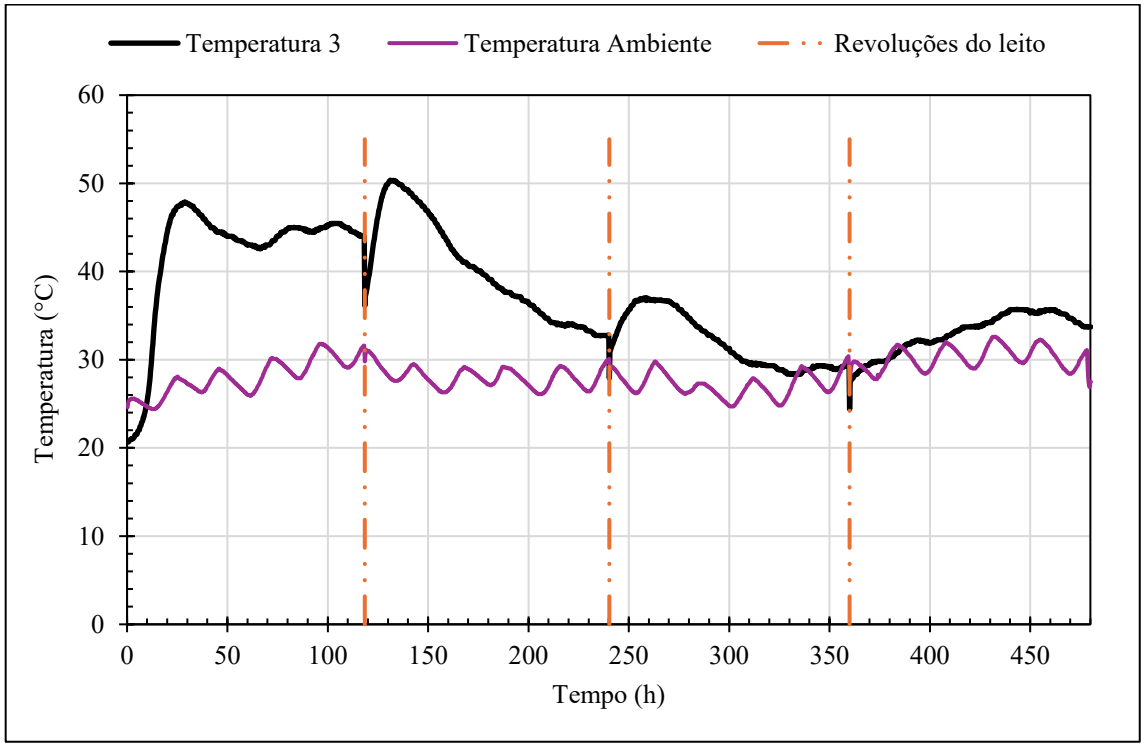
Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 4.10. Temperatura do terminal 2 e Temperatura ambiente em função do tempo de biossecagem – Experimento 2.



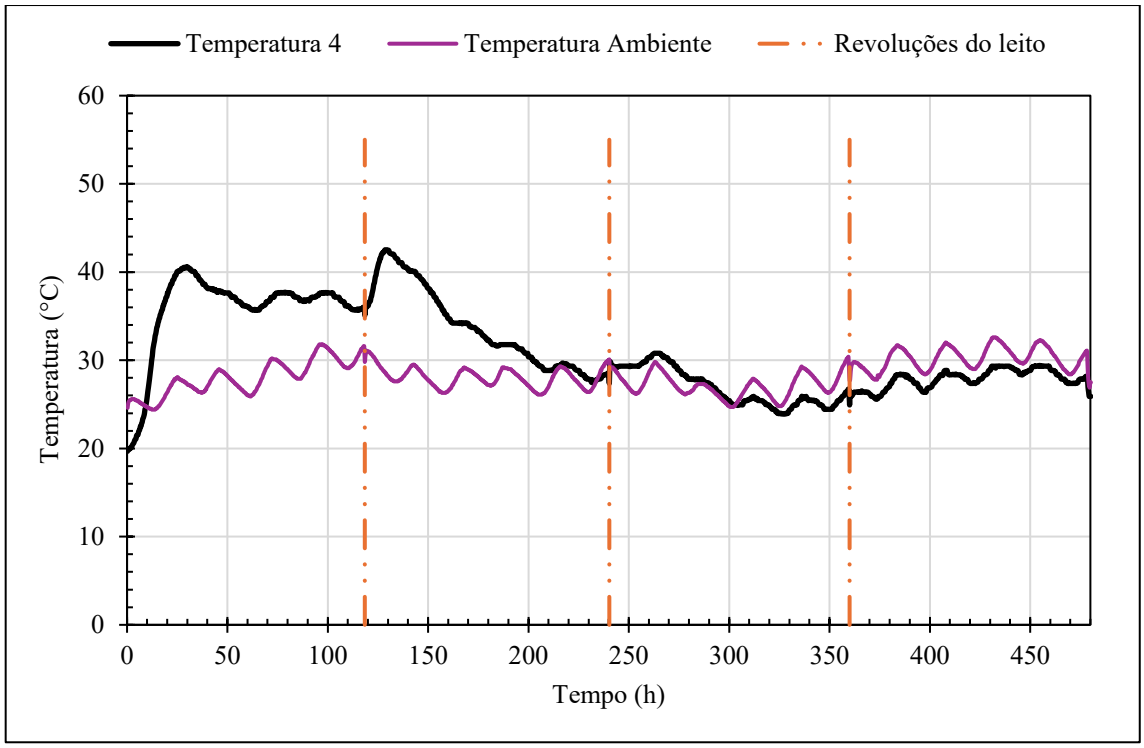
Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 4.11. Temperatura do terminal 3 e Temperatura ambiente em função do tempo de biossecagem – Experimento 2.



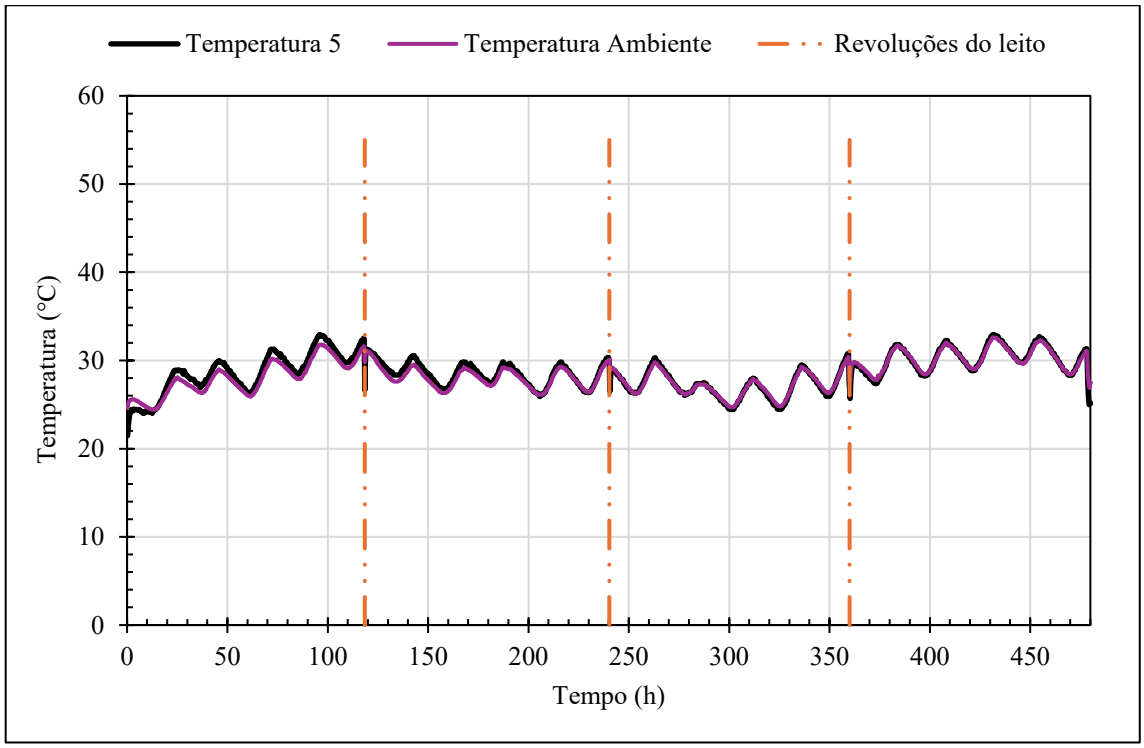
Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 4.12. Temperatura do terminal 4 e Temperatura ambiente em função do tempo de biossecagem – Experimento 2.



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 4.13. Temperatura do terminal 5 e Temperatura ambiente em função do tempo de biossecagem – Experimento 2.



Fonte: Autoria própria (2025).

A partir dos gráficos expostos, é possível identificar que, para o E2, as seções inferior e internas do leito apresentaram maior desenvolvimento de um perfil térmico, culminando em picos de temperaturas após as etapas de homogeneização do leito, principalmente para as porções 2 (Figura 4.10) e 3 (Figura 4.11) do leito. Em comparação com tais seções, os terminais 1 e 4 apresentaram menores picos de temperatura. Para os picos de temperatura observados na seção internas, tem-se que a temperatura máxima registrada foi de 50,3°C (terminal 3), alcançado a menor temperatura, com o valor de 26,9°C, após 360h decorridas.

De forma similar ao apresentado no experimento anterior, as maiores temperaturas nas camadas 2 e 3 do sistema presente no E2 também informam alta possibilidade de estas apresentarem baixa eficiência de remoção de água do meio, favorecendo a criação de um ambiente propício ao desenvolvimento dos microrganismos e aumento da atividade metabólica no local, resultando, portanto, no aumento da temperatura observado.

Para o terminal 1 (Figura 4.9), a justificativa possivelmente se dá pelo contato direto da porção inferior do leito com a corrente de ar sendo alimentada ao equipamento de forma constante, o que garante uma maior remoção da água presente no conteúdo nas partes do fundo do biossecador, uma vez que, ao percolar as partes iniciais do material, o ar ainda está em sua forma insaturada de água. A maior redução da umidade causa a desestabilização das colônias de microrganismos, reduzindo a geração de calor e, consequentemente, a elevação da temperatura. Analisando os valores de temperaturas obtidos neste setor, verifica-se que a temperatura mais alta alcançada no sistema, ocorreu dentro das primeiras 120h de biossecagem e apresentou valor de 41,1°C, conferindo a esta porção uma amplitude de 13,6°C entre a maior e a menor temperatura registrada na totalidade do E2.

Para o terminal 4 (Figura 4.12), caracterizou-se um cenário diferente do exposto no E1, onde os picos de temperatura não foram os mais elevados que em todo o restante do leito. As temperaturas reduzidas para a porção 4 no E2, quando comparadas às temperaturas das outras porções do mesmo leito ou às temperaturas registradas no setor 4 do E1, podem ser justificadas pela diferença de composição do material orgânico utilizado para a biossecagem. O bagaço de cana-de-açúcar, quando comparado aos resíduos de laranja, apresenta uma maior porosidade e maior redução de volume quando exposto à redução de umidade. Dessa forma, com a maior redução de umidade na camada superior do leito (terminal 5), devido a sua maior área de superfície para troca térmica com o meio externo, como disposto anteriormente, há também a maior redução de volume da cama, resultando numa maior influência do meio externo nas partes superiores da seção interna do leito,

afetando, portanto, a geração e manutenção de calor no terminal 4. Portanto, com picos de temperatura menores (42,5°C), a camada apresentou amplitude alta, de aproximadamente, 23,9°C, entre os extremos superior e inferior, da curva de temperatura.

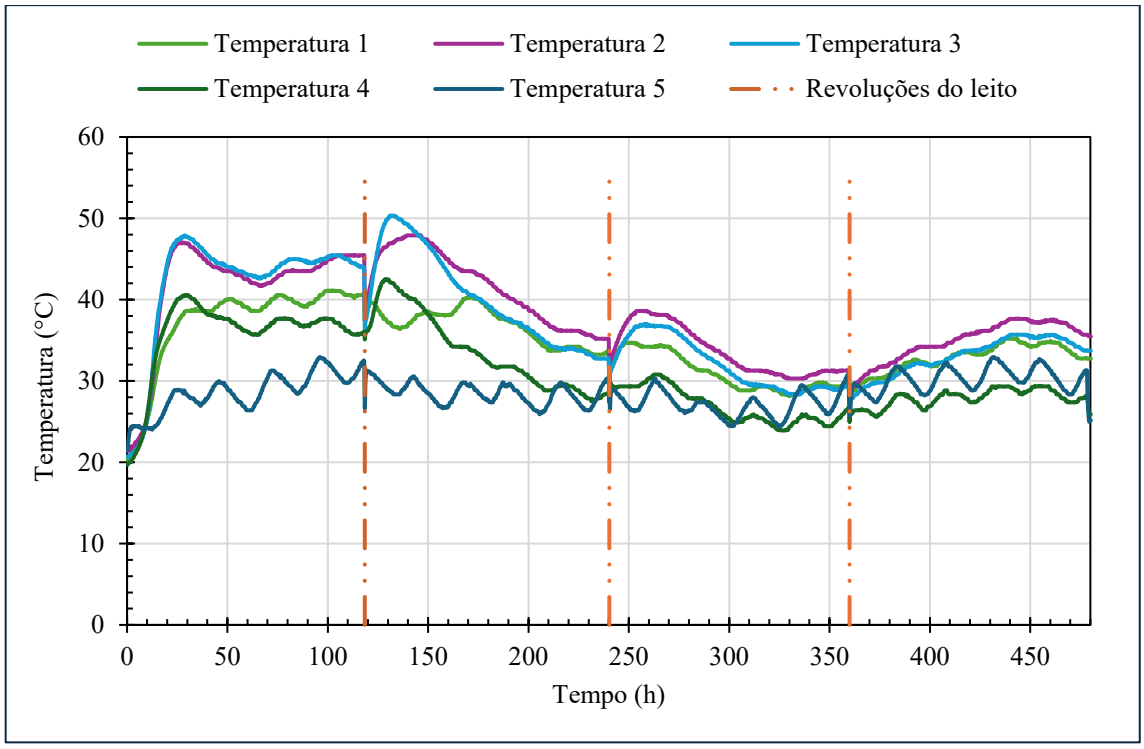
O comportamento da última porção do leito (Figura 4.13) neste experimento apresentou-se de forma muito semelhante à variação da temperatura ambiente ao longo do período de biossecagem, principalmente após decorridas 250h de experimento. Este comportamento demonstra que não houve possibilidade de desenvolvimento da microbiota nesta porção do leito, devido ao desfavorecimento das condições do meio, principalmente relacionadas à quantidade de umidade presente. Ainda, a amplitude de temperatura desta seção encontrou-se entre 24,4°C e 32,9°C, virtualmente igual á variação da temperatura ambiente entre 24,7°C e 32,6°C.

Para o E2, elevadas temperaturas (acima de 40°C) foram observadas ao longo de todo o período de biossecagem, principalmente após os ciclos de revolução, onde a oxigenação do leito possivelmente impulsionou o metabolismo microbiológico para maior geração de calor e, portanto, na elevação da temperatura. No entanto, tal fenômeno não foi replicado no E2, cujo primeiro ciclo de homogeneização (t = 120h) surtiu efeito na elevação da temperatura do meio e alcance de um pico de temperatura, porém os seguintes ciclos, após 240h e 360h, não replicaram o mesmo aumento da temperatura, onde, após o segundo ciclo de homogeneização, foi registrado um pequeno aumento de temperatura apenas para as porções 1, 2 e 3. Após a última etapa de homogeneização, muito diferentemente do descrito para o E1, o sistema não apenas apresentou a incapacidade de se recuperar termicamente e manteve temperaturas baixas, como também apresentou níveis muito baixos de desenvolvimento térmico, o que pode indicar a cessão do crescimento celular no interior da matéria orgânica.

A decorrente ausência da recuperação térmica, diferente do observado no E1, sugere que a maior proporção de bagaço de cana-de-açúcar no meio, que resultou em uma porosidade de leito superior, pode ter contribuído para a maior remoção de umidade do material e causado o ressecamento das camadas populadas pelos microrganismos, apresentando adversidade para atividade metabólica no leito e, por conseguinte, impactando o aumento da temperatura. Além disso, dados preliminares demonstram que o leito composto exclusivamente por biomassa de cana-de-açúcar não apresenta comportamento térmico adequado para biossecagem. Desse modo, a menor quantidade de resíduos sólidos de laranja adicionados ao leito (uma redução de 50% da massa empregada para o E2) simboliza

também a presença de uma menor quantidade de nutrientes para manutenção dos microrganismos presentes no meio, carregando efeitos negativos para o desenvolvimento celular, a geração de calor metabólico e, consequentemente, para a obtenção de temperatura superiores às apresentadas.

Figura 4.14. Comportamento térmico do sistema ao longo do tempo de biossecagem – Experimento 2.



Fonte: Autoria própria (2025).

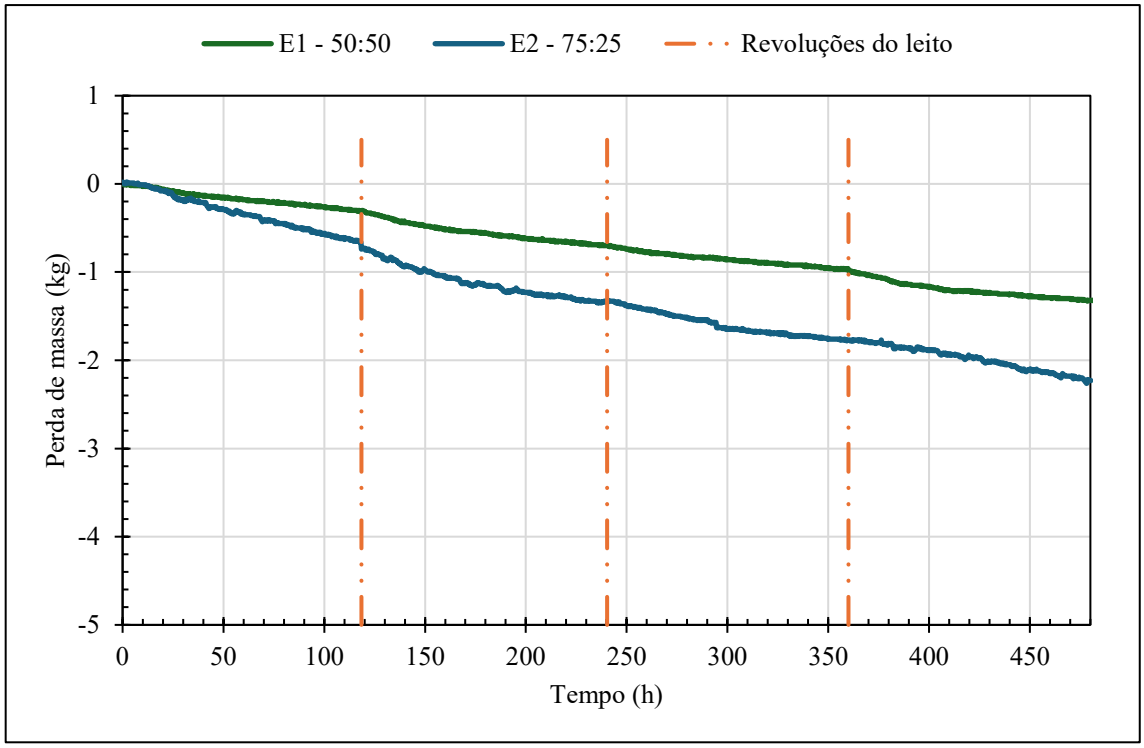
Com a análise da Figura 4.14, é possível identificar que, quando comparada ao perfil de todas as curvas de temperatura do meio, as porções internas do leito (principalmente as Temperaturas 2 e 3) apresentaram um maior desenvolvimento do perfil térmico, alcançando pico de temperatura superiores e tendo um prolongamento da sua fase termofílica, dentro da proposta experimental adotada na execução do trabalho aqui apresentado. Ainda, é observável uma redução significativa na temperatura do sistema próximo ao início do segundo ciclo de revolução do leito e, mesmo após a homogeneização, o meio não apresentou recuperação da geração de calor metabólico e elevação da temperatura, indicando a possível depleção da atividade microbiológica. Em convergência com a hipótese, verifica-se que, após decorridas 360h do ensaio, a elevação e redução da temperatura no material

acompanha as alterações da temperatura ambiente, pois, como apresentado na Figura 4.13, a Temperatura 5 e a temperatura ambiente são virtualmente as mesmas.

