

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

Matheus Rodrigues Bueno

EFEITO DA MASSA DO LEITO NA BIOSSECAGEM PULSANTE DE BIOMASSA DE
LARANJA

São Carlos

2026

Matheus Rodrigues Bueno

EFEITO DA MASSA DO LEITO NA BIOSSECAGEM PULSANTE DE BIOMASSA DE
LARANJA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Departamento de Engenharia Química da
Universidade Federal de São Carlos para
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Química.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Dias Maia

São Carlos

2026

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

FOLHA DE APROVAÇÃO

Assinatura dos membros da comissão examinadora que avaliaram e aprovaram a Defesa de Trabalho de Conclusão de Curso da candidata Matheus Rodrigues Bueno, realizada em 07/07/2026:

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Dias Maia

DEQ - Universidade Federal de São Carlos

Professor da disciplina: Profa. Dra. Adriana Paula Ferreira Palhares

DEQ - Universidade Federal de São Carlos

Convidado: Prof. Dr. Diego Andrade Lemos

DEQ - Universidade Federal de São Carlos

DEDICATÓRIA

Dedico ao meu pai e minha mãe que sempre foram minha base e me deram força e condições de sempre seguir o caminho do estudo e do trabalho duro para atingir meus objetivos. Sem eles nada disso seria possível. Também dedico à minha irmã, meus amigos e familiares que também sempre me incentivaram a ser minha melhor versão.

AGRADECIMENTO

O tempo que passei em São Carlos foi uma das experiências mais enriquecedoras da minha vida. Conheci pessoas incríveis, enfrentei frustrações, sorri, sonhei e aprendi muito ao longo dessa trajetória. Após esses cinco anos de graduação, tornei-me uma pessoa mais madura, consciente, responsável e alegre. As experiências vividas e os conhecimentos adquiridos durante minha formação no Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de São Carlos são aprendizados e laços que levarei para toda a vida. Sou extremamente grato a todos os docentes, alunos e pessoas que passaram pela minha vida durante essa fase, pois foram esses momentos compartilhados e ensinamentos recebidos que contribuíram para a formação de quem sou hoje.

Sou profundamente grato, principalmente, aos meus pais, André e Cátia, por sempre me incentivarem a buscar meus objetivos independentemente das dificuldades, por me oferecerem alicerce para estudar e construir minha vida com base no conhecimento e em experiências maravilhosas. Sem o apoio deles, jamais teria sido possível chegar até aqui. Eles sempre foram, e sempre serão, o maior exemplo de que a educação é o caminho mais libertador que existe, e de que dedicação e trabalho duro são fundamentais para alcançar conquistas.

Agradeço também à minha irmã e aos meus familiares, por estarem ao meu lado mesmo nos momentos difíceis, por sempre se preocuparem com meu bem-estar e me incentivarem a seguir em frente e buscar ser uma pessoa melhor a cada dia.

Sou grato à minha namorada por ser meu porto seguro em momentos difíceis, trazer leveza e discernimento na minha vida e sempre me incentivar a evoluir com carinho e compaixão. Seu apoio foi essencial durante esta jornada.

Também sou muito grato a todos os meus amigos de infância, que sempre me incentivaram a correr atrás dos meus objetivos e que, mesmo à distância, nunca deixaram de comemorar minhas vitórias e compartilhar minhas angústias.

Sou especialmente grato aos amigos que conheci durante a faculdade, às pessoas que me acolheram, ajudaram e dividiram comigo tantos momentos bons e difíceis. Com eles, aprendi a levar a vida de forma mais leve, sem deixar de lado a responsabilidade. São amizades que espero levar para toda a vida, pois sem essas pessoas eu certamente não seria quem sou hoje.

Por fim, agradeço ao meu professor orientador Gustavo, pelo tempo dedicado a mim como professor, orientador de iniciação científica e orientador de trabalho de graduação. Saiba que sua contribuição foi essencial para meu desenvolvimento acadêmico e profissional.

RESUMO

A indústria citrícola, especialmente a de laranja, apresenta elevada relevância no cenário econômico mundial, com destaque para o Brasil, que liderou a produção global na safra 2024/2025, atingindo aproximadamente 13 milhões de toneladas, o que corresponde a cerca de 29% da produção mundial. Nesse contexto, evidencia-se uma importante oportunidade de aprimoramento no gerenciamento e na valorização de resíduos, uma vez que a produção de suco e derivados gera grandes quantidades de resíduos sólidos com elevado teor de umidade, intensificando a dependência de processos de secagem para armazenamento e aproveitamento desses subprodutos. Diante desse cenário, a biossecagem configura-se como uma alternativa promissora para a otimização desse processo. O presente estudo teve como objetivo analisar o efeito de diferentes massas de resíduos sólidos de laranja no leito sobre o desempenho da biossecagem intermitente com pulsos de ar periódicos, visando compreender a influência dessa variável na eficiência do processo. Os experimentos foram conduzidos em escala laboratorial, utilizando um biossecador de leito fixo, com três massas de resíduo (2, 4 e 6 kg) e três perfis de aeração (15 min/1 h, 15 min/3 h e 45 min/1 h), mantendo-se vazão de ar constante de 2,0 m³/h ao longo de 72 horas. Foram monitorados os perfis de temperatura e umidade durante o processo. Os resultados indicaram que leitos com maior massa apresentaram temperaturas médias mais elevadas, sugerindo maior atividade microbiana. Em relação à umidade, observou-se que o teor final foi influenciado pelo grau de contato entre o ar e a biomassa, com melhor desempenho associado a maiores tempos de aeração. Adicionalmente, verificou-se que a massa do leito impacta a distribuição do fluxo de ar, sendo observado bypass em leitos com menor massa e melhor percolação do ar em leitos com maior carga, o que contribuiu para o aumento da eficiência do processo.

Palavras-chave: laranja; valorização de resíduos; biossecagem; resíduos de laranja; aeração intermitente; massa.

ABSTRACT

The citrus industry, particularly orange production, plays a significant role in the global economy, with Brazil standing out as the leading producer in the 2024/2025 harvest, reaching approximately 13 million tons, corresponding to about 29% of the world's total production. In this context, there is a clear opportunity to improve the management and valorization of agro-industrial residues, since juice production generates large amounts of solid waste with high moisture content, increasing the dependence on drying processes for storage and utilization. Biodrying emerges as a promising alternative to optimize this process. This study aimed to evaluate the effect of different bed masses of orange residues on the performance of intermittent biodrying with periodic air pulses, in order to understand the influence of this variable on process efficiency. The experiments were carried out at laboratory scale using a fixed-bed biodryer, with three residue masses (2, 4, and 6 kg) and three aeration profiles (15 min/1 h, 15 min/3 h, and 45 min/1 h), maintaining a constant airflow rate of 2.0 m³/h over a period of 72 hours. Temperature and moisture profiles were monitored throughout the process. The results indicated that higher bed masses led to higher average temperatures, suggesting increased microbial activity. Regarding moisture, the final content was influenced by the degree of air–biomass contact, with better performance observed at longer aeration times. Additionally, bed mass affected airflow distribution, with airflow bypass occurring in lower mass beds and improved air percolation in higher mass beds, enhancing overall process efficiency.

Keywords: Orange; Waste valorization; Biodrying; Orange waste; Intermittent aeration; Mass.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Composição química típica de bagaço de cana.	19
Figura 2: Produção de laranja nos países do mundo na safra 2024/2025.....	21
Figura 3: Composição química aproximada da laranja.....	22
Figura 4: Esquema do sistema de biossecagem utilizado nos experimentos.....	43
Figura 5: Perfil de temperatura em função do tempo do Experimento 1, 2 e 3.	46
Figura 6: Perfil de temperatura em função do tempo do Experimento 4, 5 e 6.	47
Figura 7: Perfil de temperatura em função do tempo do Experimento 7, 8 e 9.	48
Figura 8: Variação de umidade ao longo do tempo do Experimento 1, 2 e 3.	49
Figura 9: Variação de umidade ao longo do tempo do Experimento 4, 5 e 6.	51
Figura 10: Variação de umidade ao longo do tempo do Experimento 7, 8 e 9.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Composição do bagaço de laranja em massa seca.....	23
Tabela 2: Configuração dos experimentos.....	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Al – Alumínio

BRSL - Biomassa de resíduos sólidos de laranja

C - Carbono

Ca – Cálcio

CaO – Óxido de cálcio

Cu – Cobre

FAO - *Food and Agriculture Organization*

Fe – Ferro

H - Hidrogênio

K – Potássio

K₂O – Óxido de potássio

LDC - Louis Dreyfus Company

MBT - Tratamento mecânico biológico

Mg – Magnésio

MgO – Óxido de magnésio

Mn – Manganês

N - Nitrogênio

Na – Sódio

Ni – Níquel

O - Oxigênio

P – Fósforo

P₂O₅ – Pentóxido de fósforo

RDF - *Refuse-Derived Fuel* (Combustível Derivado de Resíduos)

RSU - Resíduos sólidos urbanos

S - Enxofre

SiO₂ – Dióxido de silício

SRF - Combustível Sólido Recuperado

USDA - *United States Department of Agriculture* (Departamento da Agricultura dos Estados Unidos)

Zn – Zinco

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1. BIOMASSA	13
2.1.1. Participação da biomassa no mercado mundial	13
2.1.2. Composição elementar.....	14
2.1.3. Composição orgânica.....	15
2.1.4. Teor de cinzas e teor de água.....	16
2.1.5. Principais tipos de biomassa	16
2.1.5.1. Biomassa florestal	16
2.1.5.2. Resíduos urbanos	17
2.1.5.3. Cana de açúcar	18
2.1.5.4. Biomassa de grãos.....	19
2.1.5.5. Bagaço de laranja.....	20
2.2. SECAGEM CONVENCIONAL	24
2.2.1. Aspectos gerais	24
2.2.2. Secagem de resíduos.....	25
2.2.3. Técnicas de secagem.....	27
2.2.3.1. Secagem em leito fixo	27
2.2.3.2. Secagem em tambor rotativo.....	28
2.2.3.3. Túnel de secagem.....	29
2.2.3.4. Secagem pneumática.....	30
2.2.3.5. Secagem em leito fluidizado	31
2.3. PROCESSO DE BIOSSECAGEM.....	32
2.3.1. Contextualização.....	32
2.3.2. Biossecadores	33
2.3.3. Desafios da biossecagem em leito fixo	34
2.3.4. Vantagens e limitações	35
2.3.5. Aplicações.....	37
2.4. BIOSSECAGEM INTERMITENTE.....	37
2.4.1. Contextualização.....	37
2.4.2. Tipos de intermitência	38
2.4.3. Vantagens	39
2.5. MICROORGANISMOS NATIVOS NO BAGAÇO DE LARANJA	40
3. MATERIAIS E MÉTODOS	42
3.1. BIOMASSA E RESÍDUOS SÓLIDOS DE LARANJA	42
3.2. EQUIPAMENTO DE BIOSSECAGEM, OPERAÇÃO E OBTENÇÃO DE DADOS.....	42

3.3.	CONFIGURAÇÃO DE BIOSSECAGEM INTERMITENTE	44
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
4.1.	PERFIL DE TEMPERATURA	45
4.2.	PERFIL DE UMIDADE.....	49
5.	CONCLUSÃO	52
6.	REFERÊNCIAS.....	55
7.	APÊNDICE.....	61

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos principais players no mercado mundial de citricultura, o que torna esse setor um importante gerador de receita para o país. Nesse contexto, a indústria citrícola, especialmente a de laranja, apresenta elevada relevância no cenário econômico global. De acordo com o *United States Department of Agriculture* (USDA), o Brasil liderou a produção mundial de laranja na safra 2024/2025, sendo responsável por aproximadamente 29% da produção global. Ademais, o país se destaca pela expressiva participação na exportação de suco de laranja, com a atuação de grandes empresas do setor, como Citrosuco, Cutrale e Louis Dreyfus Company (LDC), movimentando mais de 3 milhões de dólares em receitas de exportação na safra 2024/2025 (CitrusBR, 2026).

Além da bonificação financeira advinda da produção de derivados de laranja, há também uma grande produção de resíduos associada ao seu processamento. Em 2018, a Organização das Nações Unidas para Alimentação (FAO) apontou a produção de aproximadamente 70 milhões de toneladas de laranja foram processadas no mundo e foram gerados desse processamento 14 milhões de toneladas de resíduos sólidos de laranja, o que corresponde a cerca de 20% da massa total processada (JIMÉNEZ-CASTRO, M. P. *et al.*, 2020).

Atualmente a maior parte dos resíduos sólidos de laranja tem como destino final a transformação em ração animal e queima (AMITSUHARA, A. T. *et al.*, 2023). No entanto, assim como outras formas de aproveitamento, requerem etapas prévias de secagem para a redução do teor de umidade do resíduo. Nesse contexto, observa-se que diversas técnicas de secagem convencionais envolvem transferência de energia intensa, podendo comprometer a qualidade do material. Portanto, a utilização de métodos de secagem mais brandos e sustentáveis, como a biossecagem, apresenta-se como uma alternativa promissora para esse tipo de aplicação (DENG, L. Z. *et al.*, 2020).

A biossecagem surgiu como uma alternativa eficiente e sustentável às secagens tradicionais, uma vez que utiliza o calor automático gerado pela ação microbiana para promover o aquecimento do meio, reduzindo a necessidade de métodos tradicionais de geração de calor que exigem fontes externas (TOM, A. P. *et al.*, 2016). Além disso, esse processo apresenta vantagens como menor consumo energético, versatilidade de aplicação em diferentes tipos de resíduos e redução ou ausência da geração de lixiviados (TOM, A. P. *et al.*, 2016).

Tais características evidenciam o potencial da biossecagem como uma tecnologia inovadora e eficiente para o tratamento de resíduos orgânicos.

Entretanto, apesar de suas vantagens, a biossecagem ainda apresenta limitações que dificultam sua aplicação em larga escala. Entre os principais desafios, destacam-se a não uniformidade dos perfis de temperatura e umidade no leito, a competição com processos de biodegradação, a formação de zonas heterogêneas no material e taxas de remoção de umidade ainda consideradas limitadas (TOM, A. P. *et al.*, 2016). Ainda assim, avanços recentes vêm sendo observados, especialmente com o uso de diferentes estratégias de aeração, como variação de fluxo de ar (PARK, J. *et al.*, 2021) e biossecagem intermitente (MAIA, G. D. *et al.*, 2023).

Nesse sentido, a biossecagem intermitente com pulsos de ar tem demonstrado melhor desempenho quando comparada à secagem convencional aplicada a resíduos de laranja, proporcionando maior redução de umidade em menor tempo de operação (MAIA, G. D. *et al.*, 2023). Além disso, ao uso de sistemas em leito fixo destaca-se por apresentar baixo custo de investimento e manutenção, tornando-se uma alternativa atrativa do ponto de vista operacional (SILVA, D. I. S. *et al.*, 2019).

Diante desse cenário, observa-se que a pesquisa na área de biossecagem encontra-se em expansão, com potencial significativo para contribuir ainda mais com a otimização de processos industriais que envolvem a secagem de biomassa.

O presente estudo tem como objetivo analisar a influência da massa de resíduos sólidos de laranja em leito sobre o desempenho da biossecagem intermitente com pulsos de ar periódicos, buscando avaliar o impacto dessa variável na eficiência do processo. Para isso, são realizados experimentos em escala laboratorial, utilizando um biossecador de leito fixo, com diferentes massas de resíduo (2, 4 e 6 kg) e distintos perfis de aeração (15 min/1 h, 15 min/3 h e 45 min/1 h), mantendo-se uma vazão de ar constante de 2,0 m³/h ao longo de 72 horas. Durante os ensaios, são monitorados os perfis de temperatura e umidade, a fim de caracterizar o comportamento do processo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. BIOMASSA

2.1.1. Participação da biomassa no mercado mundial

A biomassa tem se consolidado como um dos protagonistas da transição energética global. A bioenergia representa aproximadamente 55% de toda a energia renovável consumida

no mundo e mais de 6% da oferta energética global, evidenciando sua relevância frente a outras fontes renováveis (DINIZ, F. F. *et al.*, 2024).

O mercado internacional de biomassa energética, particularmente de produtos florestais energéticos, apresentou crescimento contínuo entre 2000 e 2020, com taxa média anual de aproximadamente 0,9%. Esse crescimento foi impulsionado, sobretudo, pelo aumento da demanda por fontes renováveis e pela necessidade de redução das emissões de gases de efeito estufa (DINIZ, F. F. *et al.*, 2024).

O Brasil, em especial, ocupa posição de destaque no mercado global de biomassa, justificado pela sua ampla disponibilidade de recursos naturais e elevada produção agroindustrial. O país apresenta uma matriz energética com forte participação de fontes renováveis, na qual a biomassa desempenha papel crucial, especialmente por meio de resíduos provenientes da cana-de-açúcar, que se justifica pelo amplo uso de etanol no país. Além disso, fatores como clima favorável, vasta extensão territorial e economia fortemente agrícola conferem ao Brasil uma vantagem competitiva significativa no cenário de biomassa internacional (AREIAS, A. A. *et al.*, 2020).

2.1.2. Composição elementar

A biomassa vegetal é composta predominantemente por carbono (C), hidrogênio (H) e oxigênio (O), com pequenas quantidades de nitrogênio (N) e enxofre (S) refletindo sua natureza lignocelulósica formada por celulose, hemicelulose e lignina. Esses materiais apresentam, em geral, teores de C na faixa de aproximadamente 40–50%, H entre 4–6% e uma elevada fração de O de 35–50%, enquanto N e S aparecem em concentrações reduzidas. Essa composição confere à biomassa características importantes do ponto de vista energético e ambiental: o alto teor de oxigênio reduz o poder calorífico em comparação com combustíveis fósseis, enquanto os baixos teores de nitrogênio e enxofre resultam em menores emissões de poluentes como NO_x e SO_x durante processos termoquímicos. Além disso, a proporção entre esses elementos está diretamente relacionada à estrutura dos biopolímeros (ONOKWAI, A. O. *et al.*, 2022). Ademais, é possível encontrar também os macronutrientes fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) (JENKINS, B. M. *et al.*, 1998) e micronutrientes como o ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu) e níquel (Ni) que desempenham papel importante tanto no metabolismo das plantas quanto no comportamento da biomassa em processos industriais (MAIA, G. D. *et al.*, 2023).

2.1.3. Composição orgânica

Assim como a maioria dos seres vivos pluricelulares, as plantas possuem carboidratos, proteínas e lipídios em suas composições. Esses compostos são extremamente importantes para o metabolismo e sobrevivência da planta, eles são responsáveis por compor seu organismo e garantir sua funcionalidade no dia a dia.

Os carboidratos são elementos essenciais que contêm em sua maior parte carbono, hidrogênio e oxigênio (CAI, J. *et al.*, 2017). Ademais, essas moléculas formam os monossacarídeos, dissacarídeos, oligossacarídeos e polissacarídeos (todos com características específicas e importantes para o bem estar do vegetal). Como exemplo é possível destacar o dissacarídeo sacarose que é primordial para o bom funcionamento do metabolismo vegetal.

Além disso, carboidratos são os principais responsáveis por proporcionar reserva de energia e funções estruturais no sistema vegetal. Do ponto de vista estrutural é relevante apontar que os carboidratos são os principais componentes da biomassa lignocelulósica, responsável por estruturar o vegetal por meio da celulose e da hemicelulose (CAI, J. *et al.*, 2017). Já do ponto de vista energético, os carboidratos são os responsáveis por gerar energia para o organismo durante sua vida e após a sua morte é a principal fonte de biomassa para degradação microbiana no processo de biossecagem.

Além de carboidratos os vegetais também detêm a presença de proteínas, as quais assim como os carboidratos estão presentes na celulose, hemicelulose e lignina dos organismos. O teor de proteína pode variar entre cerca de 3,3% e 15% em biomassa geral, mas possui exceções como a biomassa de girassol ou soja que possuem frações de proteína maiores (SRIVASTAVA, N. *et al.*, 2021). Essas macromoléculas são formadas por cadeias de aminoácidos unidas por ligações peptídicas, desempenhando papel importante nos processos biológicos associados à biomassa (SRIVASTAVA, N. *et al.*, 2021). Além disso, durante a degradação, as proteínas podem ser hidrolisadas por enzimas específicas, como proteases e peptidases, liberando aminoácidos que podem ser utilizados por microorganismos.

Por fim, o outro grupo de macromoléculas relevantes para se destacar nos organismos vegetais são os lipídios, os quais aparecem em menores quantidades quando se comparados aos carboidratos e proteínas. Em biomassa os lipídios se apresentam principalmente no formato de gorduras, ceras e resinas, presentes em paredes celulares e superfícies externas (WANG, Y. *et al.*, 2024). Já do ponto de vista funcional, os lipídios atuam como reserva energética e proteção estrutural além de contribuírem para estabilidade da biomassa e resistência à degradação.

2.1.4. Teor de cinzas e teor de água

O teor de umidade e de cinzas são parâmetros fundamentais na caracterização de biomassas, uma vez que esses parâmetros influenciam diretamente na eficiência de processos térmicos e biológicos, como a biossecagem. Elevados teores de umidade reduzem o poder calorífico do material, enquanto o conteúdo de cinzas, associadas à presença de minerais, podem impactar o desempenho operacional e na geração de resíduos sólidos (JENKINS *et al.*, 1998; VASSILEV, S. V. *et al.*, 2010).

As cinzas de biomassa são compostas predominantemente por óxidos e sais minerais, como principalmente compostos de silício (SiO_2), cálcio (CaO), potássio (K_2O), magnésio (MgO), fósforo (P_2O_5), além de traços de ferro (Fe), alumínio (Al) e sódio (Na), cuja composição varia extremamente conforme a origem da biomassa (VASSILEV, S. V. *et al.*, 2013).

Em relação ao teor de umidade, biomassas lignocelulósicas in natura normalmente apresentam valores elevados, tipicamente entre 30% e 60% em base úmida, podendo atingir valores ainda maiores dependendo do tipo de resíduo e das condições de armazenamento (DEMIRBAS, 2004; ONOKWAI *et al.*, 2022). Dessa forma, a redução da umidade por meio de processos de secagem torna-se etapa extremamente relevante para melhorar o desempenho energético e a estabilidade do material para armazenamento ou processamento.

2.1.5. Principais tipos de biomassa

2.1.5.1. Biomassa florestal

A biomassa florestal tem se destacado como uma alternativa relevante aos combustíveis fósseis devido à sua ampla disponibilidade e potencial de redução de emissões de gases de efeito estufa. Sua utilização pode contribuir significativamente para mitigar mudanças climáticas, uma vez que o carbono emitido durante sua queima tende a ser compensado pelo carbono absorvido no crescimento das plantas, caracterizando um ciclo quase neutro (YU, Q. *et al.*, 2025) (SAHOO, G. *et al.*, 2022). Além disso, a biomassa pode ser convertida em diferentes formas de energia, como calor, eletricidade e biocombustíveis, por meio de processos termoquímicos (combustão, gaseificação, pirólise) e bioquímicos, ampliando sua versatilidade energética (YU, Q. *et al.*, 2025).

Entretanto, apesar das vantagens ambientais, existem desafios técnicos e econômicos associados ao uso da biomassa florestal. A baixa densidade energética, dificuldades logísticas (transporte e armazenamento) e limitações na eficiência de conversão são apontadas como obstáculos relevantes (YU, Q. *et al.*, 2025). Estratégias como a co-combustão com carvão e a

pelletização têm sido propostas para melhorar o desempenho energético e reduzir emissões, além de facilitar o manuseio do material (YU, Q. *et al.*, 2025). Por outro lado, o uso intensivo de biomassa também levanta preocupações quanto à sustentabilidade dos ecossistemas florestais, incluindo impactos na biodiversidade, no solo e na disponibilidade de recursos naturais (SAHOO, G. *et al.*, 2022).

A biomassa florestal desempenha um papel estratégico na transição para uma economia de baixo carbono, especialmente quando integrada a políticas de gestão sustentável de recursos naturais. No entanto, seu potencial depende de uma abordagem equilibrada entre demanda energética, uso da terra e conservação ambiental, sendo necessária a aplicação de ferramentas avançadas de avaliação, como análise de ciclo de vida, para garantir sua viabilidade a longo prazo (YU, Q. *et al.*, 2025; SAHOO, G. *et al.*, 2022).

2.1.5.2. Resíduos urbanos

A crescente geração de resíduos sólidos urbanos tem impulsionado o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis voltadas ao seu tratamento e à valorização energética. Nesse contexto, a biomassa presente nesses resíduos destaca-se como uma fonte relevante de energia e insumos, devido à sua composição rica em matéria biodegradável (XU, M. *et al.*, 2024). Essa biomassa corresponde principalmente à fração orgânica dos resíduos sólidos municipais, incluindo restos alimentares, resíduos de jardinagem, papel, madeira e outros materiais biodegradáveis, sendo caracterizada por alta umidade, heterogeneidade e elevada carga orgânica (XU, M. *et al.*, 2024). Tal composição confere a essa fração um significativo potencial de aproveitamento energético e material, uma vez que contém compostos como celulose, hemicelulose, lignina, proteínas e lipídios, passíveis de conversão em energia, biocombustíveis e insumos agrícolas (XU, M. *et al.*, 2024). Além disso, sua ampla disponibilidade e geração contínua nas áreas urbanas tornam essa fonte estratégica no contexto da gestão sustentável de resíduos.

Contudo, desafios como a variabilidade na composição, a presença de contaminantes e os altos teores de umidade exigem o emprego de tecnologias adequadas para garantir eficiência e segurança no seu aproveitamento. Nesse sentido, processos como o tratamento mecânico-biológico (MBT) permitem integrar etapas físicas e biológicas para transformar resíduos em produtos úteis, contribuindo para a redução da disposição em aterros e mitigação de impactos ambientais (VELIS, C. A. *et al.*, 2009). Ademais, tecnologias complementares, como a biossecagem, auxiliam na redução da umidade, na estabilização parcial da matéria orgânica e

na concentração do conteúdo energético, tornando essa biomassa mais adequada para aplicações energéticas (VELIS, C. A. *et al.*, 2009).

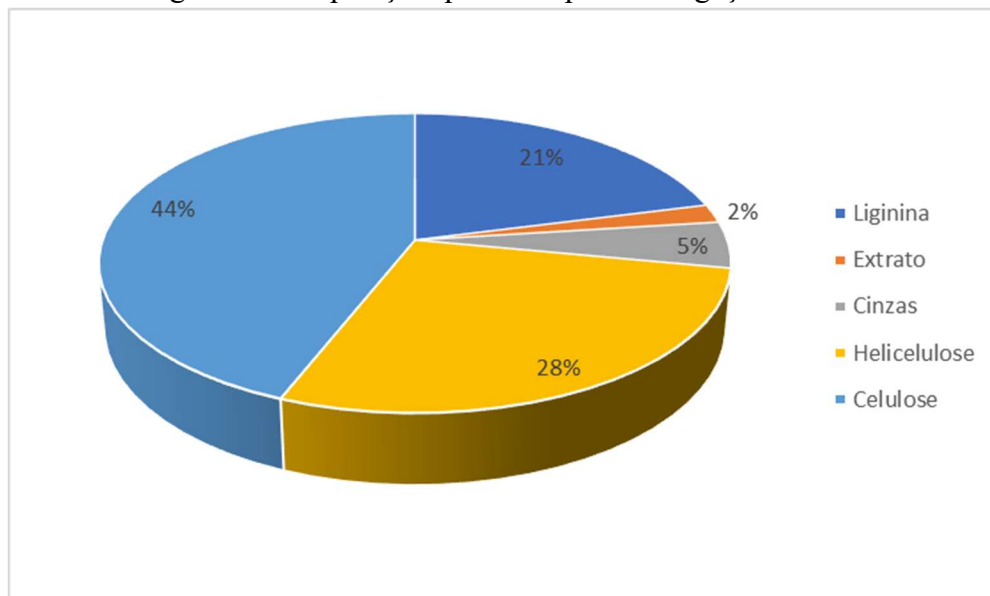
A valorização da biomassa de resíduos urbanos está diretamente alinhada aos princípios da economia circular, ao possibilitar a conversão de resíduos em produtos de maior valor agregado, como biocombustíveis e fertilizantes. No entanto, a eficiência desses processos depende de fatores como composição dos resíduos, teor de umidade, taxa de aeração e condições operacionais, que influenciam diretamente a atividade microbiana e o desempenho do sistema (XU, M. *et al.*, 2024). Dessa forma, o avanço tecnológico e a otimização desses processos são essenciais para ampliar a utilização sustentável da biomassa urbana.

2.1.5.3. Cana de açúcar

A crescente demanda por energia e a necessidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa vem gerando busca por meios de energia mais sustentáveis. A partir disso o bagaço de cana-de-açúcar, uma biomassa lignocelulósica, destaca-se como um recurso promissor devido à sua ampla disponibilidade e elevado potencial energético. Segundo a FAO, o Brasil tem sido o maior produtor de cana de açúcar do mundo com uma produção de aproximadamente 759 milhões de toneladas em 2024 (FAO.,2026).

O bagaço é um subproduto gerado em grande escala pela indústria sucroalcooleira, segundo a EMBRAPA esse bagaço corresponde em média 280kg por tonelada de cana processada, entretanto esse valor pode variar devido pois está ligado a diretamente à quantidade de fibras que a o vegetal possui (EMBRAPA., 2025). Além disso, o bagaço é constituído majoritariamente por celulose, hemicelulose e lignina, o que o torna adequado para a produção de diferentes formas de bioenergia, como bioeletricidade, bioetanol e biogás (AJALA, E. O. *et al.*, 2021). Sua composição química é apresentada na Figura 1.

Figura 1: Composição química típica de bagaço de cana.



Fonte: Baseado em Karp, S. G. *et al.*, 2013.

Do ponto de vista tecnológico, diversos processos têm sido desenvolvidos para maximizar o aproveitamento energético do bagaço, incluindo a cogeração em usinas, a produção de etanol de segunda geração e a digestão anaeróbia. Entretanto, a conversão eficiente dessa biomassa ainda enfrenta desafios relevantes, como sua estrutura recalcitrante e o alto teor de umidade, que dificultam etapas como hidrólise e combustão (OJO-KUPOLUYI, O. *et al.*, 2024). Dessa forma, técnicas de pré-tratamento, como secagem e biossecagem, tornam-se essenciais para aumentar a acessibilidade dos polissacarídeos e melhorar os rendimentos dos processos de conversão.

Adicionalmente, o uso do bagaço de cana-de-açúcar insere-se no conceito de biorrefinaria e economia circular, permitindo a produção integrada de energia, biocombustíveis e materiais de valor agregado. Ademais, além de sua aplicação energética, essa biomassa pode ser utilizada na produção de compósitos, adsorventes e insumos industriais, ampliando sua relevância econômica e ambiental (AJALA, E. O. *et al.*, 2021). Portanto, o aproveitamento do bagaço de cana configura-se como uma estratégia fundamental para o desenvolvimento sustentável, principalmente em países com intensa produção sucroenergética, como o Brasil.

2.1.5.4. Biomassa de grãos

Os grãos desempenham um papel fundamental na alimentação mundial, sendo responsáveis por uma parcela significativa da alimentação humana e animal. Cereais, leguminosas e oleaginosas são importantes fontes de nutrientes essenciais para os seres vivos,

como carboidratos, proteínas, lipídios, vitaminas e minerais, além disso, apresentam grande relevância econômica e social em diversos países (KABIRU AYOBAMI JIMOH *et al.*, 2023). Ademais, os principais grãos produzidos no planeta são o milho, a soja, o trigo e o arroz. Além do uso para alimentação, diversos grãos são fontes de uso para outras produções industriais, como etanol feito a partir do milho principalmente nos Estados Unidos.

Nesse contexto, o processamento adequado desses materiais torna-se indispensável para garantir sua qualidade, segurança alimentar e disponibilidade ao longo do ano, principalmente levando em consideração que diversos grãos detêm teores de umidade consideráveis, o que os torna suscetíveis à deterioração microbiológica e perdas pós-colheita.

A secagem de grãos destaca-se como uma das principais etapas do processamento pós-colheita, sendo responsável pela redução do teor de umidade para armazenamento e comercialização. Esse processo envolve fenômenos complexos de transferência de calor e massa, que influenciam diretamente a qualidade final do produto, como textura, valor nutricional e integridade física (KABIRU AYOBAMI JIMOH *et al.*, 2023). Além disso, diferentes tecnologias de secagem têm sido desenvolvidas e aprimoradas, incluindo sistemas convencionais e híbridos, com o objetivo de aumentar a eficiência do processo, reduzir o tempo de operação e minimizar perdas do ponto de vista de qualidade do grão. O uso de secadores alimentados por biomassa também tem se destacado como uma alternativa viável, especialmente em regiões com acesso limitado à energia elétrica, contribuindo para a sustentabilidade do processo (KUMAR, D. *et al.*, 2022).

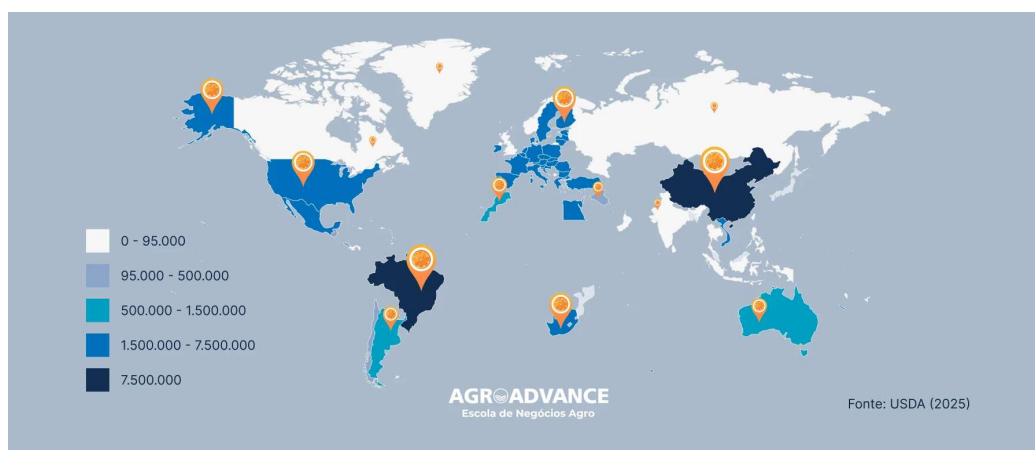
Entretanto, a secagem de grãos é uma operação altamente intensiva em energia, representando uma parcela significativa do consumo energético na indústria de processamento agrícola. Portanto, a otimização do consumo energético e a adoção de tecnologias mais eficientes são fundamentais para reduzir custos operacionais e impactos ambientais (MONDAL, MD. H. T. *et al.*, 2024). A partir disso, estratégias como o uso de pré-tratamentos, sistemas híbridos e análise energética avançada vêm sendo exploradas para melhorar a eficiência dos secadores, garantindo simultaneamente a qualidade do produto e a sustentabilidade ambiental.

2.1.5.5. Bagaço de laranja

A laranja é o principal cítrico produzido no mundo, segundo o Departamento Americano de Agricultura (USDA, 2025), a produção de laranja na safra 2024/2025 foi estimada em aproximadamente 45,2 milhões de toneladas de fruto. As duas principais formas de consumo se encontram in natura ou industrial. Além disso, o Brasil, o qual um dos maiores

produtores de laranja do mundo como elucidado na Figura 2, apresenta uma expressiva participação na exportação de suco de laranja, com a atuação de grandes empresas, como Citrosuco, Cutrale e Louis Dreyfus Company (LDC), movimentando mais de 3 milhões de dólares em receitas de exportação na safra 2024/2025 (CitrusBR, 2026).

Figura 2: Produção de laranja nos países do mundo na safra 2024/2025.



Fonte: Agroadvance.

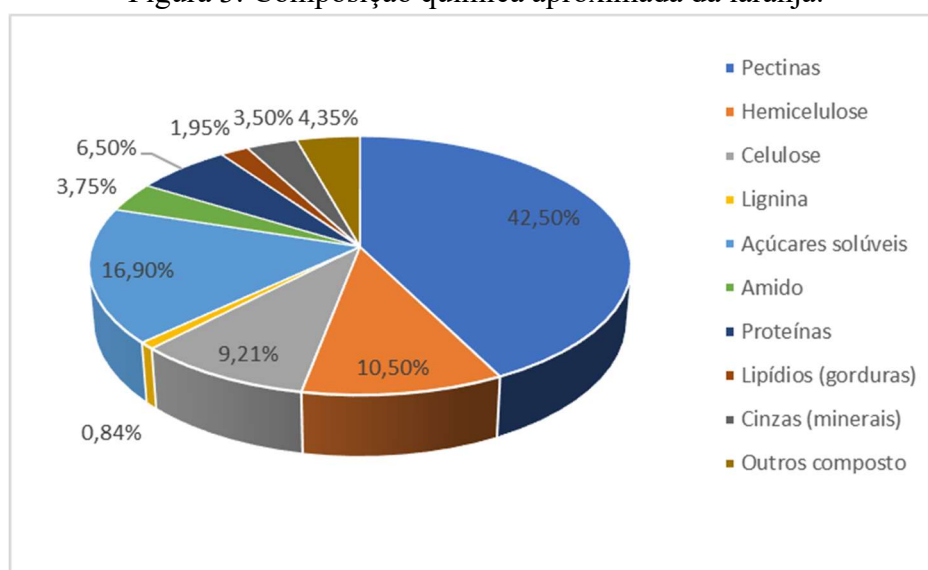
Além do retorno econômico proporcionado pela produção de derivados da laranja, o processamento industrial dessa fruta também gera uma quantidade expressiva de resíduos. Segundo dados da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), em 2018 foram processadas aproximadamente 70 milhões de toneladas de laranja no mundo. Desse volume, cerca de 14 milhões de toneladas corresponderam a resíduos sólidos provenientes do processamento, representando aproximadamente 20% da massa total processada (JIMÉNEZ-CASTRO, M. P. *et al.*, 2020).

A laranja apresenta elevado valor nutricional, sendo reconhecida como uma importante fonte de nutrientes essenciais à saúde humana. Destaca-se principalmente pelo alto teor de vitamina C, considerada um potente antioxidante presente na neutralização de radicais livres e na prevenção de diversas doenças, além de contribuir para o sistema imunológico (LIU, S. *et al.*, 2022). Ademais, este fruto contém vitaminas lipossolúveis, como a vitamina A, e vitamina E, bem como vitaminas do complexo B. A composição da laranja também inclui fibras alimentares, especialmente pectinas, que auxiliam na saúde intestinal e no controle glicêmico, além de compostos fenólicos e flavonoides, como hesperidina e naringenina, associados a propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias (LIU, S. *et al.*, 2022). A presença de

carotenóides contribui para a coloração característica do fruto e também para benefícios à saúde, como proteção ocular e ação preventiva contra doenças crônicas (LIU, S. *et al.*, 2022).