Ademais, nas primeiras 240h de experimentação, demonstrou-se a presença de uma grande diferença entre as temperaturas da seção interna do leito e as temperaturas registradas no topo do leito no equipamento. Entretanto, com o decorrer do experimento, a tendência observada pelas curvas de temperatura resultou na redução das temperaturas mais altas e, por consequência, numa aproximação das temperaturas registradas em todas as porções do leito, apresentando um gradiente de temperatura menor que 10°C entre as temperaturas extremas registradas para o período.

Para fins de comparação entre os resultados obtidos no E1 e no E2, construiu-se a Figura 4.15, onde é possível verificar a perda de massa com a remoção de água para ambos os experimentos ao longo da mesma totalidade de tempo. Vale ressaltar que em ambos os experimentos foi empregada uma vazão constante de ar de 1,0m³/h.

Figura 4.15. Comparação da perda de massa em função do tempo de biossecagem para os experimentos realizados.



Fonte: Autoria própria (2025).

Ao analisar a curva de remoção de água de ambos os experimentos 1 e 2, foi identificado que o E2 apresentou uma perda de 2,2 kg de água do meio, representando uma

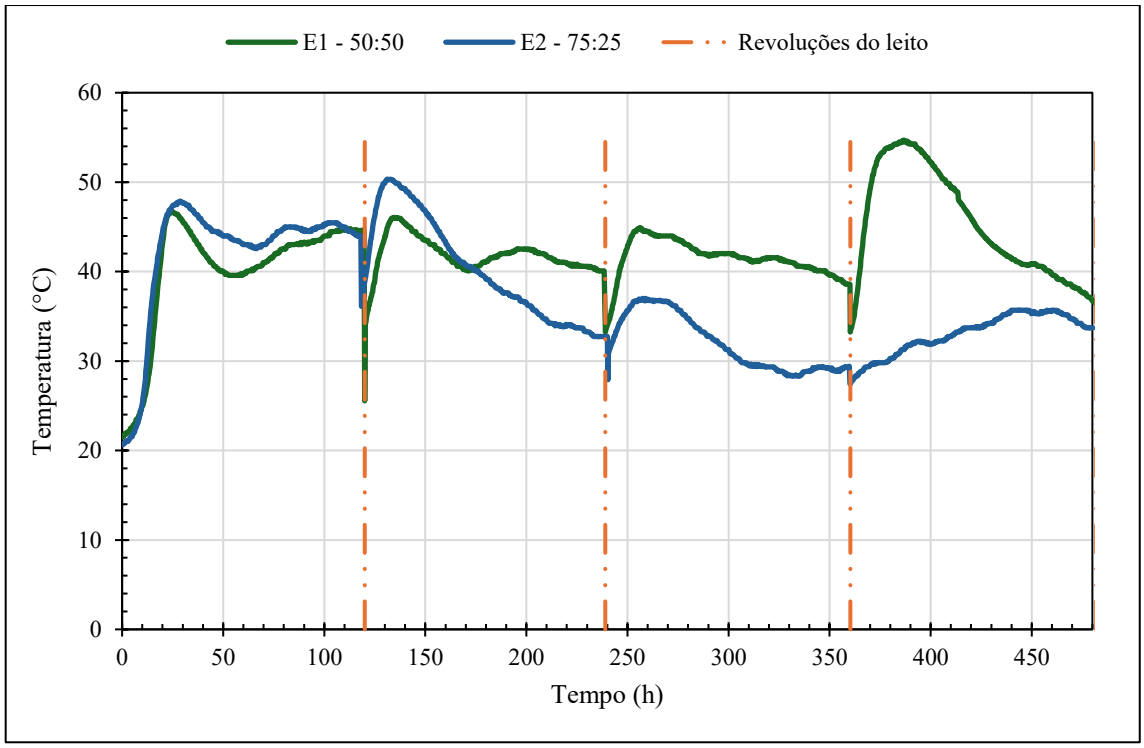
redução de água do material cerca de 69% superior à redução registrada pela curva do E1, cuja massa retirada do meio foi de 1,3 kg de água. A superior redução da umidade no E2, quando comparada ao E1, tem possivelmente origem no favorecimento da percolação da corrente de ar através da conjunção de biomassas, promovida pelo aumento da porosidade causada pela maior presença de bagaço de cana-de-açúcar, uma vez que a presença de uma maior quantidade, um tamanho superior e uma melhor distribuição dos poros ao longo do leito facilita a oxigenação homogênea do leito, contribuindo para a geração do calor metabólico pelos microrganismos, e a transferência de massa no interior do leito.

Outro fenômeno que pode ser observado é o fato que ambos os experimentos apresentaram melhorias no processo de biossecagem após as etapas de homogeneização do leito, indicando que a aeração adicional influenciou positivamente a remoção de água do material. No entanto, o E1 apresentou uma melhoria sutilmente superior à demonstrada pelo E2, sinalizando que o nível de oxigenação na configuração de leito disposta no primeiro experimento foi inferior.

Ainda assim, ambas as configurações nesse trabalho apresentadas não apresentaram uma redução de massa suficientemente significativa para definição de um processo de biossecagem efetivo, baseando-se na umidade inicial do material, resultando em um alto teor de umidade mesmo ao fim das 480h de processamento.

Por fim, coletando os dados da maior temperatura registrada para cada um dos experimentos ao longo do tempo de ensaio de biossecagem, é possível construir o gráfico disposto na Figura 4.16, para fins de comparação.

Figura 4.16. Curvas da maior temperatura registrada em função do tempo de biossecagem para os experimentos realizados.



FONTE: Autoria própria (2025).

Após análise das curvas de maior temperatura de ambos os experimentos realizados, observa-se que, durante as primeiras 180h de biossecagem, o E2, onde o leito foi composto por 25% em massa de biomassa de laranja apresentou temperaturas em geral mais elevadas que o E1. Contudo, após decorridas 180h de experimento, o leito composto por apenas 50% de resíduos de laranja apontou a manutenção de temperaturas acima de 40°C, provida possivelmente pela maior quantidade de microrganismos presentes no leito, assim como já indicado.

Outro ponto de destaque é o alcance de seu pico de temperatura máxima. Para o primeiro experimento, o pico de temperatura de 54,7°C foi registrado cerca de 380h após início do ensaio, em seguida do terceiro ciclo de revolução de leito. Já, para o segundo experimento, o valor máximo de temperatura de 50,3°C foi alcançado antes que as primeiras 150h de experimento fossem completas, após o primeiro ciclo de revoluções.

Uma diferença marcante entre os experimentos apresentados neste trabalho é a manutenção da fase termofílica do processo de biossecagem. Para o E1, elevadas temperaturas (acima de 40°C) foram observadas ao longo de todo o período de biossecagem,

principalmente após os ciclos de revolução, onde a oxigenação do leito possivelmente impulsionou o metabolismo microbiológico para maior geração de calor e, portanto, na elevação da temperatura, ao passo que, para o E2, a fase ficou restrita às primeiras horas de experimentação, possível resulta da presença de uma menor população de microrganismos, pela exaustão dos nutrientes no meio, e a maior porosidade do leito, permitindo a maior percolação do ar e maior redução da umidade, criando um ambiente impróprio para o desenvolvimento celular.

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Por meio das análises dos dados coletados, como apresentados anteriormente nos gráficos de temperatura das seções ao longo da biossecagem, é possível observar o claro efeito da oxigenação na elevação da temperatura do leito. Após os ciclos de revolução do meio, as porções do leito, em especial as seções internas, apresentaram maior desenvolvimento térmico, indicando que a oxigenação contribuiu para a criação de condições propícias para o crescimento microbiológico, favorecendo a geração de calor metabólico, o que resulta no aumento das temperaturas registradas. Ainda, as seções internas do leito de material orgânico apresentaram as temperaturas mais elevadas do sistema, decorrentes da baixa eficiência de remoção de água do meio, uma vez que o ar se encontra saturado nessas regiões e não permite o carregamento de um maior nível de umidade. Dessa forma, a maior umidade concentrada nas regiões 2, 3 e 4 do equipamento promovem o melhor desenvolvimento celular e a geração de calor metabólico.

No que se refere ao coprocessamento de bagaço de cana e bagaço de laranja, observa-se que a maior carga de resíduos industriais de laranja no meio, permitiu o desenvolvimento de microrganismos no meio e acarretou picos superiores de temperatura (54,7°C), devido à maior carga microbiológica presente no material para a geração de calor e manutenção da fase termofílica. Todavia, proporções superiores de biomassa de cana-de-açúcar foram favoráveis para o aumento da porosidade do leito, ocasionando na efetivamente percolação do ar pelo material e maior eficiência na remoção de umidade (2,3 kg de água) do meio e de perda de massa. Dessa forma, é possível concluir que o coprocessamento de biomassas é um método efetivo na alteração de determinadas parâmetros para favorecimento das condições da biossecagem como a manutenção da atividade microbiológica, observada no Experimento 1, e a porosidade do meio para percolação do ar, como apresentado no Experimento 2.

No entanto, a redução de umidade obtida não foi significativa para comprovar que o sistema apresentou boa eficiência de remoção de água do meio, indicando que as configurações adotadas (geometria do sistema, proporções utilizadas, vazão de ar de 1 m^3/s adotada, etc) não foram suficientes para a efetiva redução da umidade. Assim, demais parâmetros podem ser investigados para a continuação da exploração dos efeitos analisados.

O estudo dos efeitos sinérgicos de outras proporções de biomassas pode ser valioso para a complementação do perfil térmico deste material. Além disso, ensaios empregando uma maior corrente de ar no meio, maiores frequência de revolução de leito ou uma constante

revolução do meio podem ser essenciais para consolidar o comportamento térmico da biossecagem desta matéria-prima frete à oxigenação.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, L.; MÁRQUEZ-MONTESINOS, F.; GONZALO, A.; SÁNCHEZ, J. L.; ARAUZO, J. Influence of temperature and particle size on the fixed bed pyrolysis of orange peel residues. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 83, n. 1, 2008.

ALMEIDA, M. da C. R. de. **Efeito da taxa de aeração, da proporção mássica e da umidade da matriz inicial no processo de biossecagem de lodo anaeróbio**. Orientador: Cali Laguna Achon. 2020. 166 f. Dissertação([E.GR_TG4] YADAV (2015), [s.d.]) (Mestrado em Engenharia Urbana) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana - PPGEU, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, São Paulo, 2020.

ALMEIDA, L. de C.; HOFSETZ, K. **Potencial do bagaço de cana na matriz energética brasileira nos últimos 20 anos e os impactos recentes do coronavírus**. Xxx Congresso de Iniciação Científica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2022.

ASTOLPHI, L. P.; OLIVEIRA, J. da S.; ACHON, C. L. Teor de umidade inicial e sua influência no processo de biossecagem de lodo. **Revista Científica ANAP Brasil**, [s. l.], v. 14, n. 34, p. 134-142, 2021.

ALVAREZ, J.; HOOSHDARAN, B.; CORTAZAR, M.; AMUTIO, M.; LOPEZ, G.; FREIRE, F. B.; HAGHSHENASFARD, M.; HOSSEINI, S.; OLAZAR, M. Valorization of citrus wastes by fast pyrolysis in a conical spouted bed reactor. **Fuel**, v. 224, 2018.

AYALA, J. R.; MONTERO, G.; CORONADO, M. A.; GARCIA, C.; CURIEL-ALVAREZ, M. A.; LEÓN, J. A.; SAGASTE, C. A.; MONTES, D. G. Characterization of orange peel waste and valorization to obtain reducing sugars. **Molecules**, v. 26, n. 5, 2021.

BARBOSA, A. M.; ROCHA, T. A. F.; SALDARRIAGA, J. F.; ESTIATI, I.; FREIRE, F. B.; FREIRE, J. T. Alternative drying of orange bagasse in vibrofluidized bed for use in combustion. **Chemical Engineering and Processing - Process Intensification**, v. 152, 2020.

BHATNAGAR, R. K.; GUPTA, G.; BHATNAGAR, R. A Review on Composition and Properties of Bagasse Fibers. **International Journal of Scientific & Engineering Research**, v. 6, n. 5, 2015.

BHATTACHARJEE, N.; BISWAS, A. B. Pyrolysis of orange bagasse: Comparative study and parametric influence on the product yield and their characterization. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 7, n. 1, 2019.

CAI, L.; CHEN, T.-B.; GAO, D.; YU, J. Bacterial communities and their association with the bio-drying of sewage sludge. **Water Research**, v. 90, 2016.

CHRISTY, E. J. S.; SUGANYA, K.; KIRUBA, J. J. G.; MADHUMITHA, S. P.; SUJA, S. K.; KALAIVANI, G. J. Extraction of Pectin from Fruit wastes– an effective method of municipal solid waste management. **International Journal of Advanced Research**, V. 2 (2), 2023.

COLOMER-MENDOZA, F. J.; HERRERA-PRATS, L.; ROBLES-MATÍNEZ, F.; GALLARDO-IZQUIERDO, A.; PIÑA-GUZMÁN, A. B. Effect of airflow on biodrying of gardening wastes in reactors. **Journal of Environmental Sciences (China)**, v. 25, n. 5, 2013.

CONTRERAS-CISNEROS, R. M.; OROZCO-ÁLVAREZ, C.; PIÑA-GUZMÁN, A. B.; BALLESTEROS-VÁSQUEZ, L. C.; MOLINA-ESCOBAR, L.; ALCÁNTARA-GARCÍA, S. S.; ROBLES-MATÍNEZ, F. The relationship of moisture and temperature to the concentration of O2 and CO2 during biodrying in semi-static piles. **Processes**, v. 9, n. 3, 2021.

CYPRIANO, D. Z.; DA SILVA, L. L.; TASIC, L. High value-added products from the orange juice industry waste. **Waste Management**, v. 79, 2018.

DE LA TORRE, I.; RAVELO, M.; SEGARRA, S.; TORTAJADA, M.; SANTOS, V. E.; LADERO, M. Study on the effects of several operational variables on the enzymatic batch saccharification of orange solid waste. **Bioresource Technology**, v. 245, 2017.

DEVADIGA, D. G.; BHAT, K. S.; MAHESHA, G. T. Sugarcane bagasse fiber reinforced composites: Recent advances and applications. **Cogent Engineering**, v. 7, n. 1, 2020.

FERNANDES, L. C. de A. T. Geração de energia elétrica na entressafra de usinas de açúcar e álcool. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, [s. l.], ano 5, Ed. 2, v. 03, p. 127-137, 2020.

FREI, K. M.; CAMERON, D.; STUART, P. R. Novel drying process using forced aeration through a porous biomass matrix. **Drying Technology**, v. 22, n. 5, 2004.

GALBIATI, J. K.; GALLO, C. A.; LAVANHOLI, M. da G. D. P. Produção de energia elétrica a partir da queima do bagaço de cana-de-açúcar. **Nucleus**, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 127-138, 2010.

GUILHERME, A. A.; DANTAS, P. V. F.; SANTOS, E. S.; FERNANDES, F. A. N.; MACEDO, G. R. Evaluation of composition, characterization and enzymatic hydrolysis of pretreated sugar cane bagasse. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 32, n. 1, 2015.

HE, P.; ZHAO, L.; ZHENG, W.; WU, D.; SHAO, L. Energy Balance of a Biodrying Process for Organic Wastes of High Moisture Content: A Review. **Drying Technology**, 2013.

HUGO, T. J. **Pyrolysis of sugarcane bagasse**. Orientador J.H. Knoetze; J.F. Görgens. 2010. 217 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – University of Stellenbosch, Stellenbisch, África do Sul, 2010.

HUILIÑIR, C.; VILLEGAS, M. Simultaneous effect of initial moisture content and airflow rate on biodrying of sewage sludge. **Water Research**, v. 82, 2015.

MA, J.; ZHANG, L.; LI, A. Energy-efficient co-biodrying of dewatered sludge and food waste: Synergistic enhancement and variables investigation. **Waste Management**, v. 56, 2016.

MA, J.; ZHANG, L.; MU, L.; ZHU, K.; LI, A. Multivariate insights of bulking agents influence on co-biodrying of sewage sludge and food waste: Process performance, organics degradation and microbial community. **Science of the Total Environment**, v. 681, 2019.

MAIA, G. D.; HORTA, A. C. L.; FELIZARDO, M. P. From the conventional to the intermittent biodrying of orange solid waste biomass. **Chemical Engineering and Processing - Process Intensification**, v. 188, 2023.

MANTOVAN, J.; GIRALDO, G. A. G.; MARIM, B. M.; GARCIA, P. S.; BARON, A. M.; MALI, S. Cellulose-based materials from orange bagasse employing environmentally friendly approaches. **Biomass Conversion and Biorefinery**, v. 13, n. 3, 2023.

MUSTAFA, G.; ARSHAD, M.; BANO, I.; ABBAS, M. **Biotechnological applications of sugarcane bagasse and sugar beet molasses**. **Biomass Conversion and Biorefinery**, 2023.

NASSAR, M. M.; ASHOUR, E. A.; WAHID, S. S. Thermal characteristics of bagasse. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 61, n. 6, 1996.

OLIVEIRA, T. K. A. **Agricultura familiar: produção de rapadura e destino final do bagaço da cana-de-açúcar**. Orientador: Janaina Adna Barbosa Sena. 2016. 35 f. Monografia (Tecnólogo em Agropecuária) - Curso Superior de Tecnologia em Agropecuária, Universidade Estadual de Goiás, Posse, Goiás, 2016.

OROZCO-ÁLVAREZ, C.; GERVANCIA-HERNÁNDEZ, A.; MORENO-RIVERA, M. de L.; PIÑA-GUZMÁN, B.; ROBLES-MARTÍNE, F. Microbiological and Physicochemical Characterization During Biodrying of Organic Solid Waste. **Processes** 2025, 13, 78.

PAOLIELLO, J. M. M. **Aspectos ambientais e potencial energético no aproveitamento de resíduos da indústria sucroalcooleira**. Orientador: Celso Luiz da Silva. 2006. 119 p.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Bauru, São Paulo, 2006.

PÉREZ, N. P.; PEDROSO, D. T.; MACHIN, E. B.; ANTUNES, J. S..; TUNA, C. E.; SILVEIRA, J. L. Geometrical characteristics of sugarcane bagasse for being used as fuel in fluidized bed technologies. **Renewable Energy**, v. 143, 2019.

REIS, R. F. dos. **Sistema de remoção de água de lodo gerado em estação de tratamento de esgoto com duas fases: desaguamento inicial em leito de drenagem seguido de biossecagem**. Orientador: João Sergio Cordeiro. 2020. 255 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, São Paulo, 2017.

SANJUÁN, R. ANZALDO, J.; VARGAS, J.; TURRADO,R.; PATT, R. Morphological and chemical composition of pith and fibers from Mexican sugarcane bagasse. **Holz als Roh - und Werkstoff**, v. 59, n. 6, 2001.

SANTOS, E. G. dos. Estudo da adsorção de contaminantes orgânicos provei ententes da água de produção do petróleo, em coluna de leito fixo, utilizando biomassas como adsorvente. Orientador: Odelsia L. Sánchez de Alsina; Flávio Luiz Honorato da Silva. 2005. 277 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba, 2005.

SANTOS, L. V. dos; GRASSI, M. C. de B.; GALLARDO, J. C. M.; PIROLLA, R. A. S.; CALDERÓN, L. L.; CARVALHO-NETTO, O. V. de; PARREIRAS, L. S.; CAMARGO, E. L. O.; DREZZA, A. L.; MISSAWA, S. K.; TEIXEIRA, G. S.; LUNARDI, I.; BRESSIANI, J.; PEREIRA, G. A. G. **Second-Generation Ethanol: The Need is Becoming a Reality**. **Industrial Biotechnology**, 2016.

SANTOS, G. H. F.; NASCIMENTO, R. S. do; ALVES, G. M. Biomassa como energia renovável no Brasil. **Revista UNINGÁ**, Maringá, Paraná, v. 29, n. 2, p. 06-13, 2017.

SILVA, V. L. M. M.; GOMES, W. C.; ALSINA, O. L. S. Utilização do bagaço de cana de açúcar como biomassa adsorvente na adsorção de poluentes orgânicos. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, [s. l.], v. 2, p. 27-32, 2007.