O fruto é composto majoritariamente por carboidratos estruturais, com destaque para as pectinas, que representam a maior fração. Além disso, há presença significativa de polissacarídeos estruturais (celulose e hemicelulose), o que caracteriza o material como lignocelulósico. Os açúcares simples (glicose, frutose e sacarose) também aparecem em quantidades relevantes, reforçando o potencial da biomassa para processos biotecnológicos (RIVAS, B. *et al.*, 2008). Tal composição química é apresentada na Figura 3.

Figura 3: Composição química aproximada da laranja.



Fonte: Baseado em RIVAS, B. *et al.*, 2008.

Já o bagaço de laranja, gerado após o processamento industrial, apresenta elevado teor de celulose, hemicelulose e extrativos, configurando-se como biomassa de alto potencial para aplicações energéticas e industriais (MITSUHARA, A. T. *et al.*, 2023). O resíduo in natura, logo após a extração do suco, possui um teor de umidade inicial de aproximadamente 86,18%, evidenciando que se trata de uma biomassa com elevada carga de água antes do processo de secagem (MITSUHARA, A. T. *et al.*, 2023). A composição do bagaço de laranja em base seca é evidenciada na Tabela 1.

Tabela 1 Composição do bagaço de laranja em massa seca.

Composição	Massa seca (g/100g)
Extrativos por solvente	37,3±3,7 (Água destilada)
	19,3±0,9 (Álcool etílico)
	1,5±0,5 (Éter etílico)
Umidade	12,3±0,9
Cinzas	2,9±0,2
Lignina	2,9±0,5
Holocelulose	33,1±2,0
Celulose	38,5±1,5
Hemicelulose	24,0±2,0

Fonte: Adaptado de MITSUHARA, A. T. *et al.*, 2023.

Portanto, o bagaço de laranja, resíduo gerado principalmente pela indústria de sucos amplamente presente no mercado brasileiro, tem despertado crescente interesse científico devido ao seu elevado potencial de aproveitamento industrial e ambiental. Como visto, esse material é rico em fibras alimentares, pectina, compostos fenólicos, açúcares residuais e óleos essenciais, o que possibilita sua aplicação em diferentes setores da economia. Na indústria alimentícia, o bagaço pode ser utilizado como fonte de fibras funcionais, ingrediente para formulações enriquecidas e matéria-prima para extração de pectina. Já no setor farmacêutico e cosmético, destaca-se pela presença de antioxidantes naturais e compostos bioativos. Além disso, estudos recentes apontam seu uso promissor na produção de biogás, bioetanol, adsorventes ambientais, embalagens biodegradáveis e outros bioprodutos, inserindo esse resíduo no contexto da economia circular e da valorização de resíduos agroindustriais (LI *et al.*, 2023). Contudo, para utilização e valorização desse subproduto é necessário processos de secagem, processo custoso do ponto de vista financeiro e ambiental por conta da necessidade de utilização de combustíveis para aquecimento de leitos. Nesse contexto a biossecagem apresenta-se como uma alternativa em processo de estudo para valorização desse composto de forma mais amigável ambientalmente e financeiramente.

2.2. SECAGEM CONVENCIONAL

2.2.1. Aspectos gerais

O processo de secagem representa uma das operações unitárias mais importantes no setor agroindustrial, sendo fundamental para a conservação de grãos, biomassa e diversos produtos agrícolas. A remoção minuciosa da umidade reduz a atividade microbiológica, minimiza perdas pós-colheita e aumenta a vida útil dos produtos armazenados, evitando desta forma o apodrecimento rápido de muitos produtos orgânicos. Em grãos recém-colhidos, por exemplo, o teor de umidade pode variar entre 20 e 36%, sendo necessária sua redução para níveis inferiores a 15% para garantir armazenamento seguro e manutenção da qualidade (KABIRU AYOBAMI JIMOH *et al.*, 2023).

Além da conservação, a secagem influencia diretamente a qualidade final do material. Processos mal conduzidos dessa operação unitária podem provocar secagem desigual, endurecimento superficial, rachaduras, escurecimento levando a perda de qualidade do produto e consequentemente à perdas no ponto de vista financeiro. Em materiais alimentícios, temperaturas excessivas também podem degradar nutrientes sensíveis ao calor, como vitaminas, antioxidantes e proteínas (YU, P. *et al.*, 2025). Por conta deste fato, o controle adequado das condições operacionais, como temperatura, tempo e fluxo de ar ou tempo de residência, são indispensáveis para preservar características nutricionais, sensoriais e estruturais do produto (YU, P. *et al.*, 2025). Além disso, a secagem também possui grande relevância econômica e energética. Materiais com elevada umidade apresentam maiores custos logísticos, menor eficiência térmica em processos subsequentes e maiores dificuldades de manuseio (YU, P. *et al.*, 2025).

Além do setor alimentício e orgânico, a secagem também é implementada em processos químicos, como na remoção de água ou solvente de compostos sólidos, e processos de mineração, como a secagem de minérios pós lavagem e tratamento. Ambos os ramos industriais também apresentam uma dependência direta desse processo para manter a funcionalidade de suas produções. Portanto, essa operação unitária está presente em diversos processos industriais e é vital para o desenvolvimento de diversos produtos do mundo contemporâneo, entretanto ela possui uma maior importância na indústria alimentícia por conta da sua ampla utilização em armazenamento, conservação e valorização de produtos.

Apesar do amplo uso dessa operação unitária em diversas indústrias, a secagem apresenta diversos desafios operacionais e tecnológicos que comprometem sua eficiência e dificultam atingir a melhor qualidade final do produto. Entre os principais desafios destaca-se

o elevado consumo de energia, uma vez que a evaporação de compostos líquidos (em sua maioria das vezes água) demanda significativa quantidade de calor, tornando essa operação um dos processos com mais gasto energético na indústria e impactando diretamente os custos operacionais e consumo de combustíveis fósseis (YU, P. *et al.*, 2025). Além disso, é comum a ocorrência de secagem não uniforme, especialmente em sistemas de leito fixo, onde surgem gradientes de temperatura e umidade que fazem com que determinadas regiões do material sequem mais rapidamente que outras, dificultando o controle do processo e exigindo maiores tempos de operação e até mesmo deteriorando parte do produto (YU, P. *et al.*, 2025). Outro problema relevante é a complexidade dos fenômenos simultâneos de transferência de calor e massa, uma vez que a taxa de secagem depende de variáveis como tamanho de partícula, porosidade, umidade inicial, temperatura e velocidade do ar, quando utilizado (YU, P. *et al.*, 2025).

2.2.2. Secagem de resíduos

A utilização de resíduos em processos de secagem tem se destacado cada vez mais como uma estratégia para valorização de subprodutos agroindustriais e resíduos sólidos urbanos, reduzindo impactos ambientais e permitindo o reaproveitamento do ponto de vista energético, produtivo e financeiro desses materiais. Nesse contexto, a secagem surge como operação unitária essencial para reduzir a umidade, aumentar a estabilidade do material e elevar seu potencial de aproveitamento posterior (EL-MESERY, H. S. *et al.*, 2022).

Diversos resíduos apresentam características muito diversas entre si, contendo peculiaridades à depender de onde e como foram originados. Por conta deste fato as características do resíduo influenciam diretamente no processo de secagem e de valorização desse composto. Portanto, conhecer quais resíduos são utilizados torna-se crucial para o processo, uma vez que cada tipo apresenta características próprias de origem e propriedades físicas, químicas e biológicas específicas, que influenciam diretamente no perfil da secagem e na qualidade do produto. Essa heterogeneidade pode impactar parâmetros como teor de umidade, granulometria, presença de matéria orgânica, estabilidade térmica e potencial de degradação, tornando pouco viável a adoção de um único método de secagem para vários casos (CARVALHO, M. S. L. *et al.*, 2006) (MOHAMMED, M. *et al.*, 2017).

O teor de umidade inicial é um dos fatores mais relevantes, pois resíduos excessivamente úmidos demandam maior consumo energético e maior tempo de processo. Em sistemas de biossecagem, por exemplo, a umidade também influencia a atividade microbiana: valores muito altos reduzem a porosidade e dificultam a passagem de oxigênio, favorecendo

condições anaeróbias, enquanto valores muito baixos limitam a biodegradação e a geração de calor biológico (MOHAMMED, M. *et al.*,2017).

Ademais, outro aspecto importante é a estrutura física do resíduo, como granulometria, densidade aparente, porosidade e permeabilidade do leito. Materiais compactos ou de partículas que tendem a dificultar a circulação de ar no leito comumente levam à secagem não uniforme. Já resíduos fibrosos ou estruturados favorecem a formação de vazios internos e melhor distribuição do fluxo gasoso. Por esse motivo, muitos processos utilizam agentes estruturantes (conhecidos como *bulking agents*), como serragem ou palha, para estruturar o leito e melhorar a aeração, reduzir lixiviados e promover uma melhor remoção de umidade (MOHAMMED, M. *et al.*,2017).

Do ponto de vista químico, a composição orgânica do resíduo também influencia a secagem. Materiais ricos em açúcares, amidos ou matéria orgânica biodegradável tendem a apresentar maior potencial para biossecagem, pois microrganismos convertem parte dessa fração em calor metabólico. Em contrapartida, resíduos com alto teor mineral ou baixa biodegradabilidade apresentam menor geração interna de calor, exigindo maior suporte térmico externo. Além disso, a composição química impacta o destino final do material seco, especialmente quando se busca produção de combustível derivado de resíduos, uma vez que nesses casos o poder calorífico e teor de cinzas são parâmetros relevantes (MOHAMMED, M. *et al.*,2017).

Ao considerar os métodos de secagem, diferentes tecnologias podem ser aplicadas conforme a natureza do resíduo e o objetivo do processo. A secagem convectiva por ar quente é uma das mais tradicionais, sendo amplamente utilizada por sua simplicidade operacional, embora apresente maior tempo de secagem e menor eficiência térmica. Tecnologias híbridas, como infravermelho combinado com ar quente, reduzem o tempo de processo e melhoram a eficiência energética. Já sistemas assistidos por micro-ondas promovem aquecimento volumétrico interno, acelerando a remoção de água e reduzindo gradientes de temperatura, sendo promissores para resíduos alimentares de alta umidade (EL-MESERY, H. S. *et al.*, 2022).

Portanto, verifica-se que não existe um único método ideal para todos os resíduos. A escolha da técnica de secagem deve considerar tanto o teor de umidade, quanto a granulometria, a porosidade, a biodegradabilidade, a composição química, o custo energético e a finalidade do produto seco. Dessa forma, a escolha das técnicas e equipamentos mais adequados depende da natureza específica do resíduo, dos objetivos pretendidos e dos custos operacionais envolvidos. Nesse contexto, torna-se fundamental avaliar não apenas a eficiência térmica e energética dos

equipamentos utilizados para determinação de parâmetros operacionais, mas também as particularidades de cada resíduo tratado (CARVALHO, M. S. L. *et al.*, 2006).

2.2.3. Técnicas de secagem

A crescente demanda por processos mais eficientes e sustentáveis na valorização de resíduos, minérios e outros processos que exigem secagem tem impulsionado o desenvolvimento e a aplicação de diferentes técnicas de secagem.

Diante disso, diferentes métodos e equipamentos de secagem têm sido estudados e aplicados com o objetivo de otimizar o consumo energético, reduzir custos operacionais e preservar a qualidade dos materiais. Técnicas convencionais, como secagem em tambor rotativo, túnel de secagem, secagem pneumática e secagem em leito fluidizado são implementadas nos mais diversos ramos industriais, sempre buscando uma melhor eficiência no processo que exige tal operação unitária. Nesse sentido, a escolha do método de secagem adequado depende de fatores como o tipo de material, sua composição, teor inicial de umidade e finalidade de uso.

Assim, compreender os princípios e as particularidades de cada técnica de secagem é essencial para a seleção de processos mais eficientes e alinhados aos objetivos finais de cada processo de secagem.

2.2.3.1. Secagem em leito fixo

A secagem em leito fixo é uma operação unitária amplamente utilizada em diversos setores industriais, como os segmentos químico, alimentício, farmacêutico e de processamento de grãos, devido à sua simplicidade operacional e capacidade de preservar as características físicas dos materiais. Nesse processo, partículas sólidas úmidas são dispostas em um leito estacionário, enquanto uma corrente de ar aquecido escoar através do meio poroso, promovendo a transferência simultânea de calor e massa. O ar fornece energia térmica ao sólido, permitindo a evaporação da umidade, que é então removida pelo fluxo gasoso (GENARO, L. B. *et al.*, 2022). A principal vantagem desse tipo de secagem é a baixa ocorrência de atrito mecânico entre partículas, o que o torna a forma de secagem mais adequada para materiais mais sensíveis. Ademais, essa forma de secagem é comum em operações em batelada e em menor escala devido à sua maior facilidade de implementação.

Contudo, a secagem em leito fixo apresenta limitações consideráveis, especialmente relacionadas à formação de gradientes de temperatura e umidade ao longo do leito. Essas formações de gradientes dificultam o controle uniforme do processo e podem comprometer a

qualidade final do produto, além do fato de muitas vezes impactar a eficiência da transferência de calor e massa (GENARO, L. B. *et al.*, 2022). Apesar disso, visando contornar esse problema, diferentes estratégias têm sido estudadas, como a inversão periódica do fluxo de ar, que contribui para a redução desses gradientes ao redistribuir as zonas de secagem ao longo do leito. No entanto, essa técnica pode aumentar o tempo total de secagem e o consumo energético, evidenciando a necessidade de otimização das condições operacionais (GENARO, L. B. *et al.*, 2022).

Além dos aspectos operacionais, a modelagem matemática desempenha um papel fundamental na compreensão e otimização da secagem em leito fixo. Modelos como os logarítmicos, de equilíbrio e, principalmente, os modelos de duas fases permitem descrever os fenômenos de transferência de calor e massa ao longo do leito, considerando variáveis como temperatura, umidade e posição axial. Esses modelos são essenciais para prever o comportamento do sistema, auxiliar no dimensionamento de equipamentos e contribuir para o desenvolvimento de processos mais eficientes e energeticamente viáveis (SOUZA, G. F. M. V. *et al.*, 2015) (GENARO, L. B. *et al.*, 2022).

Portanto, a secagem em leito fixo permanece como uma tecnologia ainda com margem de crescimento e opções de estudo, especialmente quando aliada a estratégias de otimização e ferramentas de modelagem avançadas.

2.2.3.2. Secagem em tambor rotativo

A secagem em tambor rotativo é uma das tecnologias mais consolidadas e amplamente utilizadas no processamento de sólidos particulados, especialmente em setores como o agrícola, químico, de mineração e de biomassa. Esse tipo de secador consiste basicamente em um cilindro rotativo levemente inclinado, no qual o material úmido é alimentado em uma extremidade e deslocado ao longo do tambor até a saída, enquanto entra em contato com uma corrente de ar aquecido que promove a remoção de umidade. Dependendo da configuração, o processo pode ocorrer em regime concorrente ou contracorrente, sendo a transferência de calor predominantemente convectiva em secadores diretos (DELELE, M. A. *et al.*, 2014).

Além disso, um dos principais diferenciais da secagem em tambor rotativo é a presença de aletas internas, responsáveis por elevar e dispersar o material no interior do tambor, formando uma “cortina de partículas” que aumenta significativamente a área de contato entre o sólido e o ar de secagem (DELELE, M. A. *et al.*, 2014). O escoamento do material no interior do secador é caracterizado por uma combinação de movimentos, incluindo cascata, deslizamento e rolamento, os quais dependem das propriedades do material, do projeto do

equipamento e das condições operacionais (DELELE, M. A. *et al.*, 2014). Esses fenômenos tornam o processo altamente complexo, envolvendo transferência simultânea de calor, massa e momento, o que justifica o uso frequente de modelos matemáticos para sua descrição e otimização.

Do ponto de vista operacional, os secadores rotativos apresentam gama de aplicações, sendo capazes de processar materiais com ampla variação de propriedades físicas, teor de umidade e granulometria, incluindo grãos, biomassa, resíduos agrícolas e subprodutos industriais (DELELE, M. A. *et al.*, 2014). Entre suas principais vantagens destacam-se a robustez, a capacidade de operação contínua, a boa homogeneidade do produto final e a alta taxa de secagem. Contudo, também apresentam limitações, como elevado custo de capital e consumo energético relativamente alto (DELELE, M. A. *et al.*, 2014). Ainda assim, devido à eficiência na transferência de calor e à flexibilidade operacional, esses equipamentos podem apresentar menores custos operacionais quando comparados a outras tecnologias, especialmente quando utilizados adequadamente (DELELE, M. A. *et al.*, 2014).

Portanto, a secagem em tambor rotativo configura-se como uma tecnologia essencial no contexto industrial, combinando alta capacidade produtiva com flexibilidade de aplicação. Entretanto, seu desempenho está fortemente associado ao controle de variáveis operacionais, ao projeto do equipamento e à compreensão dos fenômenos de transporte envolvidos, o que torna fundamental o estudo aprofundado desses aspectos para garantir maior eficiência energética e qualidade do produto final.

2.2.3.3. Túnel de secagem

A secagem em túnel é uma tecnologia amplamente empregada no processamento de produtos agrícolas, especialmente frutas e vegetais, devido à sua capacidade de operar de forma contínua e com relativo controle das condições de secagem. Nesse sistema, o material úmido é disposto em bandejas organizadas em carrinhos que se deslocam ao longo de um túnel, enquanto uma corrente de ar aquecido é forçada a atravessar o leito de material, promovendo a remoção de umidade por convecção (BEN MABROUK, S. *et al.*, 1994). O ar aquecido pode ser parcialmente reciclado e misturado com ar fresco, o que contribui para maior eficiência energética do processo (BEN MABROUK, S. *et al.*, 1994). Esse tipo de secador é bastante difundido em países com forte produção agrícola, sendo aplicado tanto em sistemas convencionais quanto em configurações que utilizam energia solar.

Do ponto de vista dos fenômenos de transporte, a secagem em túnel envolve transferência simultânea de calor e massa entre o ar e o produto, sendo predominantemente

governada por mecanismos convectivos. O processo pode ser descrito por equações de conservação de energia e umidade, considerando o escoamento unidimensional do ar ao longo do túnel e a interação com o material disposto em camadas (BEN MABROUK, S. *et al.*, 1994). Um aspecto importante desse sistema é o deslocamento da frente de secagem ao longo do túnel, que influencia diretamente o tempo de processo e a qualidade final do produto. Além disso, parâmetros como temperatura, velocidade do ar e umidade relativa exercem forte influência sobre a cinética de secagem e devem ser cuidadosamente controlados.

Contudo, apesar das vantagens, como flexibilidade operacional e facilidade de controle, a secagem em túnel pode apresentar limitações, principalmente relacionadas à não uniformidade da secagem ao longo do equipamento. Diferenças de temperatura e umidade entre a entrada e a saída do túnel podem resultar em produtos com teores de umidade distintos (DELELE, M. A. *et al.*, 2014). Outro ponto crítico é o elevado consumo energético, já que grande parte da energia é utilizada no aquecimento do ar e pode ser perdida com o ar de exaustão (BEN MABROUK, S. *et al.*, 1994).

Portanto, a secagem em túnel configura-se como uma alternativa eficiente e amplamente aplicada para a desidratação de produtos agrícolas, combinando simplicidade operacional com capacidade de processamento contínuo. No entanto, a otimização das condições operacionais e o uso de estratégias para redução do consumo energético são fundamentais para garantir maior eficiência, uniformidade do produto e viabilidade econômica do processo.