SILVA, V. S.; GARCIA, C. de A.; SILVA, C. M. da. O destino do bagaço da cana-de-açúcar: um estudo a partir das agroindústrias sucroalcooleiras do 16 Paraná. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 59-76, 2010.

SINGH, R. V.; SHARMA, P.; SAMBYAL, K. **Application of Sugarcane Bagasse in Chemicals and Food Packaging Industry: Potential and Challenges**. **Circular Economy and Sustainability**, 2022.

STANMORE, B. R. Generation of energy from sugarcane bagasse by thermal treatment. Waste and Biomass Valorization, v. 1, n. 1, 2010.

TAHIR, Z; KHAN, M. I.; ASHRAF, U.; RDN, A. I.; MUBARIK, U. **Industrial Application of Orange Peel Waste; A Review**. **International Journal of Agriculture and Biosciences**, 2023.

TEIXEIRA, S. R.; ARENALES, A.; SOUZA, A. E. de; MAGALHÃES, R. da S.; PEÑA, A. F. V.; AQUINO, D.; FREIRE, R. Sugarcane bagasse: Applications for energy production and ceramic materials. **Journal of Solid Waste Technology and Management**, v. 41, n. 3, 2015.

TOM, A. P.; PAWELS, R.; HARIDAS, A. Biodrying process: A sustainable technology for treatment of municipal solid waste with high moisture content. **Waste Management**, v. 49, 2016.

TORRES, G B.; DOGNANI, G.; AGOSTINI, D.. L. da S.; SANTOS, R. J. dos; CABRERA, F. C.; AGUILAR, C. M. G.; PAIVA, F. F. G. de; TEIXEIRA, S. R.; JOB, A. E. Potential Eco-friendly Application of Sugarcane Bagasse Ash in the Rubber Industry. **Waste and Biomass Valorization**, v. 12, n. 8, 2021.

VELIS, C. A.; LONGHURST, P. J.; DREW, G. H.; SMITH, R.; POLLARD, S. J. T. Biodrying for mechanical-biological treatment of wastes: a review of process science and engineering. In: PANDEY, A. **Biosecure Technology**. Cranfield, United Kingdom: Elsevier, 2009. v. 100, p. 2747-2761.

VILLEGAS, M.; HUILIÑIR, C. Biodrying of sewage sludge: Kinetics of volatile solids degradation under different initial moisture contents and air-flow rates. **Bioresource Technology**, v. 174, 2014.

WINKLER, M.-K. H.; BENNENBROEK, M. H.; HORSTINK, F. H.; van LOOSDRECHT, M. C. M.; van de POL, G.-J. **The biodrying concept: an innovative technology creating energy from sewage sludge.** In: PANDEY, A. **Biosecure Technology**. Cranfield, United Kingdom: Elsevier, 2013. v. 147, p. 124-129.

XIONG, W. (2018). Bagasse composites: A review of material preparation, attributes, and affecting factors. **Journal of Thermoplastic Composite Materials**, 31(8), 1112– 1146.

YANG, B.; ZHANG, L.; JAHNG, D. Importance of Initial Moisture Content and Bulking Agent for Biodrying Sewage Sludge. **Drying Technology**, v. 32, n. 2, 2014.

YUAN, J.; ZHANG, D.; LI, Y.; LI, J.; LUO, W.; ZHANG, H.; WANG, G.; LI, G. Effects of the aeration pattern, aeration rate, and turning frequency on municipal solid waste biodrying performance. **Journal of Environmental Management**, v. 218, 2018.

ZAWADZKA, A.; KRZYSTEK, L.; STOLAREK, P.; LEDAKOWICZ, S. Biodrying of organic fraction of municipal solid wastes. **Drying Technology**, v. 28, n. 10, 2010.

ZHANG, D.; XU, Z.; WANG, G.; HUDA, N.; LI, G.; LUO, W. Insights into characteristics of organic matter during co-biodrying of sewage sludge and kitchen waste under different aeration intensities. **Environmental Technology and Innovation**, v. 20, 2020.

ZHAO, L., GU, W.-M.; HE, P.-J.; SHAO, L.-M. Effect of air-flow rate and turning frequency on bio-drying of dewatered sludge. **Water Research**, v. 44, n. 20, 2010.

7. APÊNDICES

7.1. APÊNDICE A

Tabela 7.1. Dados coletados na realização do Experimento 1 – 50:50

Tempo (h)	Temperatura 1 (°C)	Temperatura 2 (°C)	Temperatura 3 (°C)	Temperatura 4 (°C)	Temperatura 5 (°C)	Temperatura 6 (°C)	Perda de massa 1 (kg)	Perda de massa 2 (kg)	Perda de massa 3 (kg)	Perda de massa total (kg)
0,280	21,554	21,990	21,510	21,020	23,950	25,300	0,000	0,000	0,000	0,000
1,111	21,772	22,346	21,597	21,465	24,084	25,700	0,000	0,000	0,000	0,000
2,220	21,990	22,480	22,079	21,554	24,440	26,000	0,000	0,000	-0,010	-0,010
3,326	22,168	22,970	22,435	21,990	24,707	26,200	0,000	0,000	-0,010	-0,010
4,437	22,480	23,015	22,703	22,435	24,930	26,200	0,000	0,000	-0,010	-0,010
5,546	22,836	23,415	23,015	22,881	25,286	26,100	0,000	0,000	-0,010	-0,010
6,655	23,148	23,683	23,460	23,371	25,420	25,900	0,000	0,000	-0,020	-0,020
7,763	23,594	23,950	23,950	23,950	25,856	25,800	0,000	0,000	-0,020	-0,020
8,869	24,351	24,529	24,440	24,618	26,390	25,600	0,000	0,000	-0,020	-0,020
9,981	24,930	25,242	24,975	25,551	26,925	25,400	0,000	0,000	-0,030	-0,030
11,089	25,900	25,945	25,638	26,880	27,860	25,200	0,000	0,000	-0,020	-0,020
12,198	27,014	26,880	26,390	28,929	29,018	25,000	0,000	0,000	-0,020	-0,020
13,307	28,484	27,860	26,925	31,458	30,478	24,800	0,000	0,000	-0,030	-0,030
14,413	30,567	29,107	27,370	34,700	32,260	24,600	0,000	0,000	-0,040	-0,040
15,524	33,195	30,255	27,459	38,120	34,165	24,400	0,000	0,000	-0,040	-0,040
16,633	35,725	30,879	27,593	41,629	36,170	24,300	0,000	0,000	-0,040	-0,040
17,739	38,432	31,369	27,771	45,014	37,630	24,300	0,000	0,000	-0,050	-0,050
18,851	40,704	31,859	27,637	47,232	39,100	24,500	0,000	0,000	-0,060	-0,060
19,959	43,010	32,349	27,504	48,078	39,768	24,800	0,000	0,000	-0,070	-0,070
21,068	44,970	32,750	27,593	48,390	40,080	25,300	0,000	0,000	-0,070	-0,070
22,177	45,985	33,720	27,637	47,900	39,902	25,900	0,000	0,000	-0,080	-0,080
23,283	46,430	34,878	27,815	47,410	39,946	26,500	0,000	0,000	-0,080	-0,080

Continuação da Tabela 7.1. Dados coletados na realização do Experimento 1 – 50:50

Tempo (h)	Temperatura 1 (°C)	Temperatura 2 (°C)	Temperatura 3 (°C)	Temperatura 4 (°C)	Temperatura 5 (°C)	Temperatura 6 (°C)	Perda de massa 1 (kg)	Perda de massa 2 (kg)	Perda de massa 3 (kg)	Perda de massa total (kg)
24,394	46,608	36,437	27,860	46,920	39,590	27,100	0,000	0,000	-0,090	-0,090
25,503	46,564	38,120	28,261	46,430	39,100	27,500	0,000	0,000	-0,080	-0,080
26,612	46,430	39,635	28,528	45,673	38,655	27,800	0,000	0,000	-0,090	-0,090
27,720	46,341	41,191	29,196	45,014	38,120	28,000	0,000	0,000	-0,090	-0,090
28,826	45,940	42,475	29,635	44,480	37,630	28,000	0,000	0,000	-0,100	-0,100
29,938	45,673	43,455	30,300	43,990	37,281	28,000	0,000	0,000	-0,100	-0,100
31,047	45,363	43,990	30,790	43,411	37,016	27,800	0,000	0,000	-0,110	-0,110
32,153	44,970	44,435	31,369	42,965	35,992	27,700	0,000	0,000	-0,110	-0,110
33,264	44,480	44,525	32,171	42,475	35,457	27,500	0,000	0,000	-0,110	-0,110
34,373	44,079	44,658	32,750	42,030	34,967	27,300	0,000	0,000	-0,120	-0,120
35,482	43,812	44,970	33,240	41,540	34,655	27,100	0,000	0,000	-0,120	-0,120
36,591	43,500	44,703	33,720	41,060	34,210	26,900	0,000	0,000	-0,120	-0,120
37,697	43,010	44,480	34,210	40,659	33,676	26,700	0,000	0,000	-0,120	-0,120
38,808	42,520	44,480	34,566	40,392	33,284	26,500	0,000	0,000	-0,130	-0,130
39,917	42,164	44,346	34,700	40,125	33,240	26,300	0,000	0,000	-0,140	-0,140
41,026	41,985	44,035	35,145	39,946	32,795	26,100	0,000	0,000	-0,130	-0,130
42,135	41,540	43,990	35,235	39,590	32,750	26,100	0,000	0,000	-0,140	-0,140
43,241	41,191	43,589	35,235	39,590	32,394	26,000	0,000	0,000	-0,140	-0,140
44,352	41,060	43,500	35,413	39,323	32,260	26,100	0,000	0,000	-0,140	-0,140
45,461	40,615	43,099	35,591	39,189	32,260	26,100	0,000	0,000	-0,140	-0,140
46,567	40,481	43,010	35,680	39,145	32,260	26,200	0,000	0,000	-0,150	-0,150
47,679	40,258	42,921	35,680	39,145	32,260	26,100	0,000	0,000	-0,150	-0,150
48,788	40,125	42,565	35,680	39,234	32,616	26,000	0,000	0,000	-0,160	-0,160
49,897	40,035	42,431	35,680	39,234	32,260	26,000	0,000	0,000	-0,150	-0,150
51,005	39,679	42,119	35,635	39,367	32,260	25,900	0,000	0,000	-0,160	-0,160
52,112	39,724	42,030	35,546	39,590	32,438	25,700	0,000	0,000	-0,150	-0,150
53,223	39,590	41,674	35,368	39,635	32,260	25,600	0,000	0,000	-0,160	-0,160
54,332	39,590	41,540	35,190	39,590	32,260	25,400	0,000	0,000	-0,170	-0,170
55,441	39,590	41,322	35,145	39,679	32,260	25,200	0,000	0,000	-0,170	-0,170
56,550	39,590	41,104	34,834	39,813	32,171	25,100	0,000	0,000	-0,170	-0,170

Continuação da Tabela 7.1. Dados coletados na realização do Experimento 1 – 50:50

Tempo (h)	Temperatura 1 (°C)	Temperatura 2 (°C)	Temperatura 3 (°C)	Temperatura 4 (°C)	Temperatura 5 (°C)	Temperatura 6 (°C)	Perda de massa 1 (kg)	Perda de massa 2 (kg)	Perda de massa 3 (kg)	Perda de massa total (kg)
57,656	39,590	41,015	34,700	40,080	31,904	24,900	0,000	0,000	-0,170	-0,170
58,767	39,768	40,793	34,433	40,080	31,770	24,700	0,000	0,000	-0,170	-0,170
59,876	39,635	40,570	34,255	40,125	31,414	24,600	0,000	0,000	-0,180	-0,180
60,982	39,902	40,570	34,076	40,080	31,280	24,400	0,000	0,000	-0,180	-0,180
62,094	40,035	40,525	33,720	40,214	31,280	24,300	0,000	0,000	-0,190	-0,190
63,203	40,080	40,214	33,502	40,347	31,057	24,200	0,000	0,000	-0,190	-0,190
64,312	40,303	40,169	33,240	40,570	30,790	24,100	0,000	0,000	-0,190	-0,190
65,420	40,214	40,214	32,928	40,525	30,879	24,100	0,000	0,000	-0,190	-0,190
66,527	40,525	40,080	32,795	40,615	30,790	24,200	0,000	0,000	-0,200	-0,200
67,638	40,570	40,125	32,572	40,615	31,102	24,600	0,000	0,000	-0,200	-0,200
68,747	40,615	40,080	32,349	40,971	31,280	24,700	0,000	0,000	-0,200	-0,200
69,856	40,882	40,169	32,260	41,060	30,790	25,100	0,000	0,000	-0,190	-0,190
70,965	41,060	40,125	32,215	41,365	30,835	25,400	0,000	0,000	-0,200	-0,200
72,071	41,235	40,347	31,948	41,540	31,013	25,800	0,000	0,000	-0,210	-0,210
73,183	41,496	40,525	31,815	41,807	31,280	26,100	0,000	0,000	-0,210	-0,210
74,292	41,629	40,570	31,815	42,119	31,547	26,300	0,000	0,000	-0,210	-0,210
75,398	41,941	40,570	31,859	42,520	31,725	26,400	0,000	0,000	-0,210	-0,210
76,509	42,075	40,570	31,904	42,965	32,260	26,400	0,000	0,000	-0,210	-0,210
77,618	42,119	40,659	31,948	43,411	32,305	26,300	0,000	0,000	-0,210	-0,210
78,727	42,520	40,704	31,904	43,723	32,705	26,100	0,000	0,000	-0,220	-0,220
79,836	42,520	40,704	32,037	44,035	32,839	26,100	0,000	0,000	-0,220	-0,220
80,942	42,520	40,659	32,082	44,525	33,240	25,900	0,000	0,000	-0,220	-0,220
82,054	42,965	40,615	32,082	44,970	32,973	25,800	0,000	0,000	-0,220	-0,220
83,163	42,965	40,659	32,037	45,406	33,240	25,700	0,000	0,000	-0,220	-0,220
84,272	43,010	40,570	31,904	45,495	33,720	25,500	0,000	0,000	-0,220	-0,220
85,381	43,010	40,570	31,859	45,940	33,720	25,400	0,000	0,000	-0,230	-0,230
86,487	43,055	40,570	31,859	45,985	33,720	25,200	0,000	0,000	-0,230	-0,230
87,599	43,144	40,570	31,815	46,207	33,545	25,100	0,000	0,000	-0,230	-0,230
88,707	43,010	40,303	31,770	46,430	33,676	25,000	0,000	0,000	-0,240	-0,240
89,814	43,144	40,392	31,770	46,430	33,240	25,000	0,000	0,000	-0,240	-0,240

Continuação da Tabela 7.1. Dados coletados na realização do Experimento 1 – 50:50

Tempo (h)	Temperatura 1 (°C)	Temperatura 2 (°C)	Temperatura 3 (°C)	Temperatura 4 (°C)	Temperatura 5 (°C)	Temperatura 6 (°C)	Perda de massa 1 (kg)	Perda de massa 2 (kg)	Perda de massa 3 (kg)	Perda de massa total (kg)
90,925	43,099	40,258	31,770	46,430	33,062	25,200	0,000	0,000	-0,240	-0,240
92,034	43,099	40,303	31,636	46,519	31,280	25,500	0,000	0,000	-0,250	-0,250
93,143	43,277	40,347	31,725	46,742	31,325	25,900	0,000	0,000	-0,240	-0,240
94,252	43,455	40,258	31,547	46,875	31,770	26,400	0,000	0,000	-0,250	-0,250
95,359	43,455	40,436	31,592	46,920	31,770	26,900	0,000	0,000	-0,250	-0,250
96,470	43,500	40,347	31,636	47,232	32,349	27,400	0,000	0,000	-0,250	-0,250
97,579	43,500	40,525	31,770	47,410	32,705	27,900	0,000	0,000	-0,260	-0,260
98,688	43,678	40,570	31,815	47,499	32,839	28,100	0,000	0,000	-0,260	-0,260
99,797	43,945	40,570	31,815	47,900	32,973	28,300	0,000	0,000	-0,260	-0,260
100,904	43,990	40,748	32,126	47,945	33,195	28,300	0,000	0,000	-0,260	-0,260
102,015	44,124	40,748	32,260	48,345	33,765	28,100	0,000	0,000	-0,270	-0,270
103,124	44,391	40,704	32,260	48,390	33,720	28,000	0,000	0,000	-0,270	-0,270
104,231	44,480	40,882	32,260	48,657	33,720	27,800	0,000	0,000	-0,270	-0,270
105,342	44,480	40,793	32,527	48,880	33,720	27,600	0,000	0,000	-0,280	-0,280
106,451	44,614	40,882	32,661	48,880	33,720	27,400	0,000	0,000	-0,270	-0,270
107,560	44,658	40,748	32,750	49,055	33,327	27,200	0,000	0,000	-0,280	-0,280
108,670	44,614	40,704	32,750	49,229	33,676	26,900	0,000	0,000	-0,290	-0,290
109,776	44,792	40,748	32,661	49,316	33,809	26,700	0,000	0,000	-0,290	-0,290
110,888	44,747	40,615	32,661	49,360	33,809	26,600	0,000	0,000	-0,290	-0,290
111,997	44,703	40,615	32,616	49,360	33,240	26,400	0,000	0,000	-0,300	-0,300
113,106	44,703	40,570	32,527	49,316	32,884	26,400	0,000	0,000	-0,290	-0,290
114,215	44,525	40,570	32,438	49,185	32,705	26,400	0,000	0,000	-0,300	-0,300
115,321	44,703	40,570	32,438	49,011	31,636	26,600	0,000	0,000	-0,300	-0,300
116,433	44,614	40,570	32,349	48,880	31,280	26,900	0,000	0,000	-0,310	-0,310
117,542	44,480	40,570	32,349	48,880	31,725	27,200	0,000	0,000	-0,310	-0,310
118,648	44,569	40,570	32,438	48,880	31,993	27,600	0,000	0,000	-0,310	-0,310
119,760	44,569	40,615	32,394	48,880	33,017	27,800	0,000	0,000	-0,310	-0,310
120,869	34,789	37,675	37,150	35,235	34,255	27,500	0,000	-1,000	0,670	-0,330
121,979	36,170	38,610	37,194	35,858	32,750	27,800	0,000	-1,000	0,670	-0,330
123,088	37,105	39,145	37,281	36,615	32,260	27,700	0,000	-1,000	0,670	-0,330

Continuação da Tabela 7.1. Dados coletados na realização do Experimento 1 – 50:50

Tempo (h)	Temperatura 1 (°C)	Temperatura 2 (°C)	Temperatura 3 (°C)	Temperatura 4 (°C)	Temperatura 5 (°C)	Temperatura 6 (°C)	Perda de massa 1 (kg)	Perda de massa 2 (kg)	Perda de massa 3 (kg)	Perda de massa total (kg)
124,194	38,165	39,590	37,150	37,412	31,859	27,500	0,000	-1,000	0,660	-0,340
125,306	39,590	39,724	36,615	38,610	32,215	27,300	0,000	-1,000	0,650	-0,350
126,415	41,060	39,724	36,036	40,615	32,884	27,000	0,000	-1,000	0,650	-0,350
127,524	42,030	39,679	35,502	43,010	34,655	26,800	0,000	-1,000	0,640	-0,360
128,633	42,832	39,590	35,145	45,014	36,794	26,600	0,000	-1,000	0,630	-0,370
129,739	43,589	39,590	34,700	46,786	39,011	26,400	0,000	-1,000	0,630	-0,370
130,851	44,480	39,545	34,210	47,722	40,080	26,200	0,000	-1,000	0,620	-0,380
131,960	45,450	39,590	33,854	47,811	40,570	26,000	0,000	-1,000	0,610	-0,390
133,067	45,895	39,635	33,720	47,544	40,615	25,800	0,000	-1,000	0,610	-0,390
134,179	46,074	40,080	33,371	47,187	40,570	25,700	0,000	-1,000	0,590	-0,410
135,288	45,985	40,392	33,240	46,786	40,481	25,500	0,000	-1,000	0,590	-0,410
136,397	45,940	40,748	32,884	46,385	39,590	25,400	0,000	-1,000	0,580	-0,420
137,506	45,940	41,147	32,750	45,940	38,165	25,300	0,000	-1,000	0,570	-0,430
138,612	45,717	41,540	32,750	45,406	37,150	25,500	0,000	-1,000	0,570	-0,430
139,724	45,450	41,852	32,750	44,970	36,749	25,700	0,000	-1,000	0,580	-0,420
140,833	45,232	42,030	32,750	44,480	36,304	26,100	0,000	-1,000	0,560	-0,440
141,943	44,970	42,431	32,750	44,124	36,170	26,500	0,000	-1,000	0,560	-0,440
143,052	44,792	42,565	32,795	43,678	36,170	27,000	0,000	-1,000	0,550	-0,450
144,158	44,525	42,876	33,240	43,500	35,992	27,400	0,000	-1,000	0,550	-0,450
145,270	44,435	43,010	33,240	43,099	35,947	27,600	0,000	-1,000	0,540	-0,460
146,379	43,990	43,055	33,720	43,010	35,725	27,900	0,000	-1,000	0,540	-0,460
147,486	43,901	43,233	33,809	43,010	35,680	28,000	0,000	-1,000	0,540	-0,460
148,598	43,589	43,455	34,165	42,921	35,546	28,000	0,000	-1,000	0,540	-0,460
149,707	43,545	43,455	34,255	42,698	35,368	27,900	0,000	-1,000	0,520	-0,480
150,816	43,411	43,411	34,477	42,565	35,190	27,800	0,000	-1,000	0,520	-0,480
151,925	43,144	43,455	34,700	42,520	34,745	27,700	0,000	-1,000	0,520	-0,480
153,032	43,010	43,322	34,745	42,342	34,745	27,500	0,000	-1,000	0,510	-0,490
154,144	42,965	43,188	35,190	42,075	34,655	27,300	0,000	-1,000	0,510	-0,490
155,253	42,609	43,010	35,190	42,030	34,388	27,100	0,000	-1,000	0,500	-0,500
156,362	42,475	43,010	35,235	41,629	33,943	27,000	0,000	-1,000	0,500	-0,500

Continuação da Tabela 7.1. Dados coletados na realização do Experimento 1 – 50:50

Tempo (h)	Temperatura 1 (°C)	Temperatura 2 (°C)	Temperatura 3 (°C)	Temperatura 4 (°C)	Temperatura 5 (°C)	Temperatura 6 (°C)	Perda de massa 1 (kg)	Perda de massa 2 (kg)	Perda de massa 3 (kg)	Perda de massa total (kg)
157,472	42,431	43,010	35,279	41,540	33,371	26,800	0,000	-1,000	0,500	-0,500
158,578	42,030	42,609	35,279	41,322	33,106	26,700	0,000	-1,000	0,490	-0,510
159,690	42,030	42,520	35,591	41,060	32,750	26,500	0,000	-1,000	0,490	-0,510
160,799	41,585	42,475	35,502	40,659	32,394	26,400	0,000	-1,000	0,480	-0,520
161,906	41,540	42,208	35,502	40,392	31,859	26,400	0,000	-1,000	0,480	-0,520
163,018	41,104	42,030	35,680	40,125	31,859	26,400	0,000	-1,000	0,470	-0,530
164,127	41,104	42,030	35,635	39,946	31,948	26,600	0,000	-1,000	0,470	-0,530
165,236	40,837	41,763	35,680	39,590	31,815	26,900	0,000	-1,000	0,470	-0,530
166,346	40,570	41,540	35,680	39,590	31,993	27,300	0,000	-1,000	0,460	-0,540
167,452	40,570	41,540	35,680	39,234	32,215	27,900	0,000	-1,000	0,470	-0,530
168,564	40,392	41,540	35,725	39,100	32,260	28,300	0,000	-1,000	0,460	-0,540
169,673	40,214	41,365	36,081	39,100	32,305	28,700	0,000	-1,000	0,460	-0,540
170,783	40,169	41,453	36,170	39,145	32,394	28,900	0,000	-1,000	0,460	-0,540
171,892	40,125	41,540	36,170	39,100	32,483	29,000	0,000	-1,000	0,460	-0,540
172,998	40,258	41,496	36,304	39,189	32,750	28,900	0,000	-1,000	0,450	-0,550
174,110	40,392	41,540	36,259	39,323	32,705	28,800	0,000	-1,000	0,460	-0,540
175,220	40,570	41,540	36,215	39,590	32,483	28,700	0,000	-1,000	0,450	-0,550
176,326	40,615	41,585	36,170	39,590	32,750	28,600	0,000	-1,000	0,450	-0,550
177,438	40,793	41,540	36,215	39,724	32,260	28,400	0,000	-1,000	0,450	-0,550
178,548	41,015	41,540	36,170	40,080	32,305	28,200	0,000	-1,000	0,440	-0,560
179,657	41,104	41,540	36,170	40,080	32,260	28,000	0,000	-1,000	0,450	-0,550
180,766	41,278	41,540	36,081	40,125	32,260	27,800	0,000	-1,000	0,440	-0,560
181,873	41,365	41,540	35,725	40,392	31,904	27,700	0,000	-1,000	0,430	-0,570
182,985	41,540	41,496	35,680	40,570	31,725	27,500	0,000	-1,000	0,430	-0,570
184,094	41,540	41,453	35,680	40,615	31,280	27,300	0,000	-1,000	0,420	-0,580
185,204	41,763	41,409	35,457	40,570	30,924	27,200	0,000	-1,000	0,420	-0,580
186,313	41,852	41,235	35,190	40,659	31,013	27,300	0,000	-1,000	0,420	-0,580
187,419	42,030	41,104	35,190	40,926	31,681	27,500	0,000	-1,000	0,410	-0,590
188,532	42,030	41,060	35,101	41,060	31,636	27,800	0,000	-1,000	0,410	-0,590
189,641	42,075	41,235	34,878	41,060	31,948	28,200	0,000	-1,000	0,410	-0,590

Continuação da Tabela 7.1. Dados coletados na realização do Experimento 1 – 50:50

Tempo (h)	Temperatura 1 (°C)	Temperatura 2 (°C)	Temperatura 3 (°C)	Temperatura 4 (°C)	Temperatura 5 (°C)	Temperatura 6 (°C)	Perda de massa 1 (kg)	Perda de massa 2 (kg)	Perda de massa 3 (kg)	Perda de massa total (kg)
190,747	42,030	41,147	34,700	41,191	32,260	28,300	0,000	-1,000	0,410	-0,590
191,859	42,119	41,322	34,878	41,453	32,661	28,500	0,000	-1,000	0,400	-0,600
192,969	42,253	41,409	34,789	41,540	32,483	28,500	0,000	-1,000	0,410	-0,590
194,078	42,297	41,540	34,878	41,852	32,394	28,200	0,000	-1,000	0,400	-0,600
195,188	42,520	41,496	34,745	41,985	32,616	28,000	0,000	-1,000	0,400	-0,600
196,294	42,520	41,453	34,745	42,030	32,616	27,800	0,000	-1,000	0,390	-0,610
197,406	42,520	41,453	34,745	42,030	32,260	27,600	0,000	-1,000	0,390	-0,610
198,516	42,520	41,453	34,700	42,119	32,260	27,300	0,000	-1,000	0,390	-0,610
199,625	42,520	41,453	34,700	42,297	31,993	27,100	0,000	-1,000	0,380	-0,620
200,735	42,431	41,278	34,700	42,342	31,280	26,900	0,000	-1,000	0,380	-0,620
201,841	42,475	41,191	34,433	42,253	30,790	26,600	0,000	-1,000	0,380	-0,620
202,953	42,431	41,060	34,210	42,075	30,478	26,400	0,000	-1,000	0,370	-0,630
204,063	42,119	41,060	34,210	42,075	30,300	26,200	0,000	-1,000	0,370	-0,630
205,169	42,164	41,060	34,165	42,030	30,300	26,000	0,000	-1,000	0,370	-0,630
206,282	42,119	41,015	34,076	42,030	29,899	25,800	0,000	-1,000	0,360	-0,640
207,391	42,030	41,015	33,854	41,941	29,635	25,600	0,000	-1,000	0,370	-0,630
208,501	42,030	40,659	33,765	41,674	29,417	25,500	0,000	-1,000	0,360	-0,640
209,610	41,896	40,659	33,676	41,629	29,241	25,300	0,000	-1,000	0,360	-0,640
210,717	41,585	40,570	33,327	41,540	29,330	25,400	0,000	-1,000	0,360	-0,640
211,829	41,540	40,615	33,284	41,453	29,330	25,500	0,000	-1,000	0,360	-0,640
212,939	41,453	40,570	33,240	41,235	29,810	25,600	0,000	-1,000	0,350	-0,650
214,048	41,322	40,570	33,240	41,104	30,300	25,800	0,000	-1,000	0,360	-0,640
215,158	41,147	40,570	33,240	41,060	29,988	26,100	0,000	-1,000	0,350	-0,650
216,264	41,060	40,570	33,240	41,060	30,300	26,300	0,000	-1,000	0,350	-0,650
217,377	41,060	40,570	33,240	41,060	30,345	26,500	0,000	-1,000	0,350	-0,650
218,486	41,060	40,570	33,240	41,060	30,300	26,700	0,000	-1,000	0,340	-0,660
219,593	41,015	40,659	33,240	41,104	30,345	26,800	0,000	-1,000	0,350	-0,650
220,705	40,882	40,659	33,284	41,060	30,745	26,800	0,000	-1,000	0,340	-0,660
221,815	40,793	40,837	33,284	41,060	30,300	26,600	0,000	-1,000	0,340	-0,660
222,925	40,615	40,837	33,458	41,060	29,899	26,400	0,000	-1,000	0,340	-0,660

Continuação da Tabela 7.1. Dados coletados na realização do Experimento 1 – 50:50

Tempo (h)	Temperatura 1 (°C)	Temperatura 2 (°C)	Temperatura 3 (°C)	Temperatura 4 (°C)	Temperatura 5 (°C)	Temperatura 6 (°C)	Perda de massa 1 (kg)	Perda de massa 2 (kg)	Perda de massa 3 (kg)	Perda de massa total (kg)
224,034	40,659	41,015	33,502	41,060	29,810	26,100	0,000	-1,000	0,330	-0,670
225,141	40,837	40,793	33,415	41,060	29,855	26,000	0,000	-1,000	0,330	-0,670
226,253	40,659	40,971	33,458	41,060	29,330	25,800	0,000	-1,000	0,330	-0,670
227,363	40,570	40,837	33,458	40,882	28,885	25,600	0,000	-1,000	0,330	-0,670
228,473	40,570	41,015	33,327	40,659	28,439	25,300	0,000	-1,000	0,330	-0,670
229,582	40,570	40,837	33,240	40,570	28,305	25,100	0,000	-1,000	0,330	-0,670
230,689	40,570	40,570	33,240	40,481	27,860	24,800	0,000	-1,000	0,320	-0,680
231,801	40,525	40,615	33,240	40,347	27,905	24,600	0,000	-1,000	0,320	-0,680
232,911	40,392	40,615	32,973	40,169	27,771	24,500	0,000	-1,000	0,310	-0,690
234,018	40,303	40,570	32,795	40,080	27,815	24,400	0,000	-1,000	0,310	-0,690
235,130	40,125	40,570	32,750	40,080	28,395	24,400	0,000	-1,000	0,310	-0,690
236,240	40,080	40,570	32,705	39,857	27,860	24,500	0,000	-1,000	0,300	-0,700
237,349	40,080	40,570	32,661	39,679	27,860	24,400	0,000	-1,000	0,300	-0,700
238,459	40,080	40,525	32,305	39,635	27,860	24,600	0,000	-1,000	0,300	-0,700
239,566	33,676	35,190	34,255	32,884	28,395	24,700	0,500	-1,000	-0,200	-0,700
240,678	34,388	35,947	34,344	33,676	26,969	24,600	0,500	-1,000	-0,200	-0,700
241,788	35,190	36,660	34,700	34,210	26,479	24,800	0,500	-1,000	-0,200	-0,700
242,897	36,348	37,194	34,255	35,101	26,390	24,700	0,500	-1,000	-0,210	-0,710
244,007	37,630	37,764	33,943	36,215	26,568	24,600	0,500	-1,000	-0,210	-0,710
245,114	39,100	37,853	33,371	38,165	26,835	24,500	0,500	-1,000	-0,220	-0,720
246,226	40,125	37,630	32,750	40,347	27,236	24,300	0,500	-1,000	-0,220	-0,720
247,336	41,060	37,586	32,349	42,520	27,771	24,100	0,500	-1,000	-0,230	-0,730
248,443	41,807	37,194	32,037	44,480	28,573	23,800	0,500	-1,000	-0,230	-0,730
249,555	42,475	37,150	31,725	45,895	29,374	23,600	0,500	-1,000	-0,240	-0,740
250,665	43,099	37,150	31,280	46,430	29,417	23,400	0,500	-1,000	-0,240	-0,740
251,774	43,901	37,061	30,968	46,519	29,374	23,200	0,500	-1,000	-0,250	-0,750
252,884	44,302	37,016	30,745	46,475	28,929	23,100	0,500	-1,000	-0,250	-0,750
253,991	44,480	37,150	30,345	46,029	28,083	22,800	0,500	-1,000	-0,250	-0,750
255,103	44,792	37,325	30,211	45,584	27,415	22,600	0,500	-1,000	-0,260	-0,760
256,213	44,925	37,630	29,899	45,145	26,880	22,400	0,500	-1,000	-0,260	-0,760

Continuação da Tabela 7.1. Dados coletados na realização do Experimento 1 – 50:50

Tempo (h)	Temperatura 1 (°C)	Temperatura 2 (°C)	Temperatura 3 (°C)	Temperatura 4 (°C)	Temperatura 5 (°C)	Temperatura 6 (°C)	Perda de massa 1 (kg)	Perda de massa 2 (kg)	Perda de massa 3 (kg)	Perda de massa total (kg)
257,323	44,614	37,808	29,766	44,836	26,390	22,300	0,500	-1,000	-0,260	-0,760
258,432	44,569	38,031	29,417	44,480	26,791	22,400	0,500	-1,000	-0,270	-0,770
259,539	44,480	38,165	29,330	43,990	26,702	22,700	0,500	-1,000	-0,270	-0,770
260,652	44,480	38,521	29,330	43,990	26,880	23,200	0,500	-1,000	-0,270	-0,770
261,762	44,213	38,610	29,330	43,678	26,969	23,700	0,500	-1,000	-0,270	-0,770
262,868	44,168	38,922	29,330	43,500	27,637	24,300	0,500	-1,000	-0,290	-0,790
263,981	43,990	39,100	29,330	43,455	27,860	24,900	0,500	-1,000	-0,280	-0,780
265,091	43,945	39,323	29,417	43,144	28,439	25,400	0,500	-1,000	-0,280	-0,780
266,200	43,990	39,635	29,810	43,010	28,840	25,900	0,500	-1,000	-0,290	-0,790
267,310	43,990	40,080	29,810	43,010	28,706	26,000	0,500	-1,000	-0,290	-0,790
268,417	43,990	40,169	30,255	43,010	28,528	26,000	0,500	-1,000	-0,290	-0,790
269,530	43,990	40,525	30,345	42,743	28,350	25,900	0,500	-1,000	-0,300	-0,800
270,639	43,990	40,570	30,790	42,565	27,905	25,700	0,500	-1,000	-0,300	-0,800
271,749	43,990	40,793	30,835	42,520	27,771	25,400	0,500	-1,000	-0,300	-0,800
272,859	43,767	41,060	31,057	42,297	27,593	25,200	0,500	-1,000	-0,300	-0,800
273,966	43,723	41,104	31,280	42,030	27,548	25,000	0,500	-1,000	-0,300	-0,800
275,078	43,545	41,060	31,280	41,941	27,370	24,800	0,500	-1,000	-0,310	-0,810
276,188	43,411	41,147	31,280	41,540	26,791	24,600	0,500	-1,000	-0,310	-0,810
277,295	43,455	41,147	31,325	41,322	26,034	24,400	0,500	-1,000	-0,320	-0,820
278,408	43,055	41,235	31,458	41,060	25,682	24,200	0,500	-1,000	-0,320	-0,820
279,518	43,010	41,147	31,503	40,704	25,375	24,000	0,500	-1,000	-0,320	-0,820
280,627	42,876	41,104	31,503	40,570	25,286	23,900	0,500	-1,000	-0,330	-0,830
281,737	42,654	41,104	31,636	40,080	25,420	23,900	0,500	-1,000	-0,330	-0,830
282,844	42,520	41,147	31,636	40,080	25,945	24,100	0,500	-1,000	-0,330	-0,830
283,957	42,431	41,278	31,636	39,590	26,345	24,500	0,500	-1,000	-0,330	-0,830
285,067	42,030	41,322	31,770	39,545	27,058	25,000	0,500	-1,000	-0,330	-0,830
286,177	42,030	41,409	31,770	39,323	27,548	25,600	0,500	-1,000	-0,330	-0,830
287,286	42,030	41,540	31,859	39,145	28,127	26,300	0,500	-1,000	-0,330	-0,830
288,393	42,030	41,585	32,215	39,100	28,484	26,900	0,500	-1,000	-0,330	-0,830
289,506	41,941	41,718	32,260	39,100	29,241	27,400	0,500	-1,000	-0,340	-0,840

Continuação da Tabela 7.1. Dados coletados na realização do Experimento 1 – 50:50

Tempo (h)	Temperatura 1 (°C)	Temperatura 2 (°C)	Temperatura 3 (°C)	Temperatura 4 (°C)	Temperatura 5 (°C)	Temperatura 6 (°C)	Perda de massa 1 (kg)	Perda de massa 2 (kg)	Perda de massa 3 (kg)	Perda de massa total (kg)
290,616	41,763	42,030	32,705	39,100	29,330	27,800	0,500	-1,000	-0,340	-0,840
291,723	41,763	42,030	32,884	39,100	29,592	27,900	0,500	-1,000	-0,340	-0,840
292,836	41,852	42,475	33,284	39,145	29,330	27,900	0,500	-1,000	-0,330	-0,830
293,946	41,985	42,520	33,371	39,145	29,330	27,800	0,500	-1,000	-0,350	-0,850
295,055	42,030	42,743	33,720	39,234	28,929	27,500	0,500	-1,000	-0,340	-0,840
296,165	42,030	42,876	33,765	39,278	28,395	27,300	0,500	-1,000	-0,340	-0,840
297,272	42,030	42,965	34,076	39,323	28,350	27,000	0,500	-1,000	-0,350	-0,850
298,385	42,030	43,010	34,210	39,234	27,905	26,800	0,500	-1,000	-0,350	-0,850
299,495	42,030	43,010	34,210	39,100	27,548	26,400	0,500	-1,000	-0,360	-0,860
300,605	42,030	43,010	34,255	39,100	27,370	26,300	0,500	-1,000	-0,360	-0,860
301,715	41,985	42,965	34,210	38,922	27,147	26,100	0,500	-1,000	-0,360	-0,860
302,822	41,941	42,743	34,210	38,833	26,880	25,900	0,500	-1,000	-0,360	-0,860
303,935	41,807	42,698	34,210	38,610	26,524	25,700	0,500	-1,000	-0,370	-0,870
305,044	41,629	42,743	34,255	38,610	26,390	25,700	0,500	-1,000	-0,370	-0,870
306,152	41,540	42,520	34,210	38,165	26,880	25,800	0,500	-1,000	-0,370	-0,870
307,264	41,540	42,520	34,210	38,120	27,370	26,100	0,500	-1,000	-0,370	-0,870
308,374	41,496	42,565	34,210	38,120	27,860	26,600	0,500	-1,000	-0,380	-0,880
309,484	41,409	42,609	34,210	38,031	28,662	27,100	0,500	-1,000	-0,370	-0,870
310,594	41,365	42,609	34,210	37,897	28,929	27,500	0,500	-1,000	-0,380	-0,880
311,701	41,104	42,787	34,611	37,986	29,330	28,000	0,500	-1,000	-0,380	-0,880
312,814	41,104	43,010	34,700	38,031	29,810	28,300	0,500	-1,000	-0,380	-0,880
313,924	41,278	43,010	34,923	38,075	29,810	28,500	0,500	-1,000	-0,380	-0,880
315,034	41,147	43,010	35,190	38,120	29,417	28,300	0,500	-1,000	-0,390	-0,890
316,144	41,365	43,144	35,368	38,120	29,330	28,100	0,500	-1,000	-0,390	-0,890
317,251	41,453	43,277	35,546	38,209	28,929	28,000	0,500	-1,000	-0,390	-0,890
318,363	41,540	43,366	35,680	38,120	28,795	27,700	0,500	-1,000	-0,400	-0,900
319,473	41,540	43,455	35,680	38,120	28,350	27,400	0,500	-1,000	-0,390	-0,890
320,581	41,496	43,322	35,680	38,120	28,305	27,200	0,500	-1,000	-0,400	-0,900
321,693	41,540	43,322	35,725	38,165	27,905	26,900	0,500	-1,000	-0,400	-0,900
322,803	41,540	43,144	35,680	38,075	27,459	26,700	0,500	-1,000	-0,400	-0,900