2.2.3.4. Secagem pneumática

A secagem pneumática é uma importante operação unitária amplamente empregada em processos industriais para a remoção de umidade de materiais particulados, principalmente materiais de origem biológica, como resíduos agroindustriais. Nesse processo, as partículas úmidas são introduzidas em uma corrente de gás aquecido, promovendo simultaneamente seu transporte, aquecimento e secagem. O principal diferencial deste método de secagem está no reduzido tempo de residência das partículas no sistema, geralmente da ordem de poucos segundos, o que minimiza significativamente a degradação térmica do material processado (ALVAREZ; BLASCO, 1999).

A elevada eficiência da secagem pneumática está associada à grande área de contato entre as partículas e o fluido de secagem, resultando em elevados coeficientes de transferência de calor e massa. Além disso, o processo apresenta vantagens operacionais relevantes, como alta capacidade de processamento, simplicidade construtiva e baixos custos de investimento e

manutenção. Tais características justificam sua ampla aplicação em diferentes setores industriais, com destaque para a indústria alimentícia e de processamento de materiais particulados (ALVAREZ; BLASCO, 1999).

Ademais, no que se refere à modelagem do processo, a secagem pneumática é frequentemente descrita por modelos baseados na difusão interna de umidade, fundamentados na segunda lei de Fick. Entretanto, para materiais porosos e biologicamente complexos, a hipótese de difusividade efetiva constante mostra-se limitada, uma vez que fatores como estrutura interna, teor de umidade e tamanho de partícula influenciam diretamente a cinética de secagem.

Os resultados experimentais indicam que variáveis operacionais, como a temperatura do gás de secagem e sua velocidade, exercem influência significativa sobre a eficiência do processo. O aumento dessas variáveis tende a intensificar as taxas de transferência de calor e massa, promovendo uma redução no tempo necessário para atingir baixos teores de umidade. Adicionalmente, estratégias como a recirculação de partículas podem ser empregadas para ampliar o tempo de residência efetivo, contribuindo para a obtenção de produtos com menor umidade final (ALVAREZ; BLASCO, 1999).

Portanto, a secagem pneumática destaca-se como uma tecnologia eficiente e economicamente viável, tendo seu maior destaque em aplicações que demandam secagem rápida com controle meticuloso para evitar danos térmicos.

2.2.3.5. Secagem em leito fluidizado

A secagem em leito fluidizado se apresenta como uma operação unitária amplamente empregada no processamento de materiais particulados, em especial em produtos agroindustriais, por promover intenso contato entre a fase gasosa e o sólido. Nesse método de secagem o fluxo de ar ou vapor superaquecido atravessa o leito de partículas com velocidade suficiente para promover a fluidização do leito, favorecendo elevadas taxas de transferência de calor e massa visando reduzir o tempo de secagem. Essa é uma tecnologia consolidada por sua capacidade de produzir secagem relativamente uniforme, com boa qualidade do produto final e com ampla gama de aplicação em diferentes escalas industriais (SIVAKUMAR *et al.*, 2016).

Do ponto de vista operacional, a literatura destaca que o desempenho do secador em leito fluidizado depende fortemente das condições de processo, como temperatura do ar de secagem, velocidade do fluido, umidade inicial do material, altura do leito e distribuição granulométrica das partículas. Esses fatores influenciam diretamente a fluidização, a homogeneidade térmica e a eficiência energética do sistema. Além disso, esse tipo de secagem

também está associado à busca por maior sustentabilidade energética, uma vez que a eficiência do processo e o consumo específico de energia tornaram-se critérios centrais na seleção e no aprimoramento de secadores industriais (MONDAL; SARKAR, 2024).

Ademais, além da secagem convencional em leito fluidizado, têm ganhado destaque as variações vibradas ou vibrofluidizadas, que buscam ampliar a flexibilidade de operação, sobretudo para materiais coesivos, pegajosos ou com maior tendência à aglomeração. Em sistemas com essas características, a vibração mecânica auxilia a movimentação das partículas e melhora a mistura com o fluido secante, favorecendo a transferência de calor e umidade. Além disso, evidencia-se que um secador de leito fluidizado vibrado para biomassa, variáveis como temperatura e velocidade do gás, umidade inicial, intensidade de vibração e distribuição de tamanho das partículas exercem influência significativa sobre a taxa de secagem e o tempo de residência, reforçando a necessidade de modelagem adequada para previsão e otimização do processo (MOHSENI *et al.*, 2019).

De modo geral, a secagem em leito fluidizado permanece como uma das alternativas mais relevantes para a desidratação de produtos particulados, tanto pela eficiência térmica quanto pela possibilidade de integração com estratégias híbridas e sistemas de automação. A literatura indica que sua aplicação é especialmente vantajosa quando se busca combinar rapidez de secagem, boa qualidade final e menor consumo energético, embora o projeto e a operação exijam atenção às propriedades do material e às condições hidrodinâmicas do leito. Assim, o desenvolvimento de modelos matemáticos e de ferramentas de simulação tem sido decisivo para ampliar a previsibilidade do processo e apoiar sua aplicação industrial (SIVAKUMAR *et al.*, 2016; MOHSENI *et al.*, 2019; MONDAL; SARKAR, 2024).

2.3. PROCESSO DE BIOSSECAGEM

2.3.1. Contextualização

O processo de biossecagem é uma tecnologia de tratamento de resíduos sólidos baseada na combinação entre atividade microbiológica aeróbia e ventilação controlada, o que a difere da secagem convencional que utiliza uma fonte de calor externa no leito. Seu objetivo principal consiste em remover umidade do material e melhorar sua estabilidade física para atividades posteriores. Portanto, a biossecagem visa priorizar a evaporação da água utilizando o calor gerado naturalmente pelos microrganismos durante a degradação parcial da fração orgânica biodegradável. Dessa forma, o processo permite reduzir o teor de umidade sem promover perdas excessivas do conteúdo energético presente no resíduo, característica que o torna

especialmente interessante quando se pretende utilizar o material como combustível derivado de resíduos, submetê-lo a outras rotas de valorização energética ou mesmo armazená-lo (FELTRIM *et al.*, 2021).

O princípio operacional da biossecagem consiste em fornecer oxigênio por meio de sistemas de aeração forçada ou ventilação natural controlada, favorecendo a respiração aeróbia dos microrganismos presentes no resíduo. Como resultado dessa atividade metabólica, ocorre liberação de calor, elevando a temperatura interna da massa residual. Esse aumento de temperatura, combinado ao fluxo de ar, promove a evaporação da água livre e parte da água ligada ao material. Ademais, em muitos sistemas, as temperaturas alcançadas podem ultrapassar 50 °C, fato que contribui para redução de patógenos e minimização de odores quando o processo é adequadamente conduzido (FELTRIM *et al.*, 2021; MA *et al.*, 2018).

Além disso, a eficiência da biossecagem depende diretamente de diversos fatores operacionais e das características intrínsecas do resíduo tratado. Entre os principais parâmetros estão o teor de umidade inicial, a granulometria, a porosidade do leito, a composição orgânica, a relação carbono/nitrogênio, a densidade aparente e a taxa de aeração aplicada. Resíduos excessivamente compactados ou muito úmidos tendem a dificultar a passagem do ar e limitar a atividade aeróbia, enquanto materiais muito secos reduzem a atividade microbiológica e, conseqüentemente, a geração de calor biológico. Por esse motivo, em muitos casos são adicionados agentes estruturantes, como poda triturada, serragem ou palha, com a finalidade de aumentar a porosidade e melhorar a circulação de ar no interior do leito (MOHAMMED, M. *et al.*, 2017; LWIN *et al.*, 2024).

Em escala industrial, a tecnologia tem se mostrado promissora por reduzir a massa destinada a aterros sanitários, melhorar as condições de transporte e aumentar a viabilidade energética dos resíduos sólidos urbanos e agroindustriais (LWIN *et al.*, 2024; MA *et al.*, 2018).

2.3.2. Biossecadores

Os biossecadores são reatores desenvolvidos para promover a biossecagem de resíduos sólidos por meio da combinação entre processos físicos e biológicos. Além disso, esses equipamentos diferenciam-se de secadores convencionais por utilizarem energia interna do próprio material, reduzindo a necessidade de aquecimento externo e aumentando a viabilidade energética do tratamento (VELIS *et al.*, 2009).

De modo geral, o projeto de um biossecador envolve dois elementos principais: a câmara ou recipiente onde o resíduo é acondicionado e o sistema de aeração responsável pelo fornecimento de oxigênio, remoção do vapor d'água e controle térmico do processo. Além

disso, sistemas mais avançados podem incluir monitoramento de temperatura, umidade relativa, concentração de oxigênio, recirculação de ar e tratamento de gases exauridos, visando maior eficiência operacional e controle ambiental (VELIS *et al.*, 2009).

Os biossecadores podem ser classificados em estáticos e dinâmicos. Nos sistemas estáticos, o material permanece em repouso durante o processo, sendo a secagem dependente principalmente da distribuição do ar no interior do leito. Nessa categoria incluem-se os leitos fixos aerados, bio-células fechadas, túneis de secagem e pilhas estáticas ventiladas. Esses sistemas são amplamente utilizados em escala comercial devido à simplicidade construtiva, menor custo mecânico e facilidade de operação. Entretanto, apresentam limitações relacionadas à heterogeneidade da secagem e formação de gradientes internos de temperatura e umidade (FELTRIM *et al.*, 2021).

Já os biossecadores dinâmicos promovem movimentação periódica ou contínua do resíduo, favorecendo homogeneização do leito e maior uniformidade do processo. O principal exemplo dessa categoria é o tambor rotativo, no qual a rotação mistura o material, reduz zonas preferenciais de fluxo de ar e melhora a distribuição da umidade. Ademais, esse tipo de reator tende a apresentar produto final mais homogêneo e menor variação do poder calorífico quando comparado a sistemas estáticos, embora exija maior investimento em componentes mecânicos e consumo energético adicional para movimentação (FELTRIM *et al.*, 2021).

Assim, a escolha do biossecador depende da composição do resíduo, escala de operação, objetivo final do produto seco e recursos econômicos disponíveis.

2.3.3. Desafios da biossecagem em leito fixo

Os biossecadores de leito fixo são secadores muito utilizados no estudo de biossecagem devido a sua menor dificuldade de construção, manuseio e observação de parâmetros. Contudo, apesar de amplamente empregados, apresentam desafios operacionais relevantes relacionados principalmente à ausência de movimentação do material durante o processo. Como a massa residual permanece estática, o fluxo de ar tende a seguir caminhos de menor resistência, formando canais preferenciais e reduzindo a passagem uniforme através de todo o leito. Esse fenômeno provoca secagem desigual, fazendo com que determinadas regiões atinjam baixa umidade enquanto outras permaneçam excessivamente úmidas (VELIS *et al.*, 2009).

Além disso, outro problema frequente é a formação de gradientes verticais de temperatura e umidade. Em sistemas com fluxo unidirecional, as camadas próximas à entrada do ar recebem maior intensidade de secagem, enquanto as regiões posteriores podem receber ar já saturado de vapor d'água, reduzindo a capacidade evaporativa. Como consequência, o

produto final torna-se heterogêneo quanto ao teor de umidade e poder calorífico, o que compromete aplicações energéticas posteriores (VELIS *et al.*, 2009).

A compactação do material também representa dificuldade relevante. Resíduos com partículas finas, elevada densidade aparente ou alto teor de umidade tendem a reduzir a porosidade do leito e aumentar a perda de carga no sistema. Isso dificulta a passagem do ar e pode criar zonas anaeróbias no interior do biossecador. Com isso, parte do processo deixa de operar como biossecagem e passa a apresentar características de fermentação ou compostagem indesejada, com maior geração de odores e menor eficiência de remoção de água.

A elevada heterogeneidade dos resíduos sólidos agrava ainda mais essas dificuldades. Diferenças de granulometria, composição orgânica, presença de plásticos, papéis e materiais fibrosos alteram localmente a permeabilidade do leito e dificultam o controle operacional. Em resíduos urbanos mistos, por exemplo, a distribuição irregular dos componentes interfere diretamente na circulação de ar e na geração de calor microbiológico (FELTRIM *et al.*, 2021).

Para minimizar esses problemas, a literatura aponta algumas soluções, como uso de agentes estruturantes, revolvimento periódico, inversão do fluxo de ar e adoção de biossecadores rotativos. Tais estratégias visam aumentar a homogeneidade do processo e melhorar a qualidade final do material biosseco. Contudo essa tecnologia ainda permanece em desenvolvimento e estudo.

2.3.4. Vantagens e limitações

A biossecagem tem se destacado como uma alternativa promissora para o tratamento de resíduos de biomassa sólida devido à sua capacidade de reduzir o teor de umidade utilizando o calor gerado pela própria atividade microbiológica no leito. Esse processo apresenta vantagens relevantes do ponto de vista energético, operacional e ambiental, embora também existam limitações relacionadas ao controle do processo e à heterogeneidade dos resíduos tratados (VELIS *et al.*, 2009; MA *et al.*, 2018).

A principal vantagem desse modelo de secagem é o menor consumo de energia térmica externa quando comparado à secagem convencional. Na biossecagem, parte significativa do calor necessário ao processo é produzida biologicamente pela degradação aeróbia da matéria orgânica, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis e gastos financeiros relacionados à geração de energia para secagem do leito. Em certos sistemas, o processo pode ocorrer praticamente sem fornecimento externo de calor, dependendo apenas de ventilação forçada e controle de aeração (MA *et al.*, 2018; VELIS *et al.*, 2009).

Além disso, do ponto de vista ambiental, a biossecagem contribui para redução da quantidade de resíduos encaminhados a aterros sanitários, diminuindo a geração de lixiviados e o potencial de emissão de gases associados à decomposição anaeróbia. Ademais, outra característica vantajosa é a possibilidade de integração da biossecagem com sistemas de gerenciamento de resíduos sólidos e recuperação energética, favorecendo estratégias de economia circular e valorização de resíduos (FELTRIM *et al.*, 2021; VELIS *et al.*, 2009).

A tecnologia também apresenta relativa flexibilidade operacional, podendo ser aplicada a diferentes resíduos, como resíduos sólidos urbanos, resíduos alimentares, resíduos verdes, lodos e subprodutos agroindustriais. Em diversos casos, a utilização de agentes de bulking permite adaptar a porosidade do leito e melhorar o desempenho do processo, proporcionando uma maior aplicabilidade em diferentes cenários operacionais (LWIN *et al.*, 2024).

Entretanto, apesar das vantagens, a biossecagem apresenta algumas limitações significativas. Um dos principais desafios contemplados está relacionado à elevada heterogeneidade de diversos resíduos tratados. Diferenças de composição química, granulometria, densidade e teor de umidade dificultam o controle uniforme da secagem e podem gerar regiões com aeração desigual. Tal condição favorece a formação de gradientes de temperatura e umidade no interior do leito, comprometendo a homogeneidade do produto final e a qualidade do processo de secagem em si (VELIS *et al.*, 2009).

Ademais, outra desvantagem refere-se ao controle operacional do processo. A eficiência da biossecagem depende diretamente de diversos parâmetros como taxa de aeração, temperatura, umidade inicial, composição de biomassa, porosidade do material, etc... Pequenas variações nesses fatores podem alterar significativamente o desempenho do sistema, o que gera uma grande dificuldade para lidar e otimizar esses sistemas, principalmente em grandes escalas. Em condições inadequadas, pode ocorrer compactação do leito, redução da atividade aeróbia e formação de zonas anaeróbias, aumentando a geração de odores e reduzindo a eficiência do processo (LWIN *et al.*, 2024; VELIS *et al.*, 2009).

Além disso, em certos sistemas industriais pode ser necessário manter um controle rigoroso da emissão de gases e odores, o que pode exigir processos adicionais de tratamento do ar exaurido, aumentando os custos de implantação e operação (MA *et al.*, 2018).

Por fim, outro ponto relevante de se explicitar é o fato de que a biossecagem não promove estabilização completa da matéria orgânica, diferentemente da compostagem. Portanto, dependendo da aplicação final do material biosseco, podem ser necessárias etapas complementares de tratamento ou estabilização antes da disposição final ou aproveitamento

agrícola gerando necessidade de aplicação de capital financeiro e técnico a mais em certos processos (VELIS *et al.*, 2009; FELTRIM *et al.*, 2021).

2.3.5. Aplicações

A principal aplicação da biossecagem ocorre no tratamento de resíduos sólidos urbanos (RSU), especialmente aqueles com elevada fração orgânica e alto teor de umidade. Nesses casos, o processo é utilizado como etapa anterior à produção de combustível derivado de resíduos (RDF ou SRF), permitindo transformar uma massa heterogênea e úmida em um material mais seco, homogêneo e energeticamente atrativo (FELTRIM *et al.*, 2021).

Além disso, outra aplicação relevante está no tratamento de resíduos alimentares provenientes de mercados, restaurantes, centrais de abastecimento e indústrias de alimentos. Esses resíduos apresentam elevada biodegradabilidade e umidade, condições favoráveis à geração de calor microbiológico (LWIN *et al.*, 2024).

No setor agroindustrial, a tecnologia apresenta potencial para resíduos como bagaço de frutas, restos de processamento vegetal, lodos orgânicos e subprodutos com alta carga orgânica. Nesses casos, além da redução de umidade, a biossecagem pode servir como pré-tratamento antes de digestão anaeróbia, compostagem, pirólise ou uso energético direto. Em resíduos alimentares, por exemplo, a assistência térmica adicional pode acelerar a remoção de água e melhorar o balanço energético do sistema (MA *et al.*, 2018).

Portanto, observa-se que a biossecagem possui ampla aplicabilidade e grande potencial estratégico em políticas de sustentabilidade, recuperação energética e redução da dependência de aterros sanitários, consolidando-se como alternativa tecnológica promissora, ainda atuando amplamente na área de estudos acadêmicos, para o tratamento moderno de resíduos.

2.4. BIOSSECAGEM INTERMITENTE

2.4.1. Contextualização

A biossecagem intermitente pode ser entendida como uma estratégia de intensificação do processo de biossecagem convencional visando obter uma melhor performance no processo. As condições operacionais não permanecem constantes ao longo de todo o tratamento, são aplicadas em ciclos de operações e pausa ou variações programadas de aeração e homogeneização do leito. Esse princípio pode ser descrito como uma sucessão de períodos de secagem ativa seguidos por períodos de pausa, nos quais a redistribuição interna de calor e da umidade favorece a continuidade da secagem quando o sistema volta a operar. Na biossecagem,

essa lógica é relevante pelo potencial do próprio resfriamento evaporativo do sistema reduzir a atividade microbiana e comprometer a geração de calor biológico no sistema. Desta forma, a intermitência busca equilibrar a transferência de massa pelo ar com a produção de calor no leito (CHUA. K. J *et al.*, 2023) (VAN ENGELAND *et al.*, 2022).

No caso específico dos resíduos de laranja, estudos recentes mostram que a biossecagem intermitente pode ser aplicada tanto pela variação da vazão de ar quanto pela homogeneização periódica do leito (SILVA *et al.*, 2025). A biossecagem utiliza a energia liberada pela decomposição aeróbia da matéria orgânica para remover umidade sem necessidade de aquecimento externo, e que a intermitência é uma forma de melhorar o desempenho do processo ao reduzir efeitos de caminhos preferenciais, controlar o resfriamento evaporativo e preservar o potencial energético da biomassa (VELIS *et al.*, 2009).