Continuação da Tabela 7.1. Dados coletados na realização do Experimento 1 – 50:50

Tempo (h)	Temperatura 1 (°C)	Temperatura 2 (°C)	Temperatura 3 (°C)	Temperatura 4 (°C)	Temperatura 5 (°C)	Temperatura 6 (°C)	Perda de massa 1 (kg)	Perda de massa 2 (kg)	Perda de massa 3 (kg)	Perda de massa total (kg)
323,913	41,540	43,010	35,680	38,075	27,370	26,400	0,500	-1,000	-0,410	-0,910
325,023	41,409	43,010	35,591	37,719	26,925	26,200	0,500	-1,000	-0,400	-0,900
326,130	41,365	43,010	35,279	37,630	26,702	26,000	0,500	-1,000	-0,410	-0,910
327,243	41,322	43,010	35,235	37,630	26,435	25,800	0,500	-1,000	-0,410	-0,910
328,353	41,147	42,876	35,190	37,368	26,078	25,600	0,500	-1,000	-0,410	-0,910
329,463	41,104	42,565	35,190	37,150	25,989	25,500	0,500	-1,000	-0,410	-0,910
330,573	41,060	42,654	34,923	37,150	26,390	25,600	0,500	-1,000	-0,420	-0,920
331,680	40,971	42,520	34,834	37,061	26,390	25,600	0,500	-1,000	-0,420	-0,920
332,793	40,926	42,520	34,745	36,749	26,524	25,800	0,500	-1,000	-0,420	-0,920
333,903	40,615	42,342	34,789	36,660	26,835	25,900	0,500	-1,000	-0,420	-0,920
335,010	40,615	42,297	34,700	36,660	26,880	26,100	0,500	-1,000	-0,420	-0,920
336,123	40,570	42,075	34,789	36,615	27,192	26,300	0,500	-1,000	-0,420	-0,920
337,233	40,525	42,164	34,923	36,526	27,014	26,300	0,500	-1,000	-0,420	-0,920
338,343	40,525	42,075	34,878	36,482	27,014	26,200	0,500	-1,000	-0,440	-0,940
339,453	40,570	42,164	34,923	36,348	26,925	26,100	0,500	-1,000	-0,430	-0,930
340,560	40,525	42,030	34,923	36,304	26,479	25,900	0,500	-1,000	-0,430	-0,930
341,673	40,347	42,030	34,789	36,304	26,390	25,600	0,500	-1,000	-0,440	-0,940
342,783	40,303	42,030	34,745	36,170	25,900	25,400	0,500	-1,000	-0,440	-0,940
343,893	40,125	42,030	34,789	36,170	25,682	25,200	0,500	-1,000	-0,440	-0,940
345,003	40,169	41,941	34,700	36,036	25,464	24,900	0,500	-1,000	-0,440	-0,940
346,110	40,080	41,763	34,700	35,814	25,019	24,600	0,500	-1,000	-0,450	-0,950
347,223	40,035	41,585	34,655	35,680	24,796	24,400	0,500	-1,000	-0,450	-0,950
348,333	39,946	41,540	34,255	35,546	24,440	24,100	0,500	-1,000	-0,460	-0,960
349,440	39,768	41,453	34,210	35,235	23,950	23,700	0,500	-1,000	-0,450	-0,950
350,553	39,635	41,278	34,210	35,190	23,638	23,500	0,500	-1,000	-0,460	-0,960
351,663	39,590	41,060	33,943	34,789	23,460	23,200	0,500	-1,000	-0,460	-0,960
352,773	39,323	41,060	33,765	34,700	23,415	23,100	0,500	-1,000	-0,460	-0,960
353,883	39,145	40,926	33,720	34,477	23,415	23,100	0,500	-1,000	-0,470	-0,970
354,991	39,100	40,570	33,415	34,210	23,549	23,200	0,500	-1,000	-0,470	-0,970
356,103	39,055	40,570	33,327	34,165	23,950	23,600	0,500	-1,000	-0,460	-0,960

Continuação da Tabela 7.1. Dados coletados na realização do Experimento 1 – 50:50

Tempo (h)	Temperatura 1 (°C)	Temperatura 2 (°C)	Temperatura 3 (°C)	Temperatura 4 (°C)	Temperatura 5 (°C)	Temperatura 6 (°C)	Perda de massa 1 (kg)	Perda de massa 2 (kg)	Perda de massa 3 (kg)	Perda de massa total (kg)
357,214	38,744	40,570	33,284	34,121	24,440	23,800	0,500	-1,000	-0,460	-0,960
358,324	38,610	40,525	33,371	33,854	24,930	24,300	0,500	-1,000	-0,460	-0,960
359,434	38,610	40,525	33,589	33,765	25,638	24,700	0,500	-1,000	-0,470	-0,970
360,543	33,589	34,700	33,589	32,438	30,790	25,600	0,020	-1,000	-0,010	-0,990
361,651	34,611	35,814	32,305	33,502	30,835	25,600	0,020	-1,000	-0,010	-0,990
362,759	36,125	37,150	31,770	34,700	31,280	25,600	0,020	-1,000	-0,020	-1,000
363,867	37,942	38,610	31,325	36,615	31,770	25,400	0,020	-1,000	-0,030	-1,010
364,975	40,080	40,303	31,770	38,610	32,750	25,200	0,020	-1,000	-0,040	-1,020
366,083	42,520	42,030	32,572	41,060	33,720	25,000	0,020	-1,000	-0,040	-1,020
367,191	44,658	43,500	33,240	43,500	34,700	24,700	0,020	-1,000	-0,040	-1,020
368,299	46,564	44,614	33,720	45,628	35,145	24,500	0,020	-1,000	-0,040	-1,020
369,407	48,390	45,450	33,854	47,455	35,680	24,300	0,020	-1,000	-0,060	-1,040
370,515	49,850	45,940	33,943	49,316	35,992	24,100	0,020	-1,000	-0,060	-1,040
371,623	50,830	46,430	34,210	50,696	36,259	23,800	0,020	-1,000	-0,060	-1,040
372,731	51,810	46,920	34,745	51,676	35,680	23,700	0,020	-1,000	-0,070	-1,050
373,839	52,656	47,811	35,591	52,211	35,101	23,400	0,020	-1,000	-0,070	-1,050
374,947	52,921	48,390	36,437	52,300	34,299	23,300	0,020	-1,000	-0,080	-1,060
376,055	53,315	49,098	37,194	52,300	33,809	23,200	0,020	-1,000	-0,080	-1,060
377,163	53,626	49,850	38,075	52,166	33,284	23,300	0,020	-1,000	-0,090	-1,070
378,271	53,760	50,340	38,966	51,765	33,458	23,600	0,020	-1,000	-0,090	-1,070
379,379	53,805	50,830	39,323	51,676	33,720	24,000	0,020	-1,000	-0,100	-1,080
380,487	53,894	51,320	40,080	51,320	33,720	24,400	0,020	-1,000	-0,120	-1,100
381,595	54,161	51,587	40,570	51,097	34,210	25,100	0,020	-1,000	-0,130	-1,110
382,703	54,250	51,810	41,060	50,875	34,611	25,800	0,020	-1,000	-0,130	-1,110
383,811	54,339	52,211	41,322	50,830	35,056	26,200	0,020	-1,000	-0,140	-1,120
384,919	54,384	52,523	42,030	50,385	34,789	26,500	0,020	-1,000	-0,150	-1,130
386,027	54,606	52,790	42,475	50,340	34,700	26,700	0,020	-1,000	-0,160	-1,140
387,135	54,606	53,183	43,010	49,850	34,255	26,700	0,020	-1,000	-0,150	-1,130
388,243	54,384	53,359	43,455	49,449	33,898	26,600	0,020	-1,000	-0,150	-1,130
389,351	54,339	53,760	43,990	49,142	33,327	26,500	0,020	-1,000	-0,160	-1,140

Continuação da Tabela 7.1. Dados coletados na realização do Experimento 1 – 50:50

Tempo (h)	Temperatura 1 (°C)	Temperatura 2 (°C)	Temperatura 3 (°C)	Temperatura 4 (°C)	Temperatura 5 (°C)	Temperatura 6 (°C)	Perda de massa 1 (kg)	Perda de massa 2 (kg)	Perda de massa 3 (kg)	Perda de massa total (kg)
390,459	54,250	53,760	44,079	48,746	33,195	26,300	0,020	-1,000	-0,160	-1,140
391,567	54,250	53,849	44,480	48,301	32,750	26,100	0,020	-1,000	-0,170	-1,150
392,675	53,983	54,027	44,480	47,855	32,438	25,900	0,020	-1,000	-0,170	-1,150
393,783	53,760	54,072	44,703	47,410	32,215	25,800	0,020	-1,000	-0,170	-1,150
394,891	53,626	53,894	44,925	46,875	31,636	25,500	0,020	-1,000	-0,170	-1,150
395,999	53,270	53,849	44,925	46,430	31,280	25,400	0,020	-1,000	-0,170	-1,150
397,107	52,965	53,760	44,747	45,940	30,879	25,200	0,020	-1,000	-0,180	-1,160
398,215	52,790	53,760	44,525	45,495	30,790	25,100	0,020	-1,000	-0,180	-1,160
399,323	52,345	53,404	44,480	45,145	30,523	25,000	0,020	-1,000	-0,190	-1,170
400,431	52,077	53,270	44,079	44,925	30,389	24,900	0,020	-1,000	-0,190	-1,170
401,539	51,810	52,877	44,035	44,480	30,478	25,000	0,020	-1,000	-0,190	-1,170
402,647	51,409	52,745	43,678	44,124	30,745	25,300	0,020	-1,000	-0,200	-1,180
403,755	51,142	52,300	43,500	43,856	30,790	25,700	0,020	-1,000	-0,200	-1,180
404,863	50,830	51,944	43,099	43,500	31,280	26,300	0,020	-1,000	-0,210	-1,190
405,971	50,385	51,676	43,010	43,277	31,770	26,900	0,020	-1,000	-0,210	-1,190
407,079	50,295	51,320	42,965	43,010	32,305	27,500	0,020	-1,000	-0,220	-1,200
408,187	49,850	50,964	42,609	43,010	32,750	28,100	0,020	-1,000	-0,230	-1,210
409,295	49,850	50,830	42,520	43,010	33,240	28,400	0,020	-1,000	-0,220	-1,200
410,403	49,449	50,474	42,520	42,965	33,415	28,600	0,020	-1,000	-0,230	-1,210
411,511	49,360	50,295	42,297	42,787	33,589	28,600	0,020	-1,000	-0,230	-1,210
412,619	49,011	49,895	42,075	42,921	33,327	28,600	0,020	-1,000	-0,230	-1,210
413,727	48,010	49,697	41,924	42,389	32,164	27,140	-0,220	-1,000	0,000	-1,220
414,835	47,662	49,111	41,988	41,926	29,744	23,000	-0,220	-1,000	0,010	-1,210
415,943	47,345	48,736	41,743	41,819	28,702	21,740	-0,220	-1,000	0,010	-1,210
417,051	46,946	48,144	41,560	41,463	28,065	21,380	-0,220	-1,000	0,000	-1,220
418,159	46,652	47,739	41,375	41,071	28,006	21,380	-0,220	-1,000	0,010	-1,210
419,267	46,305	47,271	40,815	40,644	28,065	21,740	-0,220	-1,000	0,010	-1,210
420,375	45,770	46,717	40,564	40,295	28,065	22,100	-0,220	-1,000	0,000	-1,220
421,483	45,476	46,311	40,066	39,903	28,065	22,460	-0,220	-1,000	0,000	-1,220
422,591	44,999	45,812	39,380	39,511	28,355	22,820	-0,220	-1,000	0,000	-1,220

Continuação da Tabela 7.1. Dados coletados na realização do Experimento 1 – 50:50

Tempo (h)	Temperatura 1 (°C)	Temperatura 2 (°C)	Temperatura 3 (°C)	Temperatura 4 (°C)	Temperatura 5 (°C)	Temperatura 6 (°C)	Perda de massa 1 (kg)	Perda de massa 2 (kg)	Perda de massa 3 (kg)	Perda de massa total (kg)
423,699	44,654	45,407	39,317	39,440	28,586	23,180	-0,220	-1,000	0,000	-1,220
424,807	44,333	45,126	38,757	39,083	28,702	23,540	-0,220	-1,000	-0,010	-1,230
425,915	44,039	44,845	38,694	38,941	28,876	24,080	-0,220	-1,000	-0,010	-1,230
427,023	43,745	44,596	38,008	38,727	29,280	24,620	-0,220	-1,000	-0,020	-1,240
428,131	43,505	44,255	38,008	38,727	29,339	24,980	-0,220	-1,000	-0,010	-1,230
429,239	43,318	43,980	37,447	38,406	29,513	25,520	-0,220	-1,000	-0,020	-1,240
430,347	43,103	43,668	37,322	38,335	29,744	25,880	-0,220	-1,000	-0,020	-1,240
431,455	42,836	43,480	36,885	38,193	29,976	26,060	-0,220	-1,000	-0,020	-1,240
432,563	42,601	43,294	36,636	37,943	29,976	25,880	-0,220	-1,000	-0,020	-1,240
433,671	42,495	42,951	36,391	37,943	29,339	25,340	-0,220	-1,000	-0,020	-1,240
434,779	42,254	42,951	35,964	37,729	28,760	24,800	-0,220	-1,000	-0,030	-1,250
435,887	42,121	42,608	35,901	37,551	28,470	24,440	-0,220	-1,000	-0,030	-1,250
436,995	41,960	42,545	35,403	37,237	28,065	24,080	-0,220	-1,000	-0,030	-1,250
438,103	41,693	42,265	35,278	37,096	27,602	23,720	-0,220	-1,000	-0,030	-1,250
439,211	41,666	42,202	35,215	36,775	27,369	23,180	-0,220	-1,000	-0,030	-1,250
440,319	41,426	41,922	35,278	36,633	26,906	23,000	-0,220	-1,000	-0,030	-1,250
441,427	41,319	41,890	35,090	36,347	26,791	22,820	-0,220	-1,000	-0,030	-1,250
442,535	41,105	41,735	34,717	36,062	26,732	23,000	-0,220	-1,000	-0,040	-1,260
443,643	41,051	41,579	34,655	35,955	26,732	23,180	-0,220	-1,000	-0,040	-1,260
444,751	40,865	41,579	34,655	35,849	27,138	23,540	-0,220	-1,000	-0,040	-1,260
445,859	40,811	41,518	34,592	35,670	27,428	23,900	-0,220	-1,000	-0,040	-1,260
446,967	40,757	41,456	34,592	35,599	27,659	24,260	-0,220	-1,000	-0,050	-1,270
448,075	40,704	41,365	34,655	35,635	27,949	24,800	-0,220	-1,000	-0,050	-1,270
449,183	40,837	41,496	34,655	35,591	27,682	24,600	-0,220	-1,000	-0,060	-1,280
450,291	40,837	41,147	34,611	35,413	27,459	24,300	-0,220	-1,000	-0,050	-1,270
451,399	40,793	41,191	34,344	35,413	27,236	24,000	-0,220	-1,000	-0,060	-1,280
452,507	40,704	41,104	34,210	35,190	26,925	23,700	-0,220	-1,000	-0,060	-1,280
453,615	40,615	41,060	34,210	34,967	26,568	23,500	-0,220	-1,000	-0,060	-1,280
454,723	40,570	40,837	34,076	34,700	26,390	23,300	-0,220	-1,000	-0,070	-1,290
455,831	40,525	40,704	33,720	34,655	26,390	23,300	-0,220	-1,000	-0,070	-1,290

Continuação da Tabela 7.1. Dados coletados na realização do Experimento 1 – 50:50

Tempo (h)	Temperatura 1 (°C)	Temperatura 2 (°C)	Temperatura 3 (°C)	Temperatura 4 (°C)	Temperatura 5 (°C)	Temperatura 6 (°C)	Perda de massa 1 (kg)	Perda de massa 2 (kg)	Perda de massa 3 (kg)	Perda de massa total (kg)
456,939	40,169	40,525	33,676	34,344	26,390	23,500	-0,220	-1,000	-0,060	-1,280
458,047	40,080	40,303	33,284	34,299	26,613	23,800	-0,220	-1,000	-0,070	-1,290
459,155	39,946	40,080	33,240	34,210	27,058	24,300	-0,220	-1,000	-0,070	-1,290
460,263	39,590	39,991	33,106	34,165	27,726	24,800	-0,220	-1,000	-0,070	-1,290
461,371	39,590	39,590	32,795	34,121	28,127	25,300	-0,220	-1,000	-0,070	-1,290
462,479	39,189	39,545	32,750	34,121	28,528	25,900	-0,220	-1,000	-0,070	-1,290
463,587	39,100	39,189	32,750	34,032	28,840	26,200	-0,220	-1,000	-0,080	-1,300
464,695	39,100	39,100	32,750	34,210	29,330	26,500	-0,220	-1,000	-0,080	-1,300
465,803	38,922	39,055	32,750	34,210	29,330	26,600	-0,220	-1,000	-0,080	-1,300
466,911	38,699	38,744	32,750	34,210	29,374	26,500	-0,220	-1,000	-0,080	-1,300
468,019	38,610	38,744	32,750	34,210	29,374	26,300	-0,220	-1,000	-0,080	-1,300
469,127	38,610	38,610	32,705	34,210	28,840	26,100	-0,220	-1,000	-0,080	-1,300
470,235	38,343	38,610	32,661	34,165	28,662	25,800	-0,220	-1,000	-0,090	-1,310
471,343	38,165	38,610	32,572	33,898	28,350	25,500	-0,220	-1,000	-0,090	-1,310
472,451	38,120	38,120	32,438	33,809	27,994	25,200	-0,220	-1,000	-0,090	-1,310
473,559	37,897	38,120	32,305	33,371	27,637	24,900	-0,220	-1,000	-0,100	-1,320
474,667	37,675	38,075	32,260	33,284	27,370	24,700	-0,220	-1,000	-0,090	-1,310
475,775	37,630	37,764	32,171	33,195	27,058	24,400	-0,220	-1,000	-0,090	-1,310
476,883	37,543	37,630	32,082	32,750	26,880	24,100	-0,220	-1,000	-0,100	-1,320
477,991	37,150	37,586	31,770	32,705	26,390	23,900	-0,220	-1,000	-0,100	-1,320
479,099	37,105	37,237	31,636	32,260	26,390	23,700	-0,220	-1,000	-0,100	-1,320
480,207	36,660	37,150	31,369	32,126	26,301	23,800	-0,220	-1,000	-0,100	-1,320

Fonte: Autoria própria (2025)