2.4.2. Tipos de intermitência

A intermitência pode assumir diferentes formas, dependendo da variável operacional que é alternada ao longo do processo. Classicamente os tipos mais discutidos incluem a variação de temperatura do ar, da vazão de ar, da pressão do sistema e da forma de fornecimento de energia térmica. O processo pode ocorrer em modo “ativado/não ativado”, normalmente em ciclos de aquecimento e pausa no sistema, em sequências com rampa de operação ou em perfis arbitrários, com controle temporal independente do restante da configuração do secador. Em geral, essa abordagem é aplicada quando se deseja melhorar a eficiência energética e a qualidade final do material seco (CHUA; MUJUMDAR; CHOU, 2003; VAN ENGELAND *et al.*, 2022).

No contexto da biossecagem, o tipo de intermitência mais diretamente associado à esse processo é a intermitência da vazão de ar. Estudos com biomassa de laranja investigaram a vazão intermitente periódica do leito, mostrando que o aumento da vazão favorece a remoção de água por convecção, mas também intensifica o resfriamento evaporativo, o que pode limitar o aumento de temperatura (SILVA *et al.*, 2025). Assim, a intermitência da aeração surge como uma forma de modular esse equilíbrio entre secagem física e atividade biológica (SILVA *et al.*, 2025). Além disso, um fato já evidenciado é que a vazão de ar é uma das variáveis operacionais mais importantes do processo de biossecagem, influenciando diretamente temperatura, remoção de umidade e qualidade do produto final (VELIS *et al.*, 2009) (FELTRIM *et al.*, 2021).

Outro tipo relevante é a intermitência por homogeneização do leito, na qual o material é reorganizado em intervalos definidos para reduzir compactação, aumentar porosidade e evitar a formação de caminhos preferenciais de escoamento (VELIS *et al.*, 2009). Em estudos

recentes é possível evidenciar que a homogeneização periódica aumentou a porosidade do leito, mas teve efeito limitado sobre a remoção de água e a elevação de temperatura (SILVA *et al.*, 2025). Em especial os biossecadores de leito fixo, essa estratégia é especialmente interessante porque o material permanece estático durante o processo, o que favorece gradientes internos de umidade e temperatura, logo, a intermitência por mistura atua como tentativa de corrigir a heterogeneidade do sistema (VELIS *et al.*, 2009) (SILVA *et al.*, 2025).

Portanto, para a biossecagem, significa que a intermitência pode ser aplicada tanto pela alternância da aeração quanto pela combinação de períodos de mistura, retenção e ventilação, sempre com o objetivo de otimizar a eficiência térmica, a homogeneidade do leito e a conservação do valor energético da biomassa (CHUA. K. J *et al.*, 2023) (VAN ENGELAND *et al.*, 2022).

2.4.3. Vantagens

A biossecagem intermitente apresenta vantagens importantes quando comparada aos modos convencionais de operação contínua. Uma das principais vantagens é a melhoria dos mecanismos de transferência de calor e massa, promovendo maior remoção de água em menores tempos operacionais (CHUA. K. J *et al.*, 2023). Segundo o estudo efetuado por Maia *et al.* (2023) observou-se que o modo intermitente apresentou umidade final de aproximadamente 1,6 db após apenas 48 horas de operação, enquanto o sistema contínuo em leito fixo necessitou cerca de 500 horas para atingir umidade final superior, evidenciando a maior eficiência da intermitência (MAIA *et al.*, 2023).

Além disso, outra vantagem importante é a melhoria da distribuição do fluxo gasoso no interior do leito. Em biossecadores contínuos de leito fixo, a compactação do material e a formação de caminhos preferenciais dificultam a passagem uniforme do ar (VELIS *et al.*, 2009). A operação intermitente, especialmente quando associada à homogeneização do leito, reduz esses problemas ao melhorar a distribuição da umidade e da oxigenação, favorecendo condições mais homogêneas ao longo do sistema (MAIA *et al.*, 2023).

A biossecagem intermitente também contribui para minimizar a formação de zonas anaeróbias. Em processos contínuos, a baixa oxigenação em determinadas regiões pode favorecer a fermentação indesejada e geração de odores (VELIS *et al.*, 2009). A aplicação de pulsos de ar e revolvimento periódico melhora o suprimento de oxigênio, mantendo condições predominantemente aeróbias e favorecendo a atividade microbiana responsável pela geração de calor biológico (MAIA *et al.*, 2023).

Ademais, a biossecagem intermitente pode preservar melhor o potencial energético do resíduo. Estudos desenvolvidos por Maia *et al.* (2023) verificaram que os valores de poder calorífico superior permaneceram próximos aos valores do resíduo fresco após o processo intermitente, indicando menor degradação da matéria orgânica quando comparado aos processos contínuos de longa duração (MAIA *et al.*, 2023). Tal ponto é particularmente importante em aplicações voltadas à recuperação energética da biomassa.

Entretanto, apesar das vantagens, a biossecagem intermitente ainda depende de adequado controle operacional, especialmente em relação à frequência dos ciclos, intensidade da aeração e manutenção da atividade microbiológica (MAIA *et al.*, 2023). Assim, estudos adicionais são necessários para otimizar as condições operacionais e maximizar simultaneamente a remoção de água e a geração de calor biológico (CHUA. K. J *et al.*, 2023).

2.5. MICROORGANISMOS NATIVOS NO BAGAÇO DE LARANJA

O bagaço de laranja e os demais resíduos do processamento cítrico constituem uma biomassa lignocelulósica de alto interesse, pois apresentam elevada fração de pectina, celulose e hemicelulose, que juntos ultrapassam 40% da matéria seca do resíduo, além de concentrações relevantes de compostos bioativos e açúcares solúveis (Zerva *et al.*, 2019). Essa composição favorece a colonização por microrganismos capazes de degradar polímeros vegetais, tornando o resíduo uma fonte promissora para produção de enzimas, biocombustíveis, insumos de fermentação e outros bioprodutos de maior valor agregado (Stavrakakis *et al.*, 2025).

A microbiota nativa associada ao resíduo de laranja apresenta predominância de leveduras e bactérias ácido-láticas e acéticas. Em amostras de resíduo/efluente de processamento de laranja, foram identificadas as leveduras *Hanseniaspora*, *Cystofilobasidium*, *Meyerozyma*, *Pichia fermentans*, *Saccharomyces* spp., *Candida*, *Ogataea*, *Kazachstania* e *Zygosaccharomyces*, enquanto entre as bactérias apareceram *Aerococcus*, *Enterococcus*, *Leuconostoc mesenteroides*, *Lactobacillus*, *Erwinia*, *Buttiauxella*, *Carnobacterium*, *Vagococcus* e *Isobaculum* (Zerva *et al.*, 2019) (Zerva *et al.*, 2021). Ademais, a literatura também destaca microrganismos filamentosos e bacterianos com capacidade enzimática sobre resíduos cítricos, como *Pseudomonas psychrotolerans*/*P. oryzihabitans* com atividade xilanolítica, além de *Bacillus cereus*, *Bacillus subtilis*, *Streptomyces* sp., *Aspergillus niger*, *Aspergillus brasiliensis*, *Cladosporium*, *Trichoderma viride*, *Botryosphaeria rhodina*, *Weizmannia coagulans* e *Priestia megaterium*, frequentemente relacionados à produção de

pectinases, xilanases e outros enzimas de interesse industrial (Zerva *et al.*, 2019) (Stavrakakis *et al.*, 2025).

Entre esses microrganismos, *Pichia fermentans* se destacou como o táxon dominante após a fermentação espontânea e como o isolado pectinolítico mais eficiente, indicando forte adaptação ao ambiente rico em pectina e citrato do resíduo de laranja (Zerva *et al.*, 2021). Já no caso dos degradadores de xilana, a dominância de bactérias lácticas e acéticas, associada às leveduras *Hanseniaspora* e *Zygosaccharomyces*, reforça que o bagaço de laranja abriga uma comunidade microbiana funcionalmente diversa, com potencial para fermentação, hidrólise de hemicelulose e recuperação energética (Zerva, Remmas e Ntougias, 2019). Dessa forma, o bagaço de laranja não deve ser visto apenas como resíduo agroindustrial, mas como substrato biológico capaz de sustentar processos de valorização baseados em enzimas, ácidos orgânicos, biocombustíveis e materiais bioativos (Stavrakakis *et al.*, 2025).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. BIOMASSA E RESÍDUOS SÓLIDOS DE LARANJA

A biomassa de resíduo sólido de laranja (BRSL) utilizada no experimento abordado no presente trabalho foi gerada no processo industrial de produção de suco de laranja. Essa biomassa de laranja é constituída por cascas, bagaço, galhos e sementes e foi disponibilizada pela empresa Sucocítrico Cutrale, localizada em Araraquara, SP, Brasil. O material apresentou teor de umidade inicial (X_0) de $3,0 \pm 0,1$ kg de água por kg de resíduo seco, expresso em base seca (b.s.). Quanto à sua composição química, também determinada em base seca, a BRSL continha $2,9 \pm 0,2$ kg/kg de cinzas, $19,3 \pm 0,9$ kg/kg de extrativos solúveis em solvente, $38,5 \pm 1,5$ kg/kg de celulose, $33,1 \pm 2,0$ kg/kg de holocelulose, $24,0 \pm 2,0$ kg/kg de hemicelulose e $2,9 \pm 0,5$ kg/kg de lignina (MAIA, G. D. *et al.*, 2023).

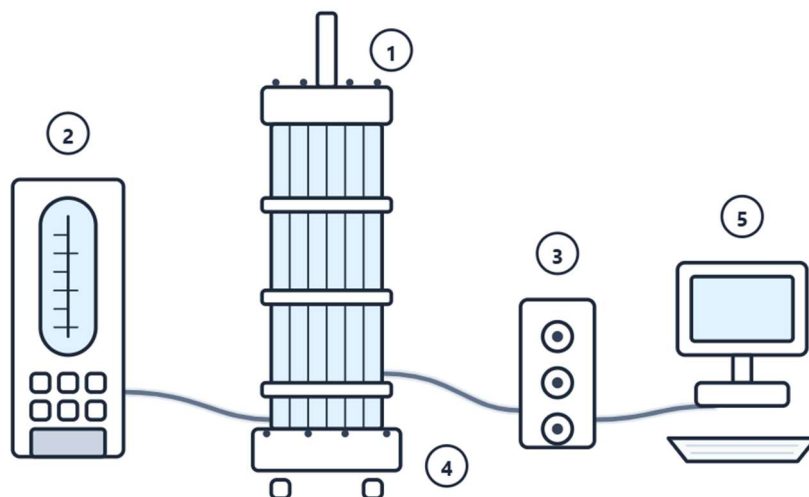
Esses valores são aproximados e sofrem variações conforme o tipo de laranja utilizada e as condições como ocorreu a safra de laranja em si.

3.2. EQUIPAMENTO DE BIOSSECAGEM, OPERAÇÃO E OBTENÇÃO DE DADOS

O biossecador utilizado no estudo foi desenvolvido e construído no Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de São Carlos (Brasil), sendo confeccionado em PVC e dividido em três partes principais: base, cilindro central e topo. Para minimizar perdas térmicas para o ambiente, a superfície externa do equipamento recebeu revestimento com manta cerâmica de isolamento térmico. O cilindro central apresentava diâmetro interno de 0,30 m e altura de 0,62 m, resultando em um volume útil aproximado de $0,04 \text{ m}^3$.

Além disso, havia um sistema de aeração no sentido da base para o topo controlado por um arduino e uma válvula de alimentação de ar, os quais controlavam a aplicação de ar periodicamente no sistema. A biomassa foi disposta sobre uma placa perfurada que atuava tanto como suporte quanto como distribuidora do fluxo de ar. Um esquema representativo do sistema contendo o biossecador de leito fixo aparece na Figura 4.

Figura 4: Esquema do sistema de biossecagem utilizado nos experimentos.



Legenda: corpo (1); rotâmetro (2); sistema de medição de temperatura com cinco sondas (3); sistema de medição de massa (4); aquisição de dados (5).

Fonte: Elaborado pelo autor.

A biomassa foi disposta sobre uma placa perfurada que atuava tanto como suporte quanto como distribuidora do fluxo de ar

O monitoramento da temperatura foi realizado utilizando sensores calibrados do modelo Ds18b20 (Dallas Semiconductor, Estados Unidos), integrados à plataforma Arduino e com precisão de $\pm 0,5$ °C. O controle da vazão de ar foi efetuado por meio de um rotâmetro calibrado modelo INF-R-P-200 (Indflow Ind. Solutions, Brasil). Já o sistema de aquisição de massa foi desenvolvido a partir de três módulos HX711 (Avia Semiconductor Co. Ltd., China), cada um com capacidade máxima de medição de 2000 ± 5 g.

O acompanhamento do bioprocesso foi realizado por meio de um sistema supervisor desenvolvido em LabVIEW (National Instruments Corp., Estados Unidos), responsável pela aquisição, processamento e armazenamento dos dados experimentais. O sistema estabelecia comunicação serial com o microcontrolador, realizando leituras automáticas a cada 10 segundos. Durante cada ciclo de aquisição, os sinais provenientes dos sensores instalados no biossecador eram reunidos em uma única sequência de dados, posteriormente interpretada pelo software, permitindo a atualização em tempo real dos indicadores gráficos e o armazenamento das informações no computador.

O microcontrolador executava rotinas específicas para cada variável monitorada. Para a temperatura, eram realizadas cinco medições consecutivas com intervalo de um segundo entre elas, sendo utilizado o valor médio como leitura final. A comunicação e interpretação dos sinais dos sensores de temperatura foram realizadas com auxílio das bibliotecas DallasTemperature.h e OneWire.h. Já as leituras de massa das células de carga eram efetuadas a cada três segundos

utilizando a biblioteca HX711.h. Após o processamento das informações coletadas, os dados eram compilados e enviados ao sistema supervisorio pela porta serial em intervalos de 10 segundos.

O software utilizado, denominado SuperSys Drying, foi desenvolvido no Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de São Carlos pelo Prof. Dr. Antonio Carlos Luperni Horta, sendo projetado especificamente para monitoramento e aquisição de dados em experimentos de biossecagem.

3.3. CONFIGURAÇÃO DE BIOSSECAGEM INTERMITENTE

O experimento foi conduzido utilizando-se 3 perfis de massa contendo bagaço de laranja no leito, 2kg, 4kg e 6 kg. Além disso, foi utilizado uma vazão intermitente de ar de 2 m³/h com 3 diferentes períodos de pulso de ar, um período de 15 minutos de vazão a cada 1 hora, outro com um período de 15 minutos de vazão a cada 3 horas e um terceiro com 45 minutos de vazão a cada 1 horas. No total foram efetuados 9 ensaios que estão melhor representados na Tabela 2 a seguir.

Tabela 2: Configuração dos experimentos.

Nº do experimento	Massa do leito	Tempo de vazão de ar	Intervalo entre vazões de ar
1	2kg	15min	1h
2	2kg	15min	3h
3	2kg	45min	1h
4	4kg	15min	1h
5	4kg	15min	3h
6	4kg	45min	1h
7	6kg	15min	1h
8	6kg	15min	3h
9	6kg	45min	1h

Fonte: Autoria própria.

A atividade de secagem intermitente e coleta de dados do experimento manteve-se durante 72h para cada experimento. Ao final do experimento foi analisado o perfil de temperatura do sistema, ou seja, a variação de temperatura no sistema ao longo do tempo, e também a variação de umidade no sistema ao longo do tempo de secagem.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

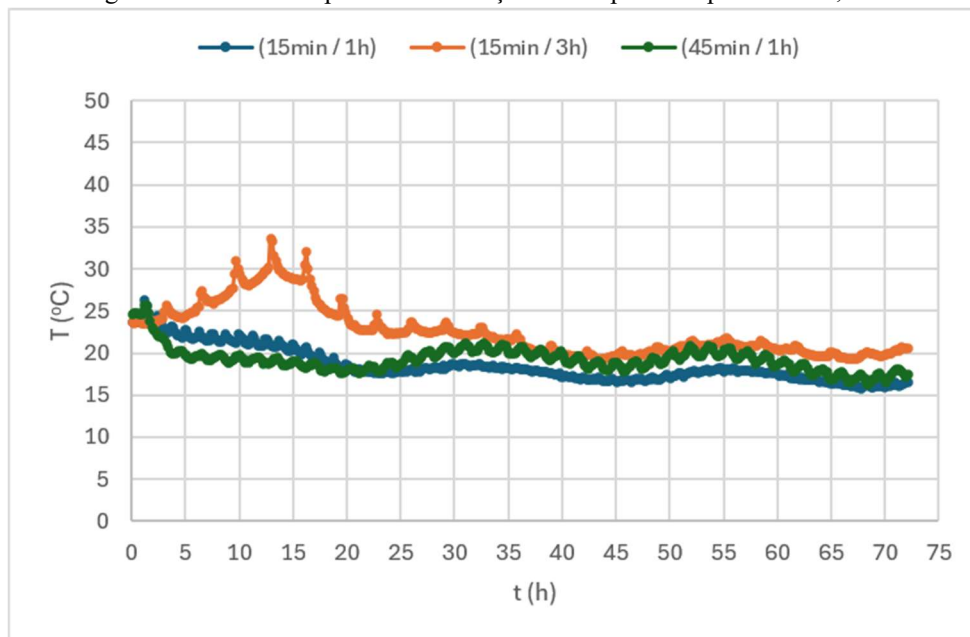
4.1. PERFIL DE TEMPERATURA

Após a conclusão dos experimentos, foi possível desenvolver os gráficos de temperatura em função do tempo para analisar o comportamento térmico do leito e a influência dos diferentes perfis de secagem intermitente empregados.

Primeiramente, ao analisar a Figura 5, referentes aos perfis de aeração de 15min/1h e 45min/1h, é possível observar que a passagem de ar em intervalos muito curtos de 1 h praticamente não proporcionou o desenvolvimento de rampas de temperatura no leito contendo 2 kg de bagaço de laranja. Isso ocorreu devido ao pouco tempo sem passagem de ar aliado à baixa quantidade de massa presente no equipamento. Nesse contexto, tais fatores dificultaram o trabalho metabólico dos microrganismos nativos presentes no leito, comprometendo o aquecimento do sistema.

Já ao analisar o perfil de temperatura do experimento contendo 2 kg de bagaço de laranja com vazão de ar de 15 min a cada 3 h é possível observar um início de desenvolvimento de rampa térmica. Entretanto, após certo período, o sistema perde sua capacidade de autoaquecimento. Esse comportamento pode ser explicado pelo maior intervalo entre os pulsos de ar e pelo menor tempo de passagem de ar, fatores que favorecem a atividade microbiológica, uma vez que o leito não permanece resfriado continuamente. Contudo, a baixa quantidade de massa de bagaço ainda limitou significativamente o desenvolvimento e a manutenção de um perfil térmico mais estável ao longo do tempo.

Figura 5: Perfil de temperatura em função do tempo do Experimento 1, 2 e 3.