Tabela 7.2. Dados coletados na realização do Experimento 2 – 75:25

Tempo (h)	Temperatura 1 (°C)	Temperatura 2 (°C)	Temperatura 3 (°C)	Temperatura 4 (°C)	Temperatura 5 (°C)	Temperatura 6 (°C)	Perda de massa 1 (kg)	Perda de massa 2 (kg)	Perda de massa 3 (kg)	Perda de massa total (kg)
0,280	20,753	21,376	20,263	19,684	21,465	24,600	0,000	0,010	0,010	0,020
1,117	20,797	21,510	20,530	19,906	23,460	25,400	-0,010	0,010	0,000	0,000
2,235	21,065	21,859	21,020	20,174	24,306	25,600	-0,010	0,020	0,010	0,020
3,349	21,154	22,035	21,510	20,619	24,485	25,600	-0,020	0,020	0,010	0,010
4,466	21,510	22,435	22,035	21,109	24,440	25,500	-0,020	0,020	0,010	0,010
5,584	21,946	22,792	22,480	21,685	24,440	25,400	-0,020	0,020	0,010	0,010
6,698	22,480	23,326	23,015	22,525	24,306	25,200	-0,030	0,020	0,010	0,000
7,816	23,104	23,950	23,549	23,326	24,039	25,000	-0,030	0,020	0,010	0,000
8,661	23,861	24,440	24,039	23,950	24,084	24,900	-0,030	0,020	0,000	-0,010
9,501	24,707	24,930	24,663	25,019	24,306	24,800	-0,030	0,020	0,000	-0,010
10,619	26,256	26,390	25,769	26,880	24,217	24,600	-0,030	0,020	0,000	-0,010
11,736	28,795	27,949	26,880	28,929	24,173	24,500	-0,040	0,020	0,000	-0,020
12,585	31,191	29,766	27,905	30,478	23,995	24,400	-0,040	0,020	0,000	-0,020
13,430	33,633	31,725	29,285	31,948	24,306	24,400	-0,040	0,010	0,000	-0,030
14,271	35,680	33,809	30,300	32,973	24,440	24,500	-0,040	0,010	-0,010	-0,040
15,388	38,031	36,705	31,770	34,210	24,707	24,700	-0,050	0,010	-0,010	-0,050
16,505	39,679	39,100	32,795	35,145	25,331	25,000	-0,050	0,010	-0,010	-0,050
17,620	41,540	40,704	33,720	35,725	25,769	25,400	-0,050	0,000	-0,010	-0,060
18,737	43,010	42,520	34,299	36,660	26,390	25,800	-0,060	0,000	-0,020	-0,080
19,855	44,302	43,945	34,789	37,237	26,925	26,300	-0,060	0,000	-0,020	-0,080
20,969	45,450	44,970	35,190	38,075	27,548	26,800	-0,060	0,000	-0,020	-0,080
22,087	46,341	45,806	35,680	38,610	28,127	27,200	-0,060	0,000	-0,030	-0,090
22,933	46,430	46,118	36,170	39,100	28,617	27,600	-0,070	-0,010	-0,030	-0,110
23,773	46,920	46,430	36,571	39,590	28,885	27,900	-0,060	-0,010	-0,030	-0,100
24,890	47,321	46,920	37,150	40,035	28,840	28,000	-0,090	-0,010	-0,030	-0,130
25,736	47,410	46,920	37,543	40,125	28,840	27,900	-0,100	-0,010	-0,040	-0,150
26,576	47,544	46,965	37,719	40,169	28,840	27,800	-0,110	-0,010	-0,030	-0,150
27,693	47,766	46,920	38,120	40,392	28,662	27,700	-0,110	-0,020	-0,040	-0,170

Continuação da Tabela 7.2. Dados coletados na realização do Experimento 2 – 75:25

Tempo (h)	Temperatura 1 (°C)	Temperatura 2 (°C)	Temperatura 3 (°C)	Temperatura 4 (°C)	Temperatura 5 (°C)	Temperatura 6 (°C)	Perda de massa 1 (kg)	Perda de massa 2 (kg)	Perda de massa 3 (kg)	Perda de massa total (kg)
28,811	47,900	46,920	38,476	40,481	28,662	27,500	-0,120	-0,020	-0,040	-0,180
29,925	47,722	46,920	38,610	40,525	28,305	27,300	-0,120	-0,020	-0,040	-0,180
31,043	47,633	46,786	38,610	40,347	28,038	27,200	-0,120	-0,030	-0,050	-0,200
32,160	47,410	46,430	38,655	40,125	27,860	27,000	-0,100	-0,030	-0,050	-0,180
33,275	47,143	46,385	38,699	40,080	27,860	26,800	-0,090	-0,030	-0,060	-0,180
34,392	46,920	45,940	38,655	39,590	27,370	26,700	-0,090	-0,040	-0,050	-0,180
35,510	46,742	45,806	38,610	39,456	27,370	26,400	-0,100	-0,040	-0,060	-0,200
36,624	46,430	45,450	38,610	39,100	26,925	26,400	-0,100	-0,040	-0,060	-0,200
37,742	46,074	45,232	38,610	38,610	27,370	26,400	-0,100	-0,040	-0,050	-0,190
38,859	45,940	44,970	38,610	38,610	27,682	26,500	-0,100	-0,050	-0,060	-0,210
39,982	45,450	44,525	38,610	38,165	27,905	27,000	-0,100	-0,050	-0,060	-0,210
40,822	45,363	44,480	38,565	38,165	28,261	27,300	-0,100	-0,050	-0,070	-0,220
41,663	44,970	44,302	38,610	38,120	28,617	27,700	-0,120	-0,050	-0,070	-0,240
42,777	44,970	44,079	38,699	38,120	29,152	28,100	-0,150	-0,060	-0,070	-0,280
43,895	44,658	43,990	39,055	37,897	29,548	28,500	-0,140	-0,060	-0,070	-0,270
45,012	44,480	43,990	39,100	37,764	29,810	28,800	-0,130	-0,060	-0,070	-0,260
46,127	44,480	43,856	39,545	37,897	29,810	28,900	-0,130	-0,060	-0,070	-0,260
47,244	44,302	43,634	39,590	37,808	29,766	28,800	-0,140	-0,060	-0,080	-0,280
48,362	44,168	43,545	39,813	37,675	29,766	28,600	-0,140	-0,070	-0,080	-0,290
49,476	44,079	43,545	39,991	37,630	29,285	28,400	-0,140	-0,070	-0,070	-0,280
50,594	43,990	43,500	40,035	37,630	28,840	28,100	-0,140	-0,070	-0,080	-0,290
51,711	43,990	43,500	40,080	37,412	28,662	27,800	-0,140	-0,080	-0,080	-0,300
52,826	43,901	43,455	40,035	37,194	28,350	27,600	-0,150	-0,080	-0,080	-0,310
53,672	43,767	43,188	39,857	37,150	27,905	27,400	-0,160	-0,080	-0,090	-0,330
54,512	43,589	43,099	39,679	36,749	27,771	27,200	-0,170	-0,080	-0,090	-0,340
55,352	43,500	43,010	39,590	36,705	27,504	27,000	-0,160	-0,090	-0,090	-0,340
56,467	43,500	43,010	39,590	36,526	27,370	26,800	-0,130	-0,090	-0,080	-0,300
57,584	43,455	42,787	39,145	36,304	26,925	26,600	-0,140	-0,090	-0,090	-0,320
58,701	43,233	42,520	39,100	36,170	26,791	26,300	-0,140	-0,090	-0,090	-0,320
59,816	43,010	42,520	39,100	36,081	26,390	26,100	-0,150	-0,100	-0,100	-0,350

Continuação da Tabela 7.2. Dados coletados na realização do Experimento 2 – 75:25

Tempo (h)	Temperatura 1 (°C)	Temperatura 2 (°C)	Temperatura 3 (°C)	Temperatura 4 (°C)	Temperatura 5 (°C)	Temperatura 6 (°C)	Perda de massa 1 (kg)	Perda de massa 2 (kg)	Perda de massa 3 (kg)	Perda de massa total (kg)
60,934	43,010	42,342	38,877	35,947	26,390	26,000	-0,150	-0,100	-0,100	-0,350
62,051	43,010	42,030	38,610	35,725	26,435	26,000	-0,150	-0,100	-0,100	-0,350
63,174	42,876	42,030	38,655	35,680	26,880	26,200	-0,150	-0,100	-0,100	-0,350
64,014	42,743	41,985	38,610	35,725	27,281	26,500	-0,150	-0,110	-0,100	-0,360
64,855	42,698	41,941	38,610	35,680	27,459	26,900	-0,150	-0,110	-0,100	-0,360
65,969	42,743	41,763	38,610	35,725	27,949	27,300	-0,150	-0,110	-0,100	-0,360
67,087	42,654	41,763	38,744	36,036	28,840	27,900	-0,150	-0,110	-0,110	-0,370
68,204	42,787	41,852	39,100	36,215	29,417	28,500	-0,170	-0,110	-0,100	-0,380
69,319	43,010	41,896	39,323	36,615	29,944	29,100	-0,200	-0,120	-0,110	-0,430
70,437	43,010	42,030	39,590	36,660	30,701	29,600	-0,180	-0,120	-0,120	-0,420
71,554	43,188	42,030	39,946	37,105	31,235	30,100	-0,180	-0,120	-0,120	-0,420
72,669	43,500	42,386	40,080	37,150	31,280	30,100	-0,180	-0,120	-0,110	-0,410
73,786	43,545	42,520	40,392	37,412	31,057	30,100	-0,180	-0,120	-0,120	-0,420
74,904	43,990	42,743	40,481	37,630	30,790	30,000	-0,180	-0,120	-0,120	-0,420
76,019	44,079	43,010	40,570	37,630	30,523	29,800	-0,190	-0,130	-0,130	-0,450
77,136	44,480	43,099	40,525	37,630	30,345	29,600	-0,190	-0,130	-0,120	-0,440
78,254	44,525	43,411	40,481	37,630	30,300	29,300	-0,190	-0,130	-0,130	-0,450
79,369	44,747	43,500	40,258	37,630	29,810	29,100	-0,190	-0,140	-0,120	-0,450
80,486	44,970	43,500	40,125	37,630	29,461	28,800	-0,190	-0,140	-0,120	-0,450
81,604	44,970	43,500	40,080	37,586	29,330	28,600	-0,190	-0,140	-0,130	-0,460
82,718	44,970	43,678	39,768	37,368	28,885	28,300	-0,200	-0,140	-0,130	-0,470
83,836	44,970	43,500	39,590	37,150	28,662	28,100	-0,200	-0,140	-0,130	-0,470
84,954	44,970	43,500	39,590	37,105	28,395	27,900	-0,200	-0,150	-0,140	-0,490
86,068	44,970	43,500	39,367	36,749	28,573	27,900	-0,210	-0,150	-0,140	-0,500
87,186	44,881	43,500	39,234	36,749	29,018	28,100	-0,210	-0,150	-0,140	-0,500
88,304	44,747	43,500	39,100	36,838	29,330	28,500	-0,210	-0,150	-0,140	-0,500
89,418	44,569	43,500	39,189	36,749	29,810	28,900	-0,210	-0,160	-0,150	-0,520
90,536	44,525	43,545	39,412	36,838	30,300	29,500	-0,210	-0,160	-0,140	-0,510
91,653	44,525	43,545	39,590	37,105	31,013	30,100	-0,210	-0,160	-0,140	-0,510
92,768	44,614	43,678	39,590	37,150	31,725	30,500	-0,210	-0,160	-0,140	-0,510

Continuação da Tabela 7.2. Dados coletados na realização do Experimento 2 – 75:25

Tempo (h)	Temperatura 1 (°C)	Temperatura 2 (°C)	Temperatura 3 (°C)	Temperatura 4 (°C)	Temperatura 5 (°C)	Temperatura 6 (°C)	Perda de massa 1 (kg)	Perda de massa 2 (kg)	Perda de massa 3 (kg)	Perda de massa total (kg)
93,886	44,614	43,901	40,080	37,150	32,215	31,000	-0,220	-0,160	-0,150	-0,530
95,004	44,747	43,990	40,080	37,368	32,661	31,500	-0,220	-0,160	-0,160	-0,540
96,118	44,970	44,079	40,481	37,543	32,839	31,800	-0,220	-0,170	-0,170	-0,560
97,236	44,970	44,435	40,570	37,630	32,750	31,700	-0,220	-0,170	-0,160	-0,550
98,354	45,014	44,525	40,971	37,675	32,661	31,700	-0,230	-0,170	-0,170	-0,570
99,468	45,057	44,703	41,060	37,630	32,260	31,500	-0,230	-0,170	-0,170	-0,570
100,586	45,232	44,970	41,060	37,630	32,260	31,200	-0,230	-0,180	-0,170	-0,580
101,704	45,450	44,970	41,060	37,630	31,815	31,000	-0,230	-0,180	-0,170	-0,580
102,819	45,406	45,188	41,060	37,455	31,369	30,700	-0,230	-0,180	-0,170	-0,580
103,936	45,450	45,275	41,060	37,150	31,146	30,400	-0,230	-0,190	-0,170	-0,590
105,054	45,450	45,406	41,060	37,150	30,790	30,100	-0,230	-0,190	-0,180	-0,600
106,169	45,406	45,450	41,060	36,794	30,389	29,800	-0,240	-0,190	-0,180	-0,610
107,286	45,232	45,450	40,837	36,660	30,077	29,500	-0,240	-0,200	-0,170	-0,610
108,404	45,057	45,450	40,570	36,482	29,810	29,200	-0,240	-0,200	-0,180	-0,620
109,519	44,970	45,450	40,570	36,170	29,723	29,100	-0,240	-0,200	-0,170	-0,610
110,637	44,881	45,450	40,570	36,125	29,810	29,100	-0,240	-0,200	-0,180	-0,620
111,754	44,525	45,406	40,570	35,814	30,211	29,300	-0,240	-0,200	-0,180	-0,620
112,869	44,480	45,406	40,436	35,725	30,300	29,600	-0,250	-0,200	-0,190	-0,640
113,987	44,391	45,450	40,392	35,680	30,790	30,000	-0,250	-0,210	-0,180	-0,640
115,105	44,257	45,363	40,525	35,725	31,280	30,500	-0,250	-0,210	-0,190	-0,650
116,219	43,990	45,450	40,570	35,769	31,770	31,000	-0,250	-0,210	-0,190	-0,650
117,337	43,990	45,450	40,615	35,769	32,260	31,400	-0,250	-0,210	-0,190	-0,650
118,455	36,125	37,367	37,324	35,101	26,613	29,800	-0,610	0,250	-0,380	-0,740
119,570	38,120	39,768	38,610	36,170	31,280	31,000	-0,610	0,250	-0,370	-0,730
120,687	39,679	41,104	39,234	36,615	31,146	30,900	-0,620	0,250	-0,380	-0,750
121,805	41,540	42,520	39,590	37,237	30,924	30,700	-0,620	0,250	-0,380	-0,750
122,920	43,411	43,723	39,590	38,610	30,790	30,400	-0,620	0,240	-0,380	-0,760
124,038	45,014	44,881	39,100	39,635	30,300	29,900	-0,620	0,240	-0,380	-0,760
125,156	46,475	45,450	38,655	40,837	30,211	29,600	-0,620	0,230	-0,390	-0,780
126,271	47,766	45,940	38,209	41,540	29,810	29,200	-0,630	0,230	-0,400	-0,800

Continuação da Tabela 7.2. Dados coletados na realização do Experimento 2 – 75:25

Tempo (h)	Temperatura 1 (°C)	Temperatura 2 (°C)	Temperatura 3 (°C)	Temperatura 4 (°C)	Temperatura 5 (°C)	Temperatura 6 (°C)	Perda de massa 1 (kg)	Perda de massa 2 (kg)	Perda de massa 3 (kg)	Perda de massa total (kg)
127,389	48,791	46,207	38,075	42,208	29,635	28,900	-0,630	0,230	-0,400	-0,800
128,506	49,360	46,430	37,630	42,520	29,330	28,600	-0,630	0,220	-0,400	-0,810
129,621	49,850	46,564	37,237	42,475	29,063	28,300	-0,640	0,210	-0,410	-0,840
130,739	50,206	46,920	37,150	42,208	28,840	28,000	-0,660	0,210	-0,410	-0,860
131,857	50,295	46,920	36,794	42,075	28,617	27,800	-0,640	0,200	-0,420	-0,860
132,706	50,340	46,965	36,660	42,030	28,350	27,700	-0,630	0,200	-0,420	-0,850
133,823	50,162	47,232	36,660	41,585	28,350	27,600	-0,630	0,200	-0,410	-0,840
134,947	49,984	47,455	36,526	41,409	28,350	27,600	-0,630	0,190	-0,420	-0,860
135,790	49,850	47,410	36,393	41,060	28,350	27,700	-0,630	0,190	-0,430	-0,870
136,905	49,805	47,455	36,571	41,060	28,840	27,900	-0,650	0,180	-0,430	-0,900
138,023	49,360	47,633	36,660	40,570	29,063	28,200	-0,670	0,180	-0,430	-0,920
139,141	49,316	47,811	36,660	40,570	29,330	28,600	-0,680	0,180	-0,430	-0,930
140,256	49,142	47,900	37,105	40,169	29,810	28,900	-0,670	0,180	-0,440	-0,930
141,102	48,880	47,900	37,150	40,125	30,300	29,200	-0,670	0,180	-0,440	-0,930
141,945	48,791	47,900	37,368	40,080	30,389	29,400	-0,670	0,170	-0,440	-0,940
143,060	48,390	47,900	37,630	40,080	30,567	29,500	-0,670	0,170	-0,440	-0,940
143,906	48,345	47,900	37,897	39,946	30,255	29,300	-0,670	0,170	-0,450	-0,950
144,749	47,989	47,900	38,120	39,590	29,810	29,100	-0,680	0,160	-0,440	-0,960
145,864	47,900	47,900	38,165	39,456	29,635	28,800	-0,680	0,160	-0,460	-0,980
146,982	47,410	47,633	38,254	39,100	29,330	28,500	-0,700	0,160	-0,450	-0,990
147,831	47,410	47,410	38,387	38,922	28,974	28,300	-0,700	0,150	-0,440	-0,990
148,949	46,920	47,410	38,521	38,610	28,662	28,000	-0,680	0,150	-0,450	-0,980
149,795	46,875	47,276	38,432	38,209	28,573	27,800	-0,670	0,140	-0,450	-0,980
150,635	46,430	47,009	38,387	38,075	28,350	27,600	-0,670	0,150	-0,460	-0,980
151,753	46,296	46,920	38,254	37,630	27,905	27,400	-0,680	0,140	-0,460	-1,000
152,871	45,940	46,608	38,209	37,237	27,815	27,100	-0,680	0,140	-0,460	-1,000
153,720	45,495	46,430	38,165	37,105	27,504	26,900	-0,680	0,130	-0,460	-1,010
154,569	45,363	46,296	38,165	36,660	27,281	26,700	-0,690	0,130	-0,460	-1,020
155,687	44,925	45,940	38,120	36,259	26,880	26,400	-0,690	0,130	-0,470	-1,030
156,533	44,480	45,762	38,120	36,081	26,791	26,400	-0,690	0,120	-0,460	-1,030

Continuação da Tabela 7.2. Dados coletados na realização do Experimento 2 – 75:25

Tempo (h)	Temperatura 1 (°C)	Temperatura 2 (°C)	Temperatura 3 (°C)	Temperatura 4 (°C)	Temperatura 5 (°C)	Temperatura 6 (°C)	Perda de massa 1 (kg)	Perda de massa 2 (kg)	Perda de massa 3 (kg)	Perda de massa total (kg)
157,373	44,213	45,450	38,120	35,680	26,657	26,300	-0,690	0,120	-0,470	-1,040
158,491	43,856	45,188	38,031	35,235	26,791	26,300	-0,690	0,120	-0,470	-1,040
159,609	43,455	44,970	38,120	34,878	26,702	26,400	-0,690	0,120	-0,470	-1,040
160,458	43,010	44,703	38,120	34,700	27,014	26,600	-0,700	0,120	-0,470	-1,050
161,307	42,698	44,480	38,120	34,344	27,415	26,800	-0,700	0,110	-0,480	-1,070
162,425	42,431	44,257	38,432	34,210	27,860	27,200	-0,700	0,110	-0,470	-1,060
163,274	42,030	44,035	38,610	34,210	28,261	27,600	-0,700	0,110	-0,480	-1,070
164,120	41,852	43,990	38,922	34,210	28,706	28,000	-0,700	0,110	-0,480	-1,070
164,963	41,540	43,812	39,100	34,210	28,974	28,300	-0,700	0,110	-0,480	-1,070
166,078	41,409	43,589	39,545	34,255	29,417	28,800	-0,700	0,110	-0,480	-1,070
166,924	41,191	43,678	39,679	34,121	29,766	28,900	-0,710	0,110	-0,480	-1,080
167,768	41,060	43,500	40,080	34,165	29,810	29,100	-0,730	0,100	-0,490	-1,120
168,617	41,060	43,500	40,169	34,165	29,810	29,100	-0,750	0,110	-0,480	-1,120
169,734	40,793	43,500	40,258	34,165	29,461	29,000	-0,740	0,100	-0,490	-1,130
170,850	40,570	43,500	40,481	33,809	29,417	28,800	-0,740	0,100	-0,480	-1,120
171,967	40,570	43,500	40,258	33,720	29,374	28,700	-0,740	0,100	-0,490	-1,130
173,085	40,481	43,366	40,169	33,720	28,885	28,500	-0,750	0,090	-0,490	-1,150
174,201	40,258	43,099	40,125	33,458	28,840	28,300	-0,750	0,090	-0,490	-1,150
175,318	40,080	43,055	40,080	33,284	28,395	28,100	-0,730	0,090	-0,500	-1,140
176,436	39,857	43,010	39,724	33,062	28,261	27,800	-0,710	0,080	-0,490	-1,120
177,552	39,679	42,743	39,545	32,750	27,860	27,600	-0,720	0,080	-0,490	-1,130
178,669	39,590	42,520	39,145	32,527	27,860	27,400	-0,720	0,080	-0,490	-1,130
179,787	39,189	42,431	39,100	32,349	27,637	27,200	-0,730	0,080	-0,500	-1,150
180,903	39,100	42,030	38,610	32,126	27,370	27,100	-0,730	0,070	-0,500	-1,160
182,021	38,833	41,985	38,432	31,770	27,459	27,200	-0,730	0,070	-0,500	-1,160
183,139	38,610	41,540	38,165	31,770	27,860	27,400	-0,730	0,070	-0,500	-1,160
183,988	38,476	41,409	38,075	31,636	28,172	27,700	-0,730	0,070	-0,500	-1,160
184,837	38,254	41,104	37,942	31,636	28,395	28,100	-0,730	0,070	-0,500	-1,160
185,955	38,165	41,060	37,630	31,770	29,285	28,700	-0,720	0,070	-0,500	-1,150
186,801	37,942	40,748	37,630	31,770	29,635	29,100	-0,740	0,070	-0,500	-1,170

Continuação da Tabela 7.2. Dados coletados na realização do Experimento 2 – 75:25

Tempo (h)	Temperatura 1 (°C)	Temperatura 2 (°C)	Temperatura 3 (°C)	Temperatura 4 (°C)	Temperatura 5 (°C)	Temperatura 6 (°C)	Perda de massa 1 (kg)	Perda de massa 2 (kg)	Perda de massa 3 (kg)	Perda de massa total (kg)
187,641	37,853	40,570	37,630	31,770	29,810	29,200	-0,750	0,070	-0,500	-1,180
188,759	37,630	40,570	37,499	31,770	29,330	29,100	-0,760	0,060	-0,510	-1,210
189,877	37,630	40,347	37,412	31,770	29,461	29,000	-0,770	0,060	-0,510	-1,220
190,993	37,543	40,080	37,325	31,770	29,635	29,000	-0,770	0,060	-0,500	-1,210
192,111	37,281	40,080	37,325	31,770	29,330	28,800	-0,770	0,060	-0,520	-1,230
193,229	37,194	39,902	37,150	31,770	28,840	28,500	-0,760	0,060	-0,520	-1,220
194,075	37,194	39,679	37,150	31,503	28,840	28,400	-0,750	0,050	-0,510	-1,210
194,915	37,150	39,590	36,972	31,369	28,617	28,200	-0,740	0,050	-0,510	-1,200
196,033	37,150	39,590	36,660	31,280	28,350	28,000	-0,740	0,050	-0,510	-1,200
197,149	36,749	39,234	36,660	31,057	27,949	27,700	-0,750	0,050	-0,520	-1,220
197,995	36,660	39,100	36,482	30,835	27,726	27,600	-0,750	0,050	-0,520	-1,220
198,838	36,660	39,100	36,215	30,790	27,459	27,400	-0,750	0,040	-0,520	-1,230
199,953	36,526	38,833	36,081	30,389	27,325	27,100	-0,750	0,040	-0,520	-1,230
200,800	36,215	38,610	35,769	30,345	27,147	26,900	-0,750	0,040	-0,520	-1,230
201,643	36,170	38,610	35,635	30,345	26,880	26,700	-0,750	0,040	-0,530	-1,240
202,492	36,036	38,565	35,591	29,899	26,524	26,500	-0,750	0,040	-0,530	-1,240
203,610	35,680	38,120	35,190	29,810	26,390	26,300	-0,760	0,030	-0,520	-1,250
204,456	35,680	38,120	35,056	29,505	26,301	26,200	-0,760	0,030	-0,530	-1,260
205,297	35,413	37,808	34,789	29,374	26,034	26,100	-0,760	0,030	-0,530	-1,260
206,415	35,190	37,630	34,700	29,285	26,034	26,100	-0,760	0,030	-0,520	-1,250
207,530	35,056	37,455	34,344	28,929	26,167	26,200	-0,760	0,030	-0,530	-1,260
208,376	34,745	37,150	34,210	28,885	26,390	26,400	-0,760	0,030	-0,530	-1,260
209,220	34,700	37,150	34,032	28,840	26,880	26,700	-0,760	0,030	-0,530	-1,260
210,335	34,433	36,794	33,809	28,840	27,370	27,200	-0,760	0,020	-0,530	-1,270
211,453	34,210	36,660	33,765	28,840	28,127	27,700	-0,760	0,030	-0,530	-1,260
212,571	34,210	36,615	33,720	28,885	28,662	28,300	-0,760	0,020	-0,530	-1,270
213,687	34,076	36,437	33,720	29,330	29,241	28,700	-0,770	0,020	-0,530	-1,280
214,533	34,165	36,215	33,720	29,330	29,374	29,000	-0,770	0,030	-0,530	-1,270
215,374	33,987	36,215	33,720	29,374	29,679	29,200	-0,770	0,030	-0,530	-1,270
216,214	33,943	36,215	33,765	29,417	29,810	29,300	-0,760	0,030	-0,530	-1,260

Continuação da Tabela 7.2. Dados coletados na realização do Experimento 2 – 75:25

Tempo (h)	Temperatura 1 (°C)	Temperatura 2 (°C)	Temperatura 3 (°C)	Temperatura 4 (°C)	Temperatura 5 (°C)	Temperatura 6 (°C)	Perda de massa 1 (kg)	Perda de massa 2 (kg)	Perda de massa 3 (kg)	Perda de massa total (kg)
217,330	33,943	36,170	34,032	29,505	29,417	29,200	-0,760	0,020	-0,530	-1,270
218,448	33,809	36,170	34,121	29,505	29,330	29,000	-0,760	0,020	-0,530	-1,270
219,297	33,987	36,170	34,210	29,505	28,885	28,800	-0,760	0,020	-0,530	-1,270
220,415	33,987	36,170	34,210	29,330	28,795	28,500	-0,770	0,020	-0,530	-1,280
221,533	33,987	36,170	34,210	29,330	28,350	28,200	-0,770	0,020	-0,540	-1,290
222,657	33,898	36,170	34,210	29,196	27,994	27,900	-0,770	0,020	-0,540	-1,290
223,500	33,809	36,170	34,210	28,929	27,860	27,700	-0,770	0,010	-0,550	-1,310
224,615	33,765	36,170	34,210	28,840	27,370	27,500	-0,780	0,010	-0,540	-1,310
225,734	33,720	36,170	34,121	28,484	27,058	27,200	-0,780	0,010	-0,550	-1,320
226,583	33,720	36,036	33,987	28,395	26,835	27,000	-0,780	0,010	-0,550	-1,320
227,701	33,633	35,903	33,809	28,350	26,657	26,700	-0,780	0,010	-0,550	-1,320
228,819	33,415	35,680	33,720	27,949	26,435	26,500	-0,780	0,010	-0,550	-1,320
229,943	33,284	35,680	33,633	27,860	26,345	26,400	-0,780	0,000	-0,550	-1,330
230,786	33,240	35,680	33,415	27,771	26,479	26,500	-0,780	0,000	-0,550	-1,330
231,902	33,106	35,457	33,284	27,593	26,880	26,800	-0,780	0,000	-0,550	-1,330
233,020	32,795	35,279	33,240	27,548	27,370	27,200	-0,780	0,000	-0,550	-1,330
234,138	32,750	35,190	33,240	27,815	27,860	27,800	-0,780	0,000	-0,550	-1,330
235,254	32,750	35,190	33,240	27,860	28,706	28,300	-0,790	0,000	-0,550	-1,340
236,372	32,750	35,190	33,240	28,038	29,330	28,900	-0,790	0,000	-0,560	-1,350
237,490	32,750	35,145	33,240	28,350	29,810	29,300	-0,790	0,000	-0,560	-1,350
238,339	32,750	35,190	33,415	28,350	29,855	29,600	-0,790	0,000	-0,550	-1,340
239,188	32,750	35,190	33,502	28,395	30,255	29,900	-0,780	0,000	-0,550	-1,330
240,306	27,905	28,795	28,395	27,370	29,374	30,100	-0,780	0,000	-0,560	-1,340
241,424	31,458	32,839	32,616	29,417	28,840	29,200	-1,860	0,570	-0,090	-1,330
242,540	32,171	33,720	32,928	29,330	28,840	29,000	-1,860	0,570	-0,090	-1,330
243,658	32,750	34,433	33,284	29,152	28,662	28,800	-1,860	0,570	-0,090	-1,330
244,776	33,458	35,190	33,720	29,285	28,350	28,400	-1,870	0,570	-0,100	-1,350
245,892	34,210	35,814	34,210	29,330	27,905	28,000	-1,870	0,570	-0,090	-1,340
247,010	34,700	36,348	34,299	29,330	27,860	27,700	-1,870	0,560	-0,100	-1,360
248,128	35,101	36,883	34,655	29,330	27,370	27,500	-1,870	0,560	-0,100	-1,360

Continuação da Tabela 7.2. Dados coletados na realização do Experimento 2 – 75:25

Tempo (h)	Temperatura 1 (°C)	Temperatura 2 (°C)	Temperatura 3 (°C)	Temperatura 4 (°C)	Temperatura 5 (°C)	Temperatura 6 (°C)	Perda de massa 1 (kg)	Perda de massa 2 (kg)	Perda de massa 3 (kg)	Perda de massa total (kg)
248,967	35,235	37,194	34,655	29,330	27,014	27,200	-1,870	0,560	-0,100	-1,360
249,813	35,680	37,630	34,700	29,330	26,880	26,900	-1,870	0,550	-0,110	-1,380
250,654	35,725	37,764	34,700	29,285	26,613	26,700	-1,880	0,550	-0,110	-1,390
251,772	36,170	38,120	34,700	29,330	26,390	26,400	-1,880	0,550	-0,110	-1,390
252,888	36,660	38,387	34,655	29,330	26,256	26,300	-1,880	0,550	-0,110	-1,390
254,006	36,749	38,610	34,655	29,330	26,345	26,200	-1,880	0,550	-0,110	-1,390
255,124	36,705	38,610	34,477	29,330	26,435	26,400	-1,880	0,540	-0,110	-1,400
256,240	36,794	38,610	34,210	29,635	26,925	26,800	-1,880	0,540	-0,120	-1,410
257,358	36,927	38,610	34,210	29,810	27,415	27,200	-1,890	0,540	-0,110	-1,410
258,476	36,972	38,565	34,210	29,855	28,127	27,800	-1,890	0,540	-0,120	-1,420
259,592	36,838	38,521	34,210	30,300	28,795	28,400	-1,890	0,540	-0,120	-1,420
260,710	36,794	38,387	34,210	30,300	29,330	28,900	-1,890	0,530	-0,110	-1,420
261,557	36,749	38,209	34,210	30,567	29,766	29,300	-1,890	0,530	-0,120	-1,430
262,398	36,838	38,254	34,210	30,745	30,122	29,600	-1,890	0,530	-0,120	-1,430
263,516	36,749	38,120	34,210	30,790	30,077	29,700	-1,890	0,530	-0,120	-1,430
264,634	36,749	38,120	34,210	30,790	29,766	29,400	-1,890	0,520	-0,120	-1,440
265,750	36,794	38,120	34,299	30,701	29,330	29,200	-1,900	0,520	-0,130	-1,460
266,868	36,705	38,120	34,210	30,389	29,152	28,900	-1,900	0,520	-0,130	-1,460
267,986	36,660	38,120	34,255	30,345	28,840	28,600	-1,900	0,520	-0,130	-1,460
268,825	36,705	38,120	34,210	30,300	28,350	28,300	-1,900	0,510	-0,130	-1,470
269,674	36,660	37,986	34,210	29,988	28,350	28,100	-1,900	0,510	-0,140	-1,480
270,792	36,482	37,719	33,943	29,810	27,860	27,800	-1,910	0,510	-0,130	-1,480
271,908	36,304	37,630	33,720	29,810	27,459	27,500	-1,910	0,510	-0,140	-1,490
273,026	36,170	37,630	33,676	29,330	27,192	27,100	-1,910	0,500	-0,140	-1,500
274,144	36,036	37,281	33,284	28,974	26,880	26,800	-1,910	0,500	-0,140	-1,500
275,260	35,680	37,150	33,195	28,840	26,479	26,600	-1,910	0,500	-0,140	-1,500
276,378	35,635	36,838	32,750	28,395	26,390	26,400	-1,910	0,500	-0,140	-1,500
277,225	35,235	36,749	32,750	28,350	26,390	26,200	-1,910	0,490	-0,140	-1,510
278,066	35,190	36,660	32,394	28,261	26,078	26,100	-1,910	0,490	-0,140	-1,510
279,184	34,878	36,215	32,260	27,994	26,167	26,300	-1,910	0,490	-0,150	-1,520

Continuação da Tabela 7.2. Dados coletados na realização do Experimento 2 – 75:25

Tempo (h)	Temperatura 1 (°C)	Temperatura 2 (°C)	Temperatura 3 (°C)	Temperatura 4 (°C)	Temperatura 5 (°C)	Temperatura 6 (°C)	Perda de massa 1 (kg)	Perda de massa 2 (kg)	Perda de massa 3 (kg)	Perda de massa total (kg)
280,302	34,655	36,081	31,815	27,905	26,345	26,300	-1,910	0,490	-0,150	-1,520
281,141	34,433	35,680	31,770	27,860	26,390	26,500	-1,920	0,490	-0,140	-1,520
281,990	34,255	35,680	31,770	27,860	26,702	26,600	-1,920	0,490	-0,150	-1,530
283,108	33,943	35,324	31,592	27,771	27,103	27,000	-1,920	0,480	-0,150	-1,540
284,224	33,720	35,190	31,325	27,860	27,370	27,300	-1,920	0,480	-0,150	-1,540
285,342	33,633	35,012	31,280	27,860	27,370	27,300	-1,920	0,480	-0,150	-1,540
286,460	33,327	34,745	31,280	27,860	27,370	27,300	-1,920	0,480	-0,160	-1,550
287,299	33,240	34,745	31,280	27,682	27,370	27,300	-1,920	0,480	-0,160	-1,550
288,423	33,106	34,433	31,280	27,415	27,325	27,200	-1,920	0,480	-0,150	-1,540
289,266	32,795	34,299	31,235	27,415	26,969	27,000	-1,920	0,480	-0,150	-1,540
290,382	32,795	34,210	31,191	27,281	26,880	26,800	-1,920	0,470	-0,150	-1,550
291,500	32,661	34,121	30,879	26,969	26,435	26,600	-1,930	0,470	-0,160	-1,570
292,619	32,394	33,765	30,879	26,880	26,345	26,400	-1,930	0,470	-0,160	-1,570
293,468	32,260	33,720	30,790	26,746	26,167	26,200	-1,920	0,460	-0,160	-1,570
294,586	32,260	33,720	30,612	26,390	25,900	26,000	-1,930	0,460	-0,160	-1,630
295,702	31,904	33,415	30,389	26,078	25,420	25,700	-1,930	0,460	-0,160	-1,630
296,820	31,770	33,240	30,300	25,900	25,375	25,400	-1,930	0,460	-0,160	-1,630
297,670	31,592	33,240	30,166	25,856	25,064	25,300	-1,930	0,460	-0,170	-1,640
298,788	31,280	32,839	29,944	25,464	24,885	25,000	-1,930	0,460	-0,160	-1,630
299,907	31,235	32,750	29,810	25,420	24,485	24,800	-1,930	0,450	-0,160	-1,640
301,031	30,835	32,572	29,417	25,108	24,440	24,700	-1,930	0,450	-0,160	-1,640
301,874	30,790	32,349	29,330	24,930	24,440	24,700	-1,930	0,450	-0,160	-1,640
302,990	30,523	32,260	29,285	24,930	24,796	24,900	-1,930	0,450	-0,170	-1,650
303,836	30,300	31,993	29,018	24,930	24,975	25,200	-1,930	0,450	-0,170	-1,650
304,680	30,300	31,815	28,929	24,930	25,420	25,500	-1,930	0,450	-0,170	-1,650
305,796	30,077	31,770	28,840	24,975	25,856	25,800	-1,930	0,450	-0,170	-1,650
306,642	29,810	31,681	28,840	24,930	26,256	26,200	-1,930	0,450	-0,170	-1,650
307,486	29,855	31,458	28,840	25,331	26,657	26,500	-1,930	0,450	-0,160	-1,640
308,602	29,810	31,369	28,840	25,420	26,880	26,900	-1,940	0,450	-0,170	-1,660
309,448	29,592	31,369	28,840	25,464	27,370	27,200	-1,940	0,450	-0,180	-1,670

Continuação da Tabela 7.2. Dados coletados na realização do Experimento 2 – 75:25

Tempo (h)	Temperatura 1 (°C)	Temperatura 2 (°C)	Temperatura 3 (°C)	Temperatura 4 (°C)	Temperatura 5 (°C)	Temperatura 6 (°C)	Perda de massa 1 (kg)	Perda de massa 2 (kg)	Perda de massa 3 (kg)	Perda de massa total (kg)
310,292	29,461	31,280	28,840	25,595	27,370	27,400	-1,940	0,450	-0,170	-1,660
311,408	29,417	31,280	28,885	25,813	27,860	27,800	-1,940	0,450	-0,180	-1,670
312,526	29,461	31,235	28,885	25,813	27,905	27,800	-1,940	0,440	-0,180	-1,680
313,376	29,635	31,280	29,107	25,682	27,682	27,700	-1,940	0,440	-0,170	-1,670
314,494	29,548	31,280	29,285	25,420	27,370	27,500	-1,940	0,440	-0,180	-1,680
315,613	29,461	31,191	29,285	25,420	26,880	27,200	-1,940	0,440	-0,180	-1,680
316,459	29,374	31,280	29,330	25,420	26,880	27,000	-1,940	0,440	-0,180	-1,680
317,300	29,461	31,191	29,330	25,242	26,613	26,800	-1,940	0,440	-0,180	-1,680
318,419	29,374	31,146	29,330	25,019	26,390	26,500	-1,940	0,440	-0,180	-1,680
319,543	29,330	31,146	29,285	24,930	25,945	26,200	-1,940	0,440	-0,180	-1,680
320,387	29,330	31,102	29,196	24,707	25,638	26,000	-1,940	0,430	-0,180	-1,690
321,233	29,330	30,968	29,018	24,485	25,420	25,700	-1,940	0,430	-0,190	-1,700
322,074	29,330	31,013	28,840	24,440	25,019	25,400	-1,940	0,430	-0,180	-1,690
322,921	29,241	30,835	28,885	24,351	24,930	25,200	-1,940	0,430	-0,190	-1,700
323,762	29,063	30,790	28,840	24,217	24,752	25,000	-1,940	0,430	-0,180	-1,690
324,880	28,840	30,790	28,662	23,950	24,440	24,800	-1,940	0,430	-0,190	-1,700
325,730	28,840	30,790	28,484	23,995	24,440	24,800	-1,940	0,430	-0,190	-1,700
326,576	28,840	30,745	28,350	23,905	24,618	24,900	-1,940	0,430	-0,190	-1,700
327,420	28,662	30,567	28,350	23,950	24,930	25,200	-1,940	0,430	-0,190	-1,700
328,259	28,662	30,434	28,350	23,950	25,420	25,500	-1,940	0,420	-0,190	-1,710
329,108	28,350	30,434	28,305	24,084	25,725	25,900	-1,940	0,430	-0,180	-1,690
330,226	28,439	30,300	28,216	24,395	26,390	26,500	-1,950	0,430	-0,190	-1,710
331,065	28,350	30,300	28,216	24,485	26,880	26,900	-1,950	0,420	-0,200	-1,730
331,914	28,350	30,300	28,350	24,841	27,415	27,400	-1,950	0,420	-0,200	-1,730
333,033	28,395	30,300	28,350	24,930	28,261	28,000	-1,950	0,420	-0,200	-1,730
333,882	28,395	30,300	28,350	24,975	28,439	28,300	-1,950	0,420	-0,200	-1,730
335,000	28,350	30,300	28,395	25,464	28,974	28,800	-1,950	0,420	-0,200	-1,730
335,839	28,484	30,300	28,484	25,551	29,374	29,200	-1,950	0,420	-0,190	-1,720
336,688	28,751	30,345	28,840	25,856	29,417	29,100	-1,950	0,420	-0,190	-1,720
337,807	28,795	30,389	28,974	25,856	29,018	29,000	-1,950	0,420	-0,190	-1,720