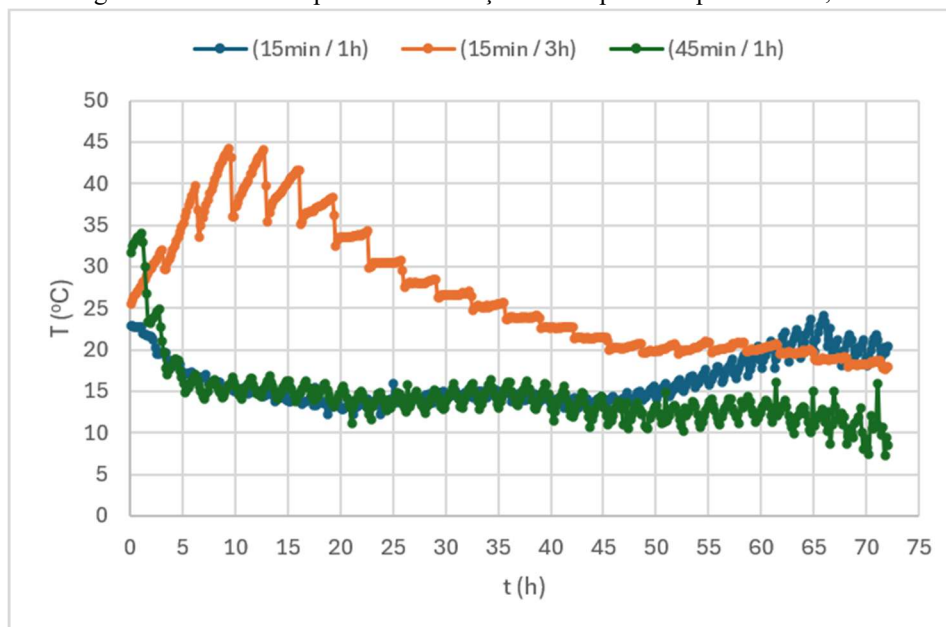
Fonte: Elaborado pelo autor.

O leito contendo 4 kg de bagaço de laranja apresentou um perfil de temperatura mais interessante, embora ainda semelhante, em alguns aspectos, aos experimentos realizados com 2 kg. Os perfis de aeração 15min/1h e 45min/1h para 4kg, representado pela Figura 6, apresentaram perfis térmicos próximos aos obtidos nos testes com mesma estratégia de aeração para o leito de menor massa. Dessa forma, não houve desenvolvimento significativo de rampas de temperatura devido à elevada frequência de passagem de ar no sistema, o que prejudicou a atividade metabólica dos microrganismos nativos. Além disso, pode-se notar que, nesses perfis de aeração, a massa do leito não impactou significativamente a temperatura do sistema, uma vez que a variável predominante nesses experimentos foi a vazão de ar.

Nesse contexto, ao analisar o perfil de 15min/3h para 4kg, representado também representado na Figura 6, observou-se uma influência mais significativa da massa no comportamento térmico do leito. Esse sistema apresentou um desenvolvimento de rampas térmicas um pouco mais evidente quando comparado ao leito contendo 2 kg sob o mesmo perfil de aeração. Assim, torna-se possível afirmar que o aumento da massa no leito favoreceu o aquecimento do sistema nesse perfil operacional. Além disso, assim como observado nos experimentos com 2 kg, percebe-se que maiores intervalos entre os pulsos de ar tendem a favorecer a formação de rampas de temperatura. Entretanto, assim como no experimento com menor massa, após um período inicial de aquecimento, o leito perdeu gradativamente sua capacidade de autoaquecimento, evidenciando que, embora a maior massa tenha favorecido o

processo, esse aumento ainda não foi suficiente para manter um perfil térmico contínuo e estável.

Figura 6: Perfil de temperatura em função do tempo do Experimento 4, 5 e 6.



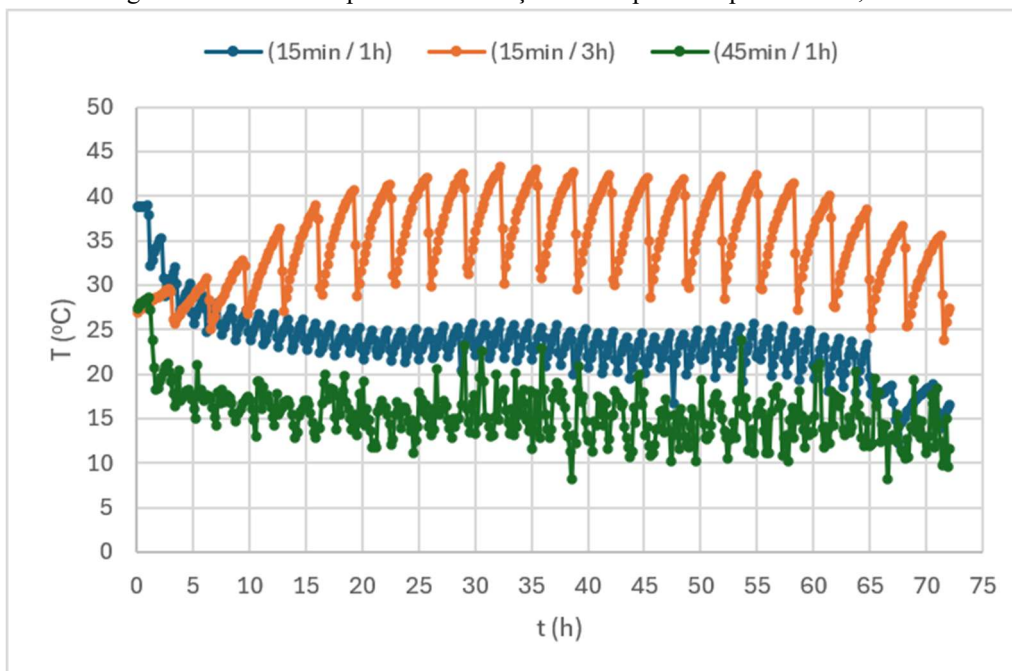
Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao estudar os experimentos realizados com 6 kg de bagaço de laranja, tornou-se possível evidenciar de forma mais clara a influência da massa do leito sobre o perfil de temperatura. Os perfis de aeração de 15min/1h e 45min/3h, representados na Figura 7, apresentaram aquecimento significativamente menor quando comparados ao perfil de aeração de 15 min a cada 3 h. Contudo, diferentemente do observado nos leitos de menor massa, foi possível perceber que a massa influenciou diretamente o comportamento térmico do sistema. O perfil de aeração de 45 min a cada 1 h manteve o leito consideravelmente mais frio do que o perfil de 15 min a cada 1 h, comportamento diferente do observado anteriormente, em que ambos os sistemas apresentavam perfis térmicos bastante semelhantes. Entretanto, apesar da maior massa contribuir positivamente para a formação de rampas de temperatura nos sistemas com maior frequência de aeração, esse efeito ainda não foi suficiente para superar o impacto da elevada frequência de aeração. Assim, os perfis com intervalo de apenas 1 h entre os pulsos de ar continuaram mantendo o leito em temperaturas relativamente baixas.

Por fim, o perfil de aeração 15min/3h para 6kg de bagaço apresentou o perfil de rampas de temperatura mais consistente dentre todos os experimentos realizados no estudo. A elevada quantidade de massa de bagaço de laranja no biossecador, associada ao perfil de aeração com menor tempo de passagem de ar e maiores intervalos entre os pulsos, favoreceu

significativamente a manutenção da atividade metabólica dos microrganismos nativos, permitindo que o leito permanecesse aquecido por períodos mais longos. Além disso, a maior massa de bagaço promoveu compactação do leito e formação de caminhos preferenciais de escoamento, reduzindo o resfriamento uniforme de todo o sistema. Dessa forma, parte do leito conseguiu manter condições favoráveis para a atividade microbiológica mesmo após a passagem do ar, contribuindo para a manutenção do perfil térmico observado.

Figura 7: Perfil de temperatura em função do tempo do Experimento 7, 8 e 9.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Portanto, do ponto de vista de rampas de temperatura, sistemas que detêm menor frequência de aeração e maior quantidade de massa no leito tendem a apresentar um perfil térmico mais consistente e de maiores temperaturas, o que corrobora com observações feitas por VELIS *et al.* (2009) e FELTRIM *et al.* (2021) sobre a importância do fluxo de ar para biossecagem. Tal constatação está muito associada à pouca passagem de ar resfriar menos o sistema e propiciar o trabalho metabólico de microrganismos oxidadores, assim como levantado por SILVA *et al.* (2025), associado ao surgimento de caminhos preferenciais em maiores massas de leito evitando que todo o leito seja resfriado totalmente, o que afetaria diretamente o aquecimento por microrganismos.

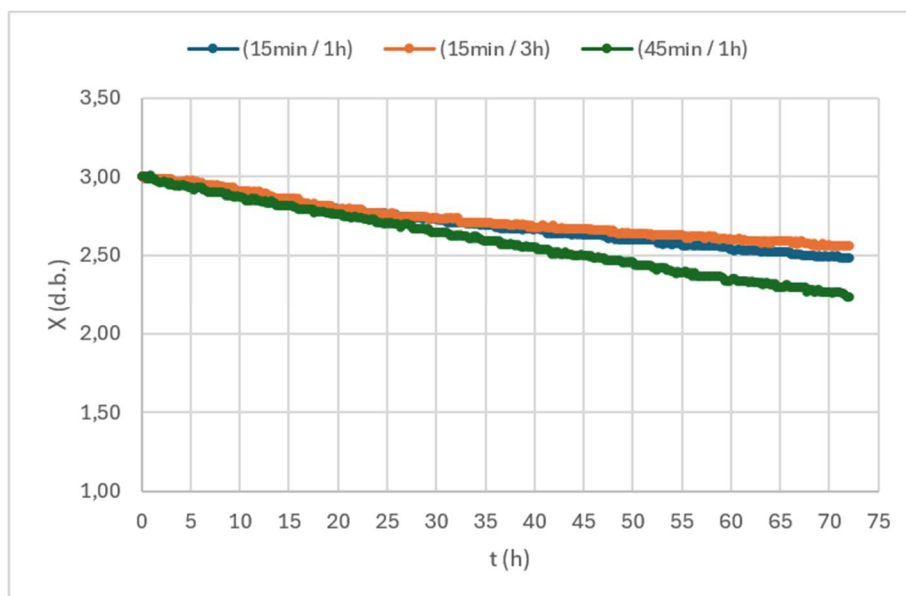
4.2. PERFIL DE UMIDADE

Além das análises do perfil de temperatura, este trabalho também buscou avaliar a perda de umidade do sistema em função das diferentes variações dos parâmetros operacionais aplicados nos experimentos.

Primeiramente, ao analisar os resultados de umidade obtidos para o leito contendo 2 kg de bagaço de laranja, é possível evidenciar uma influência ainda limitada da massa do sistema sobre a remoção de água. Os perfis de aeração com menor passagem de ar (15min/1h e 15min/3h), representados pela Figura 8, apresentaram perdas de umidade semelhantes, porém com uma leve redução mais acentuada no perfil de aeração 15min/1h, devido à maior frequência de aeração aplicada ao sistema.

Contudo, ao observar o perfil de aeração com maior tempo de passagem de ar pelo sistema (45min/1h), nota-se uma perda de umidade superior quando comparada aos demais perfis de aeração aplicados ao leito de 2 kg. Esse comportamento pode ser justificado principalmente pela remoção de água por arraste mecânico promovido pela passagem de ar no sistema. Como nesse perfil operacional praticamente não houve desenvolvimento significativo de temperatura no leito, a remoção de umidade ocorreu predominantemente pela capacidade do fluxo de ar de transportar a água residual presente no material.

Figura 8: Variação de umidade ao longo do tempo do Experimento 1, 2 e 3.



Fonte: Elaborado pelo autor.

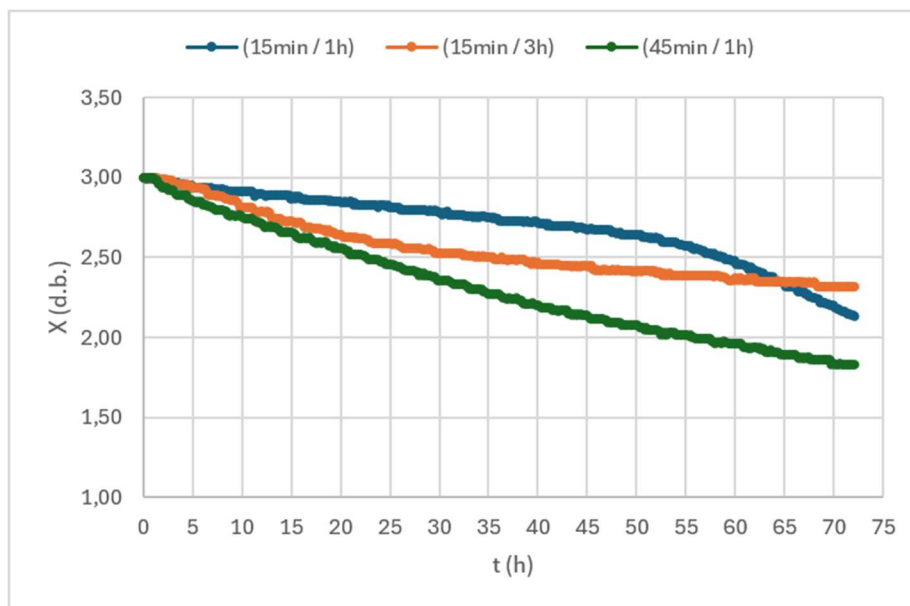
Ao estudar o processo de biossecagem do leito contendo 4 kg de bagaço de laranja, é possível notar algumas semelhanças com os resultados obtidos para a massa de 2 kg.

Inicialmente, observa-se por meio da Figura 9 que o perfil de aeração 45min/1h para 4kg, caracterizado pelo maior tempo de aeração em menores intervalos de tempo, apresentou novamente a maior perda de umidade para uma mesma massa de biomassa. Assim como observado para o mesmo perfil de aeração na Figura 8 com 2kg, essa maior remoção de água está associada principalmente ao arraste mecânico promovido pelo fluxo de ar.

Entretanto, ao comparar experimentos com o mesmo perfil de aeração, mas utilizando massas diferentes (2 kg e 4 kg), percebe-se que o sistema contendo maior massa apresentou maior remoção de umidade. Esse comportamento pode ser explicado pelo fato de que, em leitos com menor quantidade de biomassa, o ar tende a perpassar o sistema, escoando preferencialmente pelas regiões próximas às paredes do biossecador e reduzindo sua interação com a biomassa. Já em leitos com maior massa, o ar encontra maior resistência à passagem direta, aumentando o contato com o material e favorecendo a remoção de umidade.

Além disso, ao analisar os resultados de umidade dos perfis de aeração 15min/1h e 15min/3h, também representados pelas Figura 9, é possível observar perdas de umidade ainda relativamente semelhantes, porém com diferenças mais evidentes ao longo do processo. O perfil de aeração 15min/3h para 4kg apresentou inicialmente uma maior remoção de água devido à presença de temperaturas ligeiramente mais elevadas no início do experimento, conforme discutido anteriormente na análise térmica do sistema. Contudo, com o avanço do processo, o leito perdeu sua capacidade de autoaquecimento, reduzindo gradativamente a eficiência da remoção de umidade. Em contrapartida, o perfil de aeração 15min/1h para 4kg apresentou uma perda de umidade mais constante ao longo do tempo, comportamento associado à maior frequência de aeração e, conseqüentemente, ao maior efeito de arraste mecânico da água residual pelo ar.

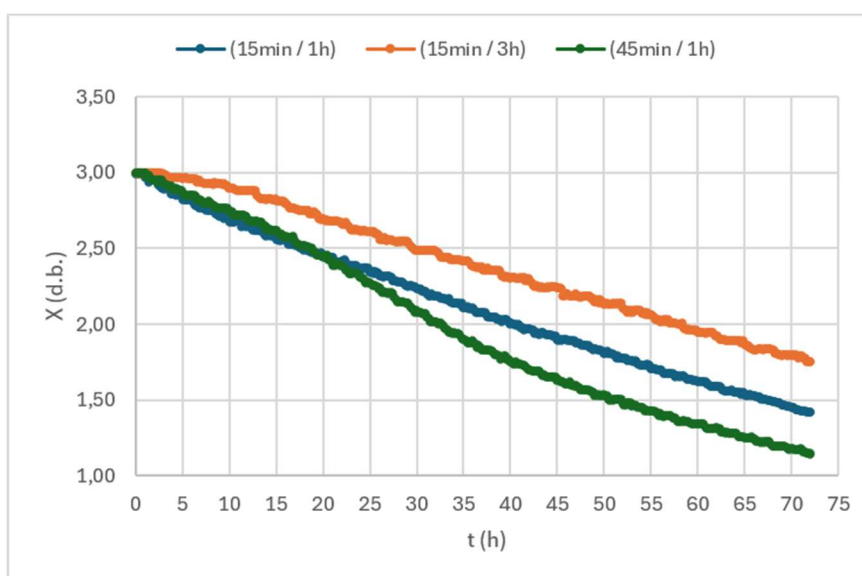
Figura 9: Variação de umidade ao longo do tempo do Experimento 4, 5 e 6.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Por fim, ao analisar o perfil de umidade do sistema contendo 6 kg de bagaço de laranja, tornou-se possível consolidar algumas hipóteses levantadas anteriormente. Inicialmente, ao analisar a Figura 10, observa-se que todos os experimentos realizados com 6 kg apresentaram maior remoção de umidade quando comparados aos sistemas contendo 2 kg e 4 kg sob os mesmos perfis de aeração. Esse resultado reforça a hipótese de que leitos com menor massa favorecem o *bypass* do ar, prejudicando a remoção efetiva da umidade residual do sistema.

Figura 10: Variação de umidade ao longo do tempo do Experimento 7, 8 e 9.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O perfil de aeração 15min/3h, representado na Figura 10, apresentou a menor perda de umidade entre os experimentos realizados com 6 kg de biomassa. Esse comportamento pode ser explicado pela menor frequência de passagem de ar no sistema, o que reduz o arraste mecânico da água residual. Já o perfil 15min/1h apresentou uma perda intermediária de umidade quando comparado aos demais sistemas contendo 6 kg de biomassa. Em contrapartida, o perfil 45min/1h apresentou a maior remoção de água dentre todos os experimentos realizados, comportamento justificado pela combinação entre elevada massa de biomassa e maior frequência de aeração, favorecendo intensamente o transporte de umidade pelo fluxo de ar.

Portanto, do ponto de vista da remoção de umidade ao longo do tempo, é possível concluir que sistemas com maior frequência de aeração tendem a apresentar maiores perdas de água, principalmente devido ao arraste mecânico promovido pelo fluxo gasoso, assim como pontuado por SILVA *et al.* (2025). Além disso, a massa do leito exerce influência direta sobre a eficiência da remoção de umidade. Em leitos contendo menor quantidade de biomassa, o ar tende a escoar preferencialmente entre as paredes do biossecador e o material, perpassando parte do sistema e reduzindo a retirada de água. Já em leitos com maior massa, o ar encontra maior resistência à passagem, formando caminhos preferenciais no interior do leito e favorecendo o maior contato do ar com a biomassa e consequentemente a maior remoção da umidade presente no leito.

5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho permitiram avaliar a influência da massa do leito e dos diferentes perfis de aeração intermitente no processo de biossecagem de bagaço de laranja. A partir das análises térmicas e de remoção de umidade, foi possível compreender de forma mais aprofundada como as condições operacionais afetam simultaneamente a atividade microbiológica, a transferência de calor e a remoção de água do sistema.

De modo geral, observou-se que a massa do leito exerceu influência significativa sobre o comportamento térmico do biossecador. Leitos contendo maiores quantidades de biomassa apresentaram maior capacidade de desenvolvimento e manutenção de rampas de temperatura, resultado associado ao aumento da atividade metabólica dos microrganismos nativos e à maior estabilidade térmica do sistema. Em especial, os experimentos realizados com 6 kg de bagaço de laranja e perfil de aeração de 15 min a cada 3 h apresentaram os perfis térmicos mais consistentes dentre todos os ensaios realizados, evidenciando que maiores intervalos entre os pulsos de ar favorecem a manutenção do aquecimento do leito.

Entretanto, os resultados também demonstraram que maiores temperaturas no leito não necessariamente resultam em maiores perdas de umidade. A remoção de água mostrou-se fortemente dependente do tempo total de contato entre o fluxo de ar e a biomassa. Dessa forma, experimentos com maiores tempos de aeração e maior frequência de passagem de ar apresentaram as maiores reduções de umidade, mesmo quando o resfriamento evaporativo limitou o aumento de temperatura no sistema. Esse comportamento evidencia que a biossecagem intermitente depende diretamente do equilíbrio entre a geração de calor microbiológico e os mecanismos convectivos de transferência de massa promovidos pelo ar.

Outro aspecto importante observado foi a influência da massa do leito sobre o comportamento do fluxo gasoso no interior do biossecador. Leitos contendo menores quantidades de biomassa apresentaram maiores dificuldades na remoção de umidade, comportamento associado ao *bypass* do ar pelas regiões próximas às paredes do equipamento. Já em sistemas com maiores massas, o aumento da compactação favoreceu a formação de caminhos preferenciais no interior do leito, aumentando a interação entre o fluxo de ar e a biomassa e favorecendo a retirada da umidade residual.

Dessa forma, os resultados obtidos indicam que a otimização da biossecagem intermitente depende diretamente da adequada combinação entre massa do leito e estratégia de aeração pulsada. Vazões excessivamente frequentes tendem a resfriar o sistema e limitar a atividade microbiológica, enquanto intervalos maiores entre os pulsos favorecem o desenvolvimento térmico do leito. Ao mesmo tempo, maiores tempos de contato entre o ar e a biomassa favorecem a remoção de umidade por arraste mecânico. Assim, o controle simultâneo dessas variáveis é fundamental para aumentar a eficiência do processo.

Além dos resultados experimentais obtidos, este trabalho também evidencia o grande potencial da biossecagem intermitente como tecnologia de pré-tratamento de biomassa residual cítrica. O processo apresenta elevada relevância ambiental e energética, especialmente devido à possibilidade de redução de umidade utilizando predominantemente o calor gerado biologicamente, diminuindo a necessidade de fontes externas de energia. Nesse contexto, a biossecagem intermitente mostra-se uma alternativa promissora para valorização de resíduos agroindustriais e para aplicações futuras voltadas à recuperação energética da biomassa.

Por fim, destaca-se que a biossecagem intermitente ainda é uma área relativamente recente e com amplo espaço para crescimento científico e tecnológico. Dessa forma, o presente trabalho contribui para ampliar o entendimento do processo e reforça o potencial da biossecagem intermitente como uma tecnologia promissora para aplicações sustentáveis no tratamento e valorização de resíduos orgânicos. Como sugestões de trabalhos futuros é possível

remendar estudos envolvendo diferentes estratégias de aeração, maiores escalas operacionais, modelagem matemática, controle automático e diferentes tipos de biomassa podem contribuir significativamente para o avanço da tecnologia.

6. REFERÊNCIAS

Oranges | USDA Foreign Agricultural Service. Disponível em: <<https://www.fas.usda.gov/data/production/0571120>>.

CITRUSBR. Exportações. Disponível em: <<https://citrusbr.com/estatisticas/exportacoes/>>.

JIMÉNEZ-CASTRO, M. P.; BULLER, L. S.; SGANZERLA, W. G.; FORSTER

CARNEIRO, T. Bioenergy production from orange industrial waste: a case study.

Biofuels, Bioproducts and Biorefining, v. 14, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/bbb.2128>.

MITSUHARA, A. T.; MORAES, J. C.; CRESTANI, C. E. Caracterização química do bagaço de laranja: potencial rota para uso desse resíduo. Revista Principia - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB, 4 jul. 2023.

DENG, L. Z. et al. Hot air impingement drying kinetics and quality attributes of orange peel. *Journal of Food Process Preservation*, v. 44, 2020. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14294>.

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, p. 64–72, mar. 2016.

PARK, J.-R.; LEE, D.-H. Effect of aeration strategy on moisture removal in bio-drying process with auto-controlled aeration system. Drying Technology, v. 40, n. 10, p. 2006–2020, 19 abr. 2021.

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, p. 109361, jun. 2023.

SILVA, D. I. S. et al. Heat and mass transfer of fruit residues in a fixed bed dryer: Modeling and product quality. *Drying Technology*, v. 37, p. 1321–1327, 2019. <https://doi.org/10.1080/07373937.2018.1498509>.

ONOKWAI, A. O. et al. Characterization of lignocellulose biomass based on proximate, ultimate, structural composition, and thermal analysis. Materials Today: Proceedings, v. 65, p. 2156–2162, 2022.

JENKINS, B. M. et al. Combustion properties of biomass. *Fuel Processing Technology*, v. 54, n. 1-3, p. 17–46, mar. 1998.

DINIZ, F. F. et al. *Shift-share of the international market for energy forest products*. Industrial Crops & Products, 2024.

AREIAS, A. A.; CRUZ JÚNIOR, J. C.; YAMAJI, F. M. Estudo de mercado sobre o uso de biomassa para queima no Estado de São Paulo, Brasil. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 11, e1429119566, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i11.9566>

VASSILEV, S. V. et al. An overview of the composition and application of biomass ash. Part 1. Phase–mineral and chemical composition and classification. *Fuel*, v. 105, p. 40–76, mar. 2013.

VASSILEV, S. V. et al. An overview of the chemical composition of biomass. *Fuel*, v. 89, n. 5, p. 913–933, maio 2010.

CAI, J. et al. Review of physicochemical properties and analytical characterization of lignocellulosic biomass. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 76, p. 309–322, set. 2017.

SRIVASTAVA, N. et al. Advances in the Structural Composition of Biomass: Fundamental and Bioenergy Applications. *Journal of Renewable Materials*, v. 9, n. 4, p. 615–636, 2021.

WANG, Y.; ZHANG, Y.; CUI, Q.; FENG, Y.; XUAN, J. Composition of lignocellulose hydrolysate in different biorefinery strategies: nutrients and inhibitors. *Molecules*, v. 29, n. 22, p. 2275, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules29102275>

YU, Q.; WANG, Y.; LE, Q. V.; YANG, H.; HOSSEINZADEH-BANDBAFHA, H.; YANG, Y.; SONNE, C.; TABATABAEI, M.; LAM, S. S.; PENG, W. *An overview on the conversion of forest biomass into bioenergy*. *Frontiers in Energy Research*, v. 13, 2025.

SAHOO, G.; SHARMA, A.; CHANDRA DASH, A. Biomass from trees for bioenergy and biofuels – A briefing paper. *Materials Today: Proceedings*, mar. 2022.

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. *Bioresource Technology*, Oxford, v. 100, p. 2747-2761, 2009.

XU, M. et al. Sustainable solutions: Bio-drying for organic solid waste management. *Industrial Crops and Products*, v. 222, p. 119606–119606, 9 set. 2024.

FAO. Crops and livestock products. Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>>. Acessado em 13/04/2026

OJO-KUPOLUYI, O. J.; DELE-AFOLABI, T. T.; TAHIR, S. M. Harnessing sugarcane bagasse for bioenergy production: Current status, optimization, and future directions. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, v. 72, p. 104074, 7 nov. 2024.

AJALA, E. O. et al. Sugarcane bagasse: a biomass sufficiently applied for improving global energy, environment and economic sustainability. *Bioresources and Bioprocessing*, v. 8, n. 1, 15 set. 2021.

Outros produtos - Portal Embrapa. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana-de-acucar/pos-producao/processamento-da-cana-de-acucar/outros-produtos>>. Acesso em: 13 abr. 2026.

KARP, S. G. et al. Pretreatment strategies for delignification of sugarcane bagasse: a review. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v. 56, n. 4, p. 679–689, ago. 2013.

KABIRU AYOBAMI JIMOH et al. Recent Advances in the Drying Process of Grains. 8 fev. 2023.

KUMAR, D.; MAHANTA, P.; KALITA, P. Performance analysis of a novel biomass-fired grain dryer integrated with thermal storage medium. *Biosystems Engineering*, v. 216, p. 65–78, abr. 2022.

MONDAL, MD. H. T.; SARKER, MD. S. H. Comprehensive energy analysis and environmental sustainability of industrial grain drying. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 199, p. 114442, 27 abr. 2024.

LIU, S. et al. Review of phytochemical and nutritional characteristics and food applications of Citrus L. fruits. *Frontiers in Nutrition*, v. 9, p. 968604, 18 jul. 2022.

RIVAS, B. et al. Submerged Citric Acid Fermentation on Orange Peel Autohydrolysate. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 56, n. 7, p. 2380–2387, 6 mar. 2008.

MITSUHARA, A. T.; MORAES, J. C.; CRESTANI, C. E. Caracterização química do bagaço de laranja: potencial rota para uso desse resíduo. *Revista Principia - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB*, 4 jul. 2023.

LI, Q. et al. Orange Pomace and Peel Extraction Processes towards Sustainable Utilization: A Short Review. *Molecules*, v. 28, n. 8, p. 3550, 1 jan. 2023.

YU, P. et al. Current Status of Grain Drying Technology and Equipment Development: A Review. *Foods*, v. 14, n. 14, p. 2426, 9 jul. 2025.

CARVALHO, M. S. L.; SILVA, M. G. C. Infectious hospital waste: evaluation of a tray dryer for volume and microbiological load reduction. *Drying Technology*, v. 24, p. 517–522, 2006.

EL-MESERY, H. S.; EL-KHAWAGA, S. E. Drying process on biomass: Evaluation of the drying performance and energy analysis of different dryers. *Case Studies in Thermal Engineering*, v. 33, p. 101953, maio 2022.

MOHAMMED, M.; OZBAY, I.; DURMUSOGLU, E. Bio-drying of green waste with high moisture content. *Process Safety and Environmental Protection*, v. 111, p. 420–427, out. 2017.

SOUZA, G. F. M. V.; MIRANDA, R. F.; LOBATO, F. S.; BARROZO, M. A. S. Simultaneous heat and mass transfer in a fixed bed dryer. *Applied Thermal Engineering*, 2015.

GENARO, L. B. et al. SOLID DRYING IN A THICK FIXED BED WITH AIRFLOW REVERSAL. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, v. 170, p. 108666, jan. 2022.

DELELE, M. A.; WEIGLER, F.; MELLMANN, J. Advances in the Application of a Rotary Dryer for Drying of Agricultural Products: A Review. *Drying Technology*, v. 33, n. 5, p. 541–558, 30 set. 2014.

BEN MABROUK, S.; BELGHITH, A. Simulation and design of a tunnel drier. *Renewable Energy*, v. 5, n. 1-4, p. 469–473, ago. 1994.

ALVAREZ, P. I.; BLASCO, R. Pneumatic drying of meals: application of the variable diffusivity model. *Drying Technology*, v. 17, n. 4-5, p. 791–808, 1999.

MOHSENI, M.; KOLOMIJTCHUK, A.; PETERS, B.; DEMOULLING, M. Biomass drying in a vibrating fluidized bed dryer with a Lagrangian-Eulerian approach. *International Journal of Thermal Sciences*, v. 138, p. 219–234, 2019.

MONDAL, M. H. T.; SARKAR, M. S. H. Comprehensive energy analysis and environmental sustainability of industrial grain drying. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 199, 114442, 2024.

SIVAKUMAR, R.; SARAVANAN, R.; ELAYA PERUMAL, A.; INIYAN, S. Fluidized bed drying of some agro products: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 61, p. 280–301, 2016.

FELTRIM, Fernanda; IZZO, Ronaldo L. S.; ROSE, Juliana L.; MACHADO, André B.; ORO, Sheila Regina. Evaluation of the bio-drying process of municipal solid waste using rotating drum. *An Acad Bras Cienc.*, v. 93, n. 4, e20200085, 2021. DOI: 10.1590/0001-3765202120200085.

LWIN, Ye Nyi Nyi; BHATSADA, Abhisit; TOWPRAYOON, Sirintornthep; PATUMSAWAD, Suthum; SUTTHASIL, Noppharit; WANGYAO, Komsilp. Aeration optimization for the biodrying of market waste using negative ventilation: a lysimeter study. *Clean Technologies*, v. 6, p. 1519-1536, 2024. DOI: 10.3390/cleantechnol6040073.

MA, Jiao; ZHANG, Lei; MU, Lan; ZHU, Kongyun; LI, Aimin. Thermally assisted bio-drying of food waste: synergistic enhancement and energetic evaluation. *Waste Management*, v. 80, p. 327-338, 2018. DOI: 10.1016/j.wasman.2018.09.023.

CHUA, K. J.; MUJUMDAR, A. S.; CHOU, S. K. Intermittent drying of bioproducts: an overview. *Bioresource Technology*, Oxford, v. 90, p. 285-295, 2003.

FELTRIM, Fernanda et al. Evaluation of the bio-drying process of municipal solid waste using rotating drum. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, v. 93, n. 4, e20200085, 2021.

SILVA, V. C. D. et al. Intermittent bed homogenization as a strategy for improving the biodrying process of orange solid waste biomass. *Chemical Engineering & Processing: Process Intensification*, v. 216, 110399, 2025.

VAN ENGELAND, C. et al. Comprehensive analysis of intermittent drying: a theoretical approach. *Food and Bioproducts Processing*, v. 131, p. 86-101, 2022.

ZERVA, Ioanna; REMMAS, Nikolaos; NTOUGIAS, Spyridon. Diversity and biotechnological potential of xylan-degrading microorganisms from orange juice processing waste. *Water*, v. 11, n. 2, art. 274, 2019.

ZERVA, Ioanna; REMMAS, Nikolaos; MELIDIS, Paraschos; TSIAMIS, George; NTOUGIAS, Spyridon. Microbial succession and identification of effective indigenous pectinolytic yeasts from orange juice processing wastewater. *Waste and Biomass Valorization*, v. 12, p. 4885–4899, 2021.

STAVRAKAKIS, Ioannis; MELIDIS, Paraschos; KAVROULAKIS, Nektarios; GOLIOMYTIS, Michael; SIMITZIS, Panagiotis; NTOUGIAS, Spyridon. Bioeconomy-based approaches for the microbial valorization of citrus processing waste. *Microorganisms*, v. 13, art. 1891, 2025.

7. APÊNDICE

Quadro 1: Dados experimentais sobre o comportamento de temperatura e de umidade para o leite de 2kg.

Experimentos com massa de 2kg						
Tempo (h)	T (15min/1h)	X (b.s.) (15 min/1h)	T (15min/3h)	X (b.s.) (15 min/3h)	T (45min/1h)	X (b.s.) (45 min/1h)
0,081	23,683	3,000	23,638	3,000	24,529	3,000
0,247	23,772	3,000	23,460	2,990	24,707	3,000
0,413	23,683	3,000	23,638	2,990	24,752	3,000
0,580	23,683	3,000	23,594	2,990	24,663	2,990
0,746	23,594	3,000	23,594	2,990	24,574	2,990
0,915	23,594	3,000	23,549	2,990	24,574	3,010
1,081	24,885	2,990	23,549	2,990	24,752	2,990
1,250	26,256	2,980	23,505	2,990	25,682	2,990
1,416	25,463	2,990	23,549	2,990	25,638	2,980
1,582	24,707	2,990	23,638	2,990	24,663	2,970
1,748	24,128	2,990	23,727	2,990	23,816	2,960
1,917	23,816	2,980	23,638	2,990	23,104	2,960
2,083	23,505	2,990	23,772	2,990	22,658	2,960
2,249	23,371	2,990	23,683	2,990	22,391	2,970
2,416	24,351	2,980	23,861	2,990	22,168	2,960
2,582	24,217	2,960	23,905	2,990	21,904	2,960
2,751	23,638	2,960	23,995	2,990	21,904	2,950
2,917	23,059	2,960	24,084	2,990	21,816	2,960
3,083	22,747	2,960	24,841	2,990	21,641	2,950
3,249	22,569	2,960	25,595	2,970	21,154	2,950
3,415	22,346	2,960	25,420	2,970	20,753	2,940
3,584	23,015	2,960	24,841	2,960	20,129	2,950
3,751	23,237	2,960	24,618	2,970	19,862	2,940
3,917	23,015	2,960	24,574	2,960	19,862	2,940
4,083	22,480	2,960	24,351	2,970	19,906	2,950
4,249	22,168	2,960	24,262	2,970	20,085	2,950
4,418	22,080	2,960	24,262	2,960	20,174	2,940
4,584	21,903	2,960	24,262	2,980	20,307	2,940
4,750	21,772	2,950	24,173	2,960	20,218	2,930
4,916	22,747	2,940	24,262	2,960	19,773	2,930
5,085	22,658	2,940	24,485	2,980	19,817	2,930
5,251	22,213	2,940	24,618	2,970	19,416	2,920
5,417	21,772	2,940	24,707	2,960	19,283	2,920
5,583	21,728	2,930	24,796	2,970	19,283	2,930
5,752	21,685	2,940	24,930	2,960	19,327	2,930
5,918	21,772	2,930	24,930	2,950	19,550	2,930
6,084	21,947	2,930	25,286	2,960	19,684	2,930
6,250	22,525	2,930	25,507	2,950	19,817	2,920

6,419	22,079	2,930	27,103	2,950	19,684	2,920
6,582	21,772	2,930	27,415	2,950	19,862	2,910
6,749	21,728	2,920	26,657	2,950	19,550	2,900
6,917	21,510	2,920	26,435	2,950	19,416	2,900
7,084	21,509	2,920	26,167	2,950	19,194	2,900
7,253	21,554	2,920	26,167	2,950	19,105	2,900
7,419	22,213	2,920	26,078	2,940	19,194	2,900
7,585	22,213	2,920	25,900	2,950	19,416	2,900
7,748	21,860	2,910	26,078	2,950	19,461	2,900
7,920	21,641	2,910	26,256	2,940	19,639	2,900
8,086	21,376	2,920	26,212	2,940	19,773	2,900
8,252	21,465	2,910	26,435	2,940	19,728	2,900
8,418	21,332	2,910	26,479	2,930	19,728	2,890
8,581	21,816	2,900	26,746	2,930	19,505	2,880
8,753	22,302	2,890	26,791	2,930	19,194	2,890
8,919	21,860	2,900	27,014	2,930	18,882	2,880
9,082	21,685	2,890	27,281	2,930	18,837	2,880
9,251	21,509	2,890	27,504	2,930	18,971	2,880
9,417	21,287	2,890	27,726	2,930	19,149	2,870
9,586	21,287	2,890	29,328	2,920	19,372	2,870
9,749	21,198	2,890	30,879	2,910	19,595	2,880
9,918	22,213	2,890	30,033	2,910	19,639	2,870
10,082	22,124	2,880	29,329	2,910	19,728	2,870
10,253	21,728	2,890	28,706	2,910	19,327	2,870
10,414	21,421	2,890	28,484	2,910	19,238	2,860
10,585	21,198	2,880	28,216	2,910	18,793	2,850
10,749	20,975	2,880	28,172	2,910	18,926	2,850
10,920	21,065	2,890	28,038	2,910	18,793	2,850
11,081	21,685	2,890	28,216	2,900	19,105	2,850
11,250	22,124	2,870	28,305	2,900	19,238	2,860
11,416	21,815	2,870	28,395	2,910	19,372	2,850
11,588	21,198	2,870	28,662	2,900	19,461	2,860
11,754	20,931	2,860	28,706	2,900	19,416	2,850
11,920	20,931	2,870	28,929	2,910	19,461	2,850
12,086	20,842	2,870	29,196	2,900	19,149	2,850
12,252	20,797	2,860	29,417	2,890	18,704	2,840
12,421	21,641	2,860	29,635	2,890	18,793	2,840
12,587	21,641	2,860	29,900	2,890	18,793	2,850
12,753	21,287	2,860	30,166	2,890	18,748	2,830
12,919	20,886	2,860	33,633	2,880	18,837	2,830
13,085	20,797	2,860	33,239	2,870	19,015	2,830
13,254	20,664	2,860	31,547	2,880	19,238	2,850