Continuação da Tabela 7.2. Dados coletados na realização do Experimento 2 – 75:25

Tempo (h)	Temperatura 1 (°C)	Temperatura 2 (°C)	Temperatura 3 (°C)	Temperatura 4 (°C)	Temperatura 5 (°C)	Temperatura 6 (°C)	Perda de massa 1 (kg)	Perda de massa 2 (kg)	Perda de massa 3 (kg)	Perda de massa total (kg)
338,656	28,840	30,567	29,152	25,638	28,885	28,900	-1,950	0,420	-0,200	-1,730
339,775	28,840	30,656	29,374	25,507	28,617	28,700	-1,950	0,420	-0,200	-1,730
340,899	28,929	30,745	29,330	25,464	28,395	28,400	-1,950	0,420	-0,200	-1,730
341,743	29,285	30,790	29,374	25,420	28,216	28,200	-1,950	0,420	-0,200	-1,730
342,592	29,152	30,790	29,505	25,420	27,860	28,000	-1,950	0,420	-0,200	-1,730
343,711	29,241	30,924	29,766	25,331	27,415	27,700	-1,950	0,410	-0,200	-1,740
344,560	29,285	30,924	29,766	25,064	27,370	27,400	-1,950	0,410	-0,200	-1,740
345,679	29,330	31,146	29,766	24,930	26,835	27,100	-1,950	0,410	-0,200	-1,740
346,803	29,285	31,191	29,810	24,707	26,435	26,800	-1,950	0,410	-0,200	-1,740
347,647	29,241	31,280	29,723	24,440	26,435	26,600	-1,950	0,410	-0,210	-1,750
348,496	29,241	31,280	29,592	24,440	26,078	26,400	-1,950	0,410	-0,210	-1,750
349,615	29,152	31,235	29,461	24,440	25,945	26,300	-1,960	0,410	-0,210	-1,760
350,464	29,107	31,191	29,374	24,440	26,167	26,400	-1,960	0,410	-0,210	-1,760
351,583	29,018	31,280	29,330	24,574	26,568	26,700	-1,960	0,410	-0,210	-1,760
352,432	28,929	31,280	29,330	24,841	26,880	27,100	-1,960	0,410	-0,210	-1,760
353,282	28,885	31,102	29,330	25,064	27,370	27,500	-1,960	0,410	-0,210	-1,760
354,400	28,929	31,235	29,330	25,420	28,216	28,100	-1,960	0,410	-0,210	-1,760
355,239	28,885	31,191	29,330	25,595	28,662	28,600	-1,960	0,410	-0,210	-1,760
356,357	29,241	31,235	29,417	25,900	29,374	29,200	-1,960	0,410	-0,210	-1,760
357,473	29,330	31,280	29,592	26,167	29,810	29,600	-1,960	0,400	-0,210	-1,770
358,320	29,330	31,280	29,766	26,390	30,300	30,000	-1,960	0,400	-0,210	-1,770
359,164	29,330	31,280	29,855	26,613	30,790	30,300	-1,960	0,400	-0,220	-1,780
360,013	24,395	26,925	27,504	24,930	26,791	27,700	-1,960	0,400	-0,210	-1,770
361,132	27,860	29,063	28,528	25,989	28,885	29,500	-1,010	-1,040	0,140	-1,780
361,981	28,038	29,330	28,840	26,301	29,548	29,800	-1,010	-1,040	0,140	-1,780
362,831	28,350	29,679	28,840	26,390	29,505	29,800	-1,010	-1,030	0,140	-1,770
363,949	28,395	29,810	29,330	26,390	29,330	29,700	-1,010	-1,030	0,140	-1,770
364,799	28,706	29,988	29,374	26,390	29,330	29,500	-1,010	-1,030	0,130	-1,780
365,645	28,840	30,255	29,679	26,390	29,152	29,400	-1,010	-1,030	0,140	-1,770
366,489	28,974	30,389	29,810	26,479	28,840	29,200	-1,010	-1,030	0,130	-1,780

Continuação da Tabela 7.2. Dados coletados na realização do Experimento 2 – 75:25

Tempo (h)	Temperatura 1 (°C)	Temperatura 2 (°C)	Temperatura 3 (°C)	Temperatura 4 (°C)	Temperatura 5 (°C)	Temperatura 6 (°C)	Perda de massa 1 (kg)	Perda de massa 2 (kg)	Perda de massa 3 (kg)	Perda de massa total (kg)
367,328	29,241	30,701	29,855	26,390	28,795	29,000	-1,010	-1,030	0,130	-1,780
368,444	29,330	30,790	30,122	26,390	28,395	28,700	-1,020	-1,030	0,130	-1,790
369,562	29,374	31,013	30,300	26,301	28,350	28,500	-1,020	-1,030	0,130	-1,790
370,412	29,548	31,280	30,300	26,123	27,949	28,300	-1,020	-1,040	0,130	-1,800
371,530	29,766	31,280	30,345	25,900	27,771	28,000	-1,020	-1,040	0,140	-1,790
372,369	29,766	31,369	30,300	25,725	27,415	27,800	-1,020	-1,040	0,130	-1,800
373,487	29,766	31,369	30,300	25,595	27,415	27,800	-1,020	-1,040	0,120	-1,810
374,326	29,810	31,681	30,300	25,900	27,860	28,200	-1,020	-1,040	0,130	-1,800
375,175	29,810	31,725	30,345	25,900	27,949	28,300	-1,020	-1,040	0,130	-1,800
376,294	29,810	31,815	30,345	26,212	28,528	28,800	-0,980	-1,050	0,130	-1,770
377,410	29,810	31,815	30,300	26,390	28,974	29,100	-1,030	-1,040	0,120	-1,820
378,528	29,944	31,770	30,656	26,835	29,810	29,700	-1,030	-1,040	0,130	-1,810
379,378	30,033	31,948	30,745	26,925	30,300	30,200	-1,030	-1,050	0,120	-1,830
380,225	30,300	32,171	30,790	27,370	30,790	30,700	-1,020	-1,050	0,120	-1,820
381,069	30,300	32,260	30,790	27,415	31,280	31,000	-1,020	-1,040	0,120	-1,810
381,918	30,345	32,260	31,013	27,860	31,369	31,200	-1,040	-1,040	0,120	-1,830
383,037	30,656	32,260	31,280	28,305	31,770	31,500	-1,060	-1,040	0,120	-1,850
384,153	30,790	32,750	31,325	28,350	31,815	31,700	-1,050	-1,040	0,110	-1,850
385,000	31,057	32,750	31,681	28,350	31,725	31,500	-1,050	-1,040	0,110	-1,850
385,843	31,280	32,884	31,770	28,350	31,458	31,400	-1,050	-1,040	0,110	-1,850
386,682	31,280	33,151	31,904	28,350	31,280	31,300	-1,050	-1,050	0,110	-1,860
387,532	31,592	33,240	32,215	28,350	30,879	31,100	-1,050	-1,050	0,120	-1,850
388,650	31,725	33,371	32,260	28,305	30,790	30,800	-1,050	-1,050	0,110	-1,860
389,489	31,770	33,589	32,260	28,038	30,389	30,600	-1,050	-1,050	0,110	-1,860
390,605	31,859	33,720	32,349	27,860	30,211	30,300	-1,050	-1,060	0,110	-1,870
391,452	31,948	33,720	32,572	27,771	29,810	30,000	-1,060	-1,050	0,100	-1,880
392,296	32,082	33,809	32,483	27,370	29,635	29,700	-1,070	-1,050	0,110	-1,880
393,145	32,171	33,943	32,661	27,370	29,330	29,400	-1,050	-1,060	0,100	-1,880
393,995	32,171	34,076	32,483	27,281	28,929	29,200	-1,030	-1,060	0,110	-1,850
395,114	32,082	34,210	32,349	26,880	28,617	28,800	-1,040	-1,060	0,100	-1,870

Continuação da Tabela 7.2. Dados coletados na realização do Experimento 2 – 75:25

Tempo (h)	Temperatura 1 (°C)	Temperatura 2 (°C)	Temperatura 3 (°C)	Temperatura 4 (°C)	Temperatura 5 (°C)	Temperatura 6 (°C)	Perda de massa 1 (kg)	Perda de massa 2 (kg)	Perda de massa 3 (kg)	Perda de massa total (kg)
396,233	32,126	34,210	32,260	26,435	28,395	28,600	-1,040	-1,060	0,110	-1,860
397,082	32,126	34,210	32,305	26,435	28,305	28,500	-1,040	-1,070	0,100	-1,880
397,932	31,948	34,210	32,260	26,479	28,305	28,400	-1,040	-1,070	0,100	-1,880
398,779	31,993	34,210	32,082	26,791	28,350	28,500	-1,040	-1,070	0,100	-1,880
399,623	31,859	34,210	31,904	26,880	28,706	28,700	-1,040	-1,070	0,100	-1,880
400,472	31,904	34,210	31,948	26,925	28,840	29,000	-1,040	-1,070	0,090	-1,890
401,322	31,993	34,210	31,815	27,236	29,374	29,300	-1,040	-1,070	0,100	-1,880
402,441	32,082	34,210	31,815	27,548	29,899	29,900	-1,040	-1,070	0,090	-1,890
403,560	32,215	34,210	31,815	27,860	30,567	30,400	-1,040	-1,070	0,090	-1,890
404,409	32,260	34,210	32,126	27,994	31,102	30,800	-1,050	-1,070	0,090	-1,900
405,259	32,260	34,210	32,260	28,350	31,325	31,200	-1,080	-1,070	0,090	-1,930
406,106	32,305	34,210	32,260	28,305	31,547	31,400	-1,080	-1,070	0,080	-1,940
406,950	32,394	34,299	32,305	28,662	31,770	31,700	-1,070	-1,070	0,080	-1,930
407,799	32,438	34,344	32,572	28,840	32,260	32,000	-1,070	-1,070	0,090	-1,920
408,638	32,705	34,700	32,750	28,840	32,260	31,900	-1,070	-1,080	0,080	-1,940
409,757	32,750	34,700	32,750	28,395	31,770	31,700	-1,070	-1,080	0,080	-1,940
410,606	32,884	34,700	32,973	28,350	31,770	31,600	-1,070	-1,080	0,080	-1,940
411,456	33,062	34,789	33,240	28,395	31,458	31,400	-1,070	-1,080	0,080	-1,940
412,303	33,195	35,101	33,284	28,350	31,280	31,200	-1,070	-1,080	0,080	-1,940
413,147	33,240	35,190	33,240	28,395	30,924	31,000	-1,070	-1,080	0,080	-1,940
413,996	33,284	35,190	33,502	28,350	30,790	30,800	-1,070	-1,080	0,080	-1,940
414,846	33,327	35,279	33,371	28,350	30,701	30,600	-1,070	-1,090	0,080	-1,950
415,685	33,502	35,457	33,545	28,216	30,300	30,400	-1,080	-1,080	0,070	-1,960
416,803	33,589	35,591	33,545	28,083	29,988	30,000	-1,080	-1,090	0,080	-1,960
417,653	33,720	35,680	33,545	27,860	29,810	29,800	-1,100	-1,090	0,070	-1,990
418,492	33,720	35,680	33,589	27,771	29,461	29,500	-1,090	-1,090	0,080	-1,970
419,610	33,720	35,725	33,545	27,459	29,241	29,300	-1,060	-1,090	0,080	-1,940
420,457	33,765	35,858	33,415	27,370	28,974	29,100	-1,060	-1,100	0,070	-1,960
421,299	33,720	35,769	33,371	27,370	28,840	29,000	-1,060	-1,100	0,070	-1,960
422,146	33,809	35,858	33,284	27,459	28,885	29,000	-1,070	-1,100	0,060	-1,980

Continuação da Tabela 7.2. Dados coletados na realização do Experimento 2 – 75:25

Tempo (h)	Temperatura 1 (°C)	Temperatura 2 (°C)	Temperatura 3 (°C)	Temperatura 4 (°C)	Temperatura 5 (°C)	Temperatura 6 (°C)	Perda de massa 1 (kg)	Perda de massa 2 (kg)	Perda de massa 3 (kg)	Perda de massa total (kg)
422,990	33,720	35,947	33,240	27,459	29,285	29,100	-1,060	-1,110	0,070	-1,970
423,839	33,854	35,992	33,240	27,504	29,330	29,300	-1,060	-1,100	0,060	-1,970
424,689	33,720	35,947	33,240	27,860	29,766	29,600	-1,060	-1,110	0,060	-1,980
425,528	33,809	36,081	33,240	27,860	29,899	29,900	-1,060	-1,100	0,060	-1,970
426,646	34,032	36,125	33,240	28,172	30,745	30,400	-1,090	-1,110	0,060	-2,010
427,496	34,165	36,170	33,327	28,350	31,280	30,900	-1,100	-1,110	0,060	-2,020
428,335	34,210	36,170	33,458	28,395	31,725	31,400	-1,100	-1,110	0,060	-2,020
429,453	34,210	36,170	33,720	28,840	32,305	31,900	-1,090	-1,110	0,060	-2,010
430,292	34,299	36,215	33,720	28,929	32,616	32,200	-1,090	-1,110	0,050	-2,020
431,411	34,344	36,615	33,987	29,330	32,928	32,600	-1,090	-1,110	0,060	-2,010
432,527	34,611	36,660	34,210	29,196	32,750	32,600	-1,090	-1,110	0,050	-2,020
433,366	34,700	36,660	34,255	29,330	32,750	32,500	-1,090	-1,110	0,050	-2,020
434,484	34,878	36,883	34,700	29,285	32,483	32,300	-1,090	-1,110	0,050	-2,020
435,331	35,012	37,105	34,745	29,330	32,260	32,100	-1,100	-1,120	0,050	-2,040
436,173	35,190	37,150	34,834	29,330	32,215	31,900	-1,100	-1,120	0,050	-2,040
437,292	35,190	37,150	35,190	29,285	31,770	31,700	-1,100	-1,120	0,050	-2,040
438,411	35,279	37,368	35,190	29,330	31,414	31,400	-1,100	-1,120	0,050	-2,040
439,260	35,368	37,543	35,190	29,330	31,280	31,200	-1,100	-1,120	0,040	-2,050
440,110	35,680	37,630	35,190	29,241	31,013	30,900	-1,100	-1,120	0,040	-2,050
440,949	35,680	37,630	35,190	29,196	30,790	30,700	-1,110	-1,130	0,040	-2,070
442,067	35,680	37,630	35,145	28,974	30,389	30,400	-1,110	-1,130	0,040	-2,070
442,906	35,680	37,675	35,190	28,840	30,300	30,100	-1,110	-1,130	0,040	-2,070
443,745	35,680	37,630	35,145	28,840	29,899	29,900	-1,120	-1,130	0,030	-2,090
444,864	35,680	37,630	34,745	28,395	29,810	29,700	-1,130	-1,140	0,040	-2,100
445,980	35,680	37,630	34,745	28,484	29,810	29,700	-1,130	-1,140	0,030	-2,110
446,827	35,680	37,630	34,700	28,617	29,810	29,700	-1,130	-1,140	0,040	-2,100
447,671	35,680	37,630	34,566	28,573	30,166	29,800	-1,140	-1,140	0,030	-2,120
448,520	35,680	37,543	34,433	28,706	30,300	30,100	-1,130	-1,140	0,020	-2,120
449,359	35,591	37,412	34,388	28,840	30,656	30,400	-1,130	-1,140	0,030	-2,110
450,478	35,413	37,281	34,255	28,974	31,280	31,000	-1,120	-1,140	0,030	-2,100

Continuação da Tabela 7.2. Dados coletados na realização do Experimento 2 – 75:25

Tempo (h)	Temperatura 1 (°C)	Temperatura 2 (°C)	Temperatura 3 (°C)	Temperatura 4 (°C)	Temperatura 5 (°C)	Temperatura 6 (°C)	Perda de massa 1 (kg)	Perda de massa 2 (kg)	Perda de massa 3 (kg)	Perda de massa total (kg)
451,594	35,457	37,281	34,255	29,285	31,770	31,400	-1,120	-1,150	0,020	-2,120
452,433	35,368	37,237	34,299	29,285	32,260	31,800	-1,120	-1,150	0,020	-2,120
453,280	35,279	37,150	34,299	29,330	32,260	32,000	-1,120	-1,140	0,030	-2,100
454,121	35,368	37,150	34,433	29,330	32,483	32,200	-1,120	-1,150	0,020	-2,120
454,962	35,368	37,281	34,611	29,330	32,616	32,300	-1,120	-1,150	0,020	-2,120
455,801	35,457	37,237	34,700	29,330	32,438	32,200	-1,130	-1,150	0,020	-2,130
456,648	35,546	37,281	34,700	29,330	32,260	32,000	-1,130	-1,150	0,020	-2,130
457,489	35,680	37,499	34,700	29,330	32,037	31,800	-1,130	-1,150	0,020	-2,130
458,328	35,591	37,368	34,745	29,330	31,770	31,600	-1,130	-1,150	0,020	-2,130
459,447	35,635	37,412	34,745	29,330	31,458	31,400	-1,130	-1,150	0,010	-2,140
460,296	35,680	37,499	34,923	28,885	31,280	31,100	-1,130	-1,160	0,020	-2,140
461,135	35,635	37,543	34,745	28,840	30,790	30,800	-1,130	-1,160	0,010	-2,150
461,974	35,680	37,543	34,745	28,795	30,790	30,500	-1,130	-1,160	0,010	-2,150
463,093	35,413	37,325	34,700	28,350	30,300	30,200	-1,140	-1,170	0,010	-2,170
463,942	35,457	37,281	34,700	28,350	29,899	29,900	-1,140	-1,170	0,000	-2,180
464,789	35,235	37,237	34,655	28,216	29,723	29,600	-1,160	-1,170	0,010	-2,190
465,631	35,235	37,194	34,255	27,860	29,330	29,300	-1,140	-1,180	0,000	-2,190
466,478	35,190	37,194	34,210	27,860	28,929	29,000	-1,120	-1,180	0,000	-2,170
467,322	35,145	37,150	34,165	27,726	28,840	28,900	-1,120	-1,180	0,000	-2,170
468,161	35,056	37,105	33,854	27,548	28,706	28,700	-1,130	-1,180	0,000	-2,180
469,010	34,789	36,883	33,720	27,370	28,350	28,500	-1,130	-1,180	0,000	-2,180
469,849	34,700	36,660	33,676	27,370	28,350	28,400	-1,130	-1,180	0,000	-2,180
470,688	34,700	36,660	33,415	27,370	28,395	28,500	-1,130	-1,190	0,000	-2,190
471,807	34,522	36,437	33,240	27,415	28,795	28,700	-1,130	-1,190	-0,010	-2,200
472,656	34,210	36,170	33,195	27,370	29,107	29,000	-1,130	-1,190	0,000	-2,190
473,495	34,210	36,170	32,795	27,459	29,374	29,300	-1,130	-1,190	-0,010	-2,200
474,345	34,210	36,125	32,795	27,815	29,855	29,800	-1,130	-1,190	0,000	-2,190
475,184	33,943	35,947	32,750	27,860	30,478	30,100	-1,130	-1,190	-0,010	-2,200
476,303	33,765	35,680	32,750	27,860	30,790	30,500	-1,140	-1,190	-0,010	-2,210
477,422	33,720	35,680	32,795	28,127	31,280	30,900	-1,170	-1,190	-0,010	-2,240

Continuação da Tabela 7.2. Dados coletados na realização do Experimento 2 – 75:25

Tempo (h)	Temperatura 1 (°C)	Temperatura 2 (°C)	Temperatura 3 (°C)	Temperatura 4 (°C)	Temperatura 5 (°C)	Temperatura 6 (°C)	Perda de massa 1 (kg)	Perda de massa 2 (kg)	Perda de massa 3 (kg)	Perda de massa total (kg)
478,271	33,720	35,680	32,750	28,216	31,325	31,100	-1,180	-1,190	-0,020	-2,260
479,111	33,720	35,502	32,750	26,390	25,595	27,400	-1,140	-1,200	-0,010	-2,220
479,959	33,720	35,457	32,750	25,900	25,153	27,500	-1,140	-1,210	-0,010	-2,230

Fonte: Autoria propria (2025)