13,420	20,753	2,860	30,968	2,870	19,372	2,830
13,584	21,065	2,860	30,389	2,860	19,461	2,830
13,753	21,554	2,860	29,855	2,860	19,194	2,820
13,922	21,065	2,850	29,635	2,860	18,837	2,820
14,088	20,886	2,840	29,374	2,860	18,570	2,820
14,254	20,575	2,840	29,285	2,860	18,570	2,820
14,420	20,485	2,840	29,152	2,860	18,525	2,820
14,586	20,307	2,850	29,063	2,860	18,615	2,820
14,755	20,307	2,840	28,929	2,860	18,659	2,820
14,921	21,065	2,840	28,885	2,860	18,926	2,820
15,088	21,020	2,830	28,840	2,860	18,971	2,820
15,254	20,530	2,830	28,795	2,860	19,060	2,820
15,417	20,218	2,830	28,751	2,860	18,926	2,810
15,589	20,040	2,830	28,617	2,860	18,748	2,810
15,755	19,773	2,830	28,617	2,850	18,525	2,800
15,921	19,906	2,830	28,751	2,860	18,392	2,790
16,087	20,485	2,830	30,434	2,840	18,169	2,790
16,256	20,708	2,820	32,037	2,840	18,258	2,790
16,419	20,307	2,820	30,033	2,830	18,303	2,790
16,588	19,773	2,820	28,751	2,830	18,615	2,790
16,752	19,639	2,820	27,949	2,830	18,570	2,790
16,915	19,461	2,820	27,370	2,830	18,793	2,790
17,089	19,461	2,820	26,657	2,820	18,837	2,790
17,255	19,327	2,820	26,167	2,820	18,659	2,790
17,422	20,040	2,810	25,857	2,820	18,303	2,790
17,582	19,773	2,820	25,638	2,830	17,905	2,770
17,757	19,372	2,810	25,420	2,820	17,862	2,780
17,923	19,105	2,800	25,153	2,820	17,818	2,780
18,089	18,793	2,810	25,019	2,820	17,863	2,780
18,255	18,882	2,810	24,707	2,820	17,994	2,780
18,421	18,793	2,800	24,796	2,820	18,125	2,780
18,590	18,971	2,810	24,663	2,820	18,170	2,780
18,756	19,416	2,790	24,618	2,820	18,258	2,770
18,922	18,793	2,790	24,618	2,820	18,258	2,770
19,086	18,704	2,800	24,485	2,820	18,170	2,770
19,252	18,392	2,800	24,485	2,820	17,862	2,760
19,423	18,169	2,790	26,479	2,800	17,599	2,770
19,590	18,214	2,800	26,435	2,800	17,600	2,760
19,756	18,214	2,800	25,420	2,790	17,687	2,760
19,922	18,748	2,790	24,707	2,790	17,818	2,760
20,088	18,570	2,790	24,173	2,790	18,036	2,760
20,254	18,169	2,790	23,683	2,790	18,082	2,760

20,420	18,081	2,790	23,415	2,800	18,081	2,760
20,586	17,863	2,790	23,237	2,790	18,258	2,750
20,755	17,731	2,780	23,326	2,790	18,125	2,750
20,924	17,818	2,790	22,925	2,790	17,905	2,750
21,090	17,993	2,790	22,836	2,800	17,644	2,750
21,256	18,036	2,780	22,747	2,790	17,599	2,740
21,422	17,862	2,780	22,703	2,790	17,687	2,740
21,591	17,775	2,780	22,747	2,790	17,949	2,750
21,758	17,862	2,770	22,792	2,790	18,037	2,750
21,924	17,731	2,780	22,747	2,790	18,258	2,740
22,090	17,687	2,780	22,747	2,790	18,481	2,740
22,256	17,687	2,780	22,792	2,790	18,347	2,740
22,425	17,950	2,770	22,747	2,790	18,258	2,740
22,591	17,644	2,780	23,371	2,780	18,347	2,730
22,757	17,818	2,770	24,574	2,770	17,949	2,730
22,920	17,600	2,770	23,638	2,770	17,687	2,730
23,092	17,644	2,770	23,237	2,770	17,775	2,720
23,258	17,643	2,770	22,970	2,770	17,949	2,720
23,424	17,644	2,770	22,703	2,770	18,258	2,730
23,590	17,862	2,770	22,525	2,770	18,481	2,730
23,754	17,687	2,770	22,302	2,770	18,793	2,720
23,925	17,687	2,760	22,257	2,770	18,704	2,710
24,092	17,555	2,770	22,346	2,770	18,882	2,710
24,258	17,731	2,770	22,302	2,770	18,882	2,710
24,424	17,600	2,770	22,213	2,770	18,704	2,710
24,590	17,775	2,770	22,391	2,770	18,214	2,700
24,759	17,775	2,770	22,302	2,760	18,392	2,710
24,925	17,862	2,760	22,346	2,760	18,615	2,700
25,091	17,687	2,750	22,435	2,760	18,748	2,710
25,257	17,731	2,750	22,480	2,760	18,837	2,700
25,426	17,905	2,750	22,435	2,770	19,238	2,710
25,589	17,775	2,760	22,525	2,770	19,595	2,700
25,758	17,905	2,750	22,836	2,760	19,773	2,700
25,924	17,994	2,760	23,683	2,750	19,505	2,700
26,093	17,993	2,750	23,683	2,750	19,461	2,700
26,259	17,818	2,750	23,148	2,750	19,105	2,690
26,425	17,775	2,750	22,836	2,750	18,837	2,680
26,591	17,862	2,750	22,881	2,750	19,015	2,690
26,758	17,818	2,750	22,792	2,750	19,327	2,700
26,926	18,214	2,750	22,569	2,750	19,461	2,700
27,092	17,995	2,750	22,569	2,750	19,773	2,700
27,259	18,169	2,750	22,614	2,750	20,129	2,690

27,425	18,169	2,740	22,480	2,750	20,129	2,690
27,593	18,036	2,740	22,480	2,750	20,263	2,670
27,759	18,036	2,740	22,480	2,750	20,174	2,670
27,925	18,169	2,740	22,480	2,750	19,951	2,670
28,092	18,170	2,740	22,614	2,750	19,461	2,670
28,258	18,303	2,740	22,525	2,750	19,639	2,670
28,427	18,214	2,740	22,614	2,750	19,595	2,670
28,590	18,258	2,730	22,747	2,750	19,862	2,670
28,759	18,125	2,730	22,747	2,750	20,218	2,670
28,925	18,481	2,740	22,703	2,750	20,530	2,660
29,094	18,125	2,740	23,282	2,740	20,664	2,670
29,260	18,392	2,730	23,683	2,730	20,708	2,670
29,426	18,436	2,730	23,237	2,740	20,664	2,650
29,592	18,481	2,730	22,792	2,730	20,575	2,650
29,758	18,615	2,740	22,525	2,740	20,218	2,650
29,924	18,615	2,730	22,391	2,740	19,906	2,650
30,093	18,525	2,730	22,480	2,740	20,040	2,650
30,256	18,481	2,720	22,213	2,730	20,218	2,650
30,427	18,436	2,720	22,257	2,730	20,441	2,650
30,593	18,659	2,720	22,257	2,730	20,708	2,650
30,759	18,615	2,720	22,124	2,730	20,797	2,650
30,926	18,615	2,720	22,080	2,740	21,020	2,650
31,094	18,748	2,710	22,124	2,730	21,109	2,650
31,258	18,481	2,710	22,168	2,740	20,886	2,640
31,421	18,436	2,710	22,168	2,740	20,664	2,620
31,590	18,570	2,710	22,213	2,740	20,085	2,630
31,761	18,525	2,710	22,257	2,730	20,174	2,620
31,925	18,481	2,710	22,213	2,740	20,263	2,620
32,091	18,570	2,710	22,213	2,740	20,307	2,630
32,260	18,615	2,710	22,480	2,740	20,619	2,620
32,426	18,704	2,710	23,059	2,710	20,842	2,630
32,595	18,392	2,710	22,970	2,710	21,065	2,620
32,761	18,347	2,710	22,525	2,710	21,109	2,620
32,927	18,436	2,710	22,035	2,710	20,931	2,620
33,093	18,436	2,700	22,079	2,710	20,753	2,620
33,259	18,214	2,700	21,903	2,710	20,263	2,610
33,428	18,436	2,710	21,815	2,710	20,040	2,610
33,594	18,525	2,700	21,903	2,710	20,085	2,610
33,757	18,169	2,700	21,728	2,710	20,129	2,620
33,926	18,258	2,700	21,641	2,710	20,307	2,610
34,092	18,214	2,700	21,554	2,710	20,575	2,620
34,261	18,303	2,700	21,641	2,710	20,797	2,610

34,428	18,125	2,690	21,554	2,710	20,975	2,610
34,594	18,347	2,690	21,554	2,710	20,931	2,600
34,763	18,259	2,700	21,597	2,710	20,931	2,590
34,929	18,170	2,690	21,597	2,710	20,441	2,590
35,095	18,258	2,690	21,685	2,710	19,995	2,590
35,261	18,125	2,690	21,554	2,710	19,862	2,590
35,427	18,082	2,690	21,641	2,710	19,995	2,590
35,596	18,215	2,690	21,905	2,710	19,995	2,590
35,762	18,169	2,690	22,302	2,700	20,129	2,590
35,928	18,259	2,690	21,815	2,700	20,352	2,590
36,094	18,081	2,680	21,597	2,700	20,664	2,590
36,260	17,995	2,680	21,065	2,700	20,708	2,590
36,426	17,994	2,680	20,931	2,700	20,664	2,590
36,595	18,037	2,670	20,664	2,700	20,307	2,570
36,759	18,037	2,670	20,575	2,700	19,951	2,570
36,928	17,905	2,680	20,530	2,700	19,550	2,580
37,096	17,906	2,670	20,441	2,700	19,505	2,570
37,262	17,731	2,680	20,396	2,700	19,773	2,570
37,429	17,863	2,670	20,174	2,690	19,728	2,570
37,595	17,862	2,670	20,218	2,690	19,862	2,580
37,764	17,862	2,670	20,085	2,690	20,085	2,570
37,930	17,818	2,670	20,085	2,690	20,396	2,570
38,096	17,687	2,670	20,218	2,700	20,441	2,560
38,262	17,687	2,670	20,040	2,700	20,040	2,570
38,428	17,731	2,670	20,040	2,690	19,817	2,560
38,597	17,687	2,670	20,174	2,690	19,461	2,550
38,763	17,599	2,660	19,995	2,700	19,149	2,550
38,929	17,599	2,670	20,842	2,690	19,149	2,550
39,095	17,599	2,670	20,842	2,690	19,238	2,560
39,264	17,511	2,670	20,352	2,690	19,550	2,550
39,430	17,466	2,670	20,085	2,680	19,684	2,550
39,597	17,422	2,670	20,085	2,690	19,817	2,550
39,763	17,555	2,670	19,773	2,680	20,040	2,550
39,929	17,199	2,660	19,862	2,680	20,218	2,550
40,098	17,110	2,670	19,817	2,680	19,773	2,550
40,264	17,333	2,670	19,773	2,680	19,105	2,540
40,430	17,244	2,670	19,773	2,680	18,882	2,540
40,596	17,199	2,660	19,773	2,680	18,837	2,540
40,762	17,065	2,670	19,639	2,690	18,748	2,540
40,931	17,288	2,660	19,684	2,690	18,971	2,540
41,098	17,155	2,660	19,684	2,680	19,149	2,540
41,263	16,976	2,640	19,639	2,680	19,327	2,540

41,430	17,021	2,640	19,684	2,680	19,595	2,540
41,598	16,976	2,640	19,505	2,680	19,595	2,520
41,765	16,887	2,640	19,595	2,680	19,372	2,510
41,931	17,065	2,640	19,461	2,690	18,926	2,520
42,097	16,976	2,640	19,817	2,670	18,525	2,510
42,263	16,887	2,640	20,174	2,670	18,258	2,520
42,429	16,843	2,640	19,862	2,670	18,125	2,520
42,598	16,887	2,640	19,728	2,670	18,303	2,510
42,761	16,754	2,640	19,728	2,680	18,525	2,510
42,930	16,932	2,640	19,461	2,670	18,615	2,510
43,099	16,843	2,650	19,416	2,670	18,882	2,520
43,265	16,887	2,640	19,283	2,670	19,015	2,510
43,428	17,065	2,640	19,105	2,670	18,926	2,510
43,597	16,798	2,640	19,283	2,670	18,659	2,510
43,766	16,665	2,630	19,283	2,670	18,214	2,510
43,932	16,665	2,630	19,283	2,670	18,080	2,500
44,098	16,709	2,640	19,372	2,670	17,906	2,500
44,264	16,709	2,640	19,416	2,670	17,863	2,500
44,430	16,709	2,630	19,461	2,670	18,082	2,500
44,599	16,932	2,640	19,595	2,670	18,347	2,500
44,765	16,887	2,630	19,684	2,670	18,837	2,510
44,931	16,709	2,630	19,550	2,670	18,837	2,500
45,097	16,575	2,630	19,773	2,670	18,837	2,500
45,263	16,620	2,630	19,862	2,670	18,748	2,500
45,432	16,665	2,630	20,040	2,670	18,303	2,500
45,598	16,798	2,630	20,263	2,660	18,037	2,490
45,762	16,709	2,630	19,773	2,670	17,731	2,500
45,928	16,887	2,630	19,817	2,660	17,950	2,480
46,099	16,887	2,630	19,817	2,660	18,214	2,480
46,266	16,709	2,630	19,817	2,660	18,347	2,480
46,432	16,575	2,630	19,728	2,660	18,615	2,490
46,598	16,843	2,630	19,639	2,660	18,882	2,480
46,767	16,798	2,630	19,684	2,660	18,971	2,480
46,933	16,932	2,620	19,639	2,660	18,926	2,480
47,099	16,798	2,630	19,728	2,660	18,793	2,480
47,262	16,932	2,620	19,951	2,660	18,347	2,470
47,434	16,843	2,610	19,773	2,660	18,082	2,470
47,597	16,620	2,610	19,817	2,660	18,170	2,470
47,763	16,709	2,620	19,862	2,650	18,392	2,470
47,932	16,887	2,620	20,040	2,660	18,659	2,470
48,098	16,976	2,620	20,263	2,650	18,704	2,470
48,264	16,887	2,600	20,040	2,650	19,149	2,470

48,430	17,065	2,610	20,040	2,640	19,461	2,470
48,596	17,021	2,600	20,396	2,640	19,372	2,470
48,762	16,887	2,600	20,664	2,640	19,283	2,470
48,934	16,843	2,600	20,664	2,650	19,015	2,450
49,100	16,843	2,600	20,575	2,640	18,704	2,460
49,266	17,021	2,600	20,218	2,640	18,748	2,450
49,430	17,155	2,600	20,174	2,650	18,837	2,460
49,601	17,288	2,600	20,352	2,640	19,105	2,450
49,767	17,511	2,600	20,174	2,640	19,505	2,460
49,933	17,110	2,600	20,129	2,640	19,728	2,460
50,100	16,932	2,600	20,218	2,640	19,906	2,450
50,266	17,244	2,600	20,396	2,640	20,218	2,440
50,435	17,333	2,600	20,441	2,640	19,817	2,440
50,601	17,288	2,600	20,575	2,640	19,595	2,440
50,767	17,555	2,600	20,664	2,640	19,505	2,440
50,933	17,600	2,600	20,619	2,640	19,194	2,440
51,102	17,555	2,600	20,886	2,640	19,416	2,440
51,268	17,110	2,600	20,708	2,640	19,550	2,440
51,434	17,377	2,600	20,842	2,640	19,773	2,440
51,600	17,555	2,600	20,931	2,630	20,174	2,440
51,766	17,644	2,600	20,975	2,640	20,485	2,440
51,935	17,775	2,600	21,376	2,630	20,842	2,430
52,099	17,818	2,600	21,465	2,620	20,619	2,420
52,268	17,949	2,600	21,109	2,630	20,441	2,420
52,434	17,687	2,600	21,109	2,630	19,906	2,410
52,600	17,555	2,580	20,886	2,630	19,595	2,420
52,769	17,775	2,580	20,797	2,630	19,639	2,420
52,932	17,818	2,580	20,842	2,630	19,684	2,420
53,101	17,949	2,570	20,931	2,630	19,906	2,420
53,264	17,862	2,580	20,797	2,630	20,218	2,420
53,433	18,083	2,590	20,753	2,630	20,530	2,410
53,599	17,907	2,580	20,975	2,630	20,842	2,410
53,768	17,687	2,580	20,931	2,630	20,664	2,410
53,934	17,862	2,570	21,020	2,630	20,664	2,400
54,100	17,950	2,570	21,065	2,630	20,218	2,400

54,269	17,994	2,580	21,109	2,630	19,773	2,390
54,435	18,037	2,580	21,332	2,630	19,595	2,380
54,601	18,171	2,580	21,198	2,630	19,595	2,400
54,767	18,214	2,580	21,243	2,630	19,728	2,390
54,936	17,950	2,580	21,420	2,630	19,951	2,390
55,102	17,818	2,560	21,685	2,630	20,352	2,390
55,268	17,994	2,560	21,815	2,620	20,441	2,400
55,435	17,994	2,560	21,597	2,610	20,530	2,400
55,601	17,950	2,560	21,287	2,620	20,530	2,380
55,770	18,081	2,570	21,065	2,610	20,129	2,380
55,936	18,170	2,570	20,975	2,620	19,773	2,390
56,102	17,994	2,560	20,931	2,620	19,283	2,370
56,268	17,818	2,560	20,975	2,620	19,238	2,390
56,437	17,775	2,560	20,797	2,620	19,372	2,370
56,603	17,905	2,570	20,797	2,620	19,639	2,370
56,769	17,949	2,560	20,753	2,620	19,951	2,370
56,935	17,862	2,560	20,753	2,620	19,995	2,370
57,101	17,905	2,560	20,708	2,620	20,129	2,370
57,270	17,905	2,560	20,753	2,610	20,307	2,370
57,436	17,905	2,560	20,886	2,610	19,773	2,370
57,603	17,731	2,560	20,886	2,620	19,773	2,370
57,769	17,818	2,560	20,797	2,620	19,238	2,370
57,938	17,949	2,560	20,886	2,620	18,704	2,370
58,104	17,775	2,560	20,797	2,610	18,882	2,370
58,267	17,818	2,560	20,975	2,620	18,971	2,370
58,433	17,818	2,560	21,421	2,610	19,149	2,370
58,602	17,687	2,560	21,332	2,610	19,238	2,370
58,771	17,644	2,560	21,154	2,600	19,728	2,370
58,937	17,644	2,550	20,975	2,610	19,728	2,370
59,103	17,600	2,550	20,753	2,610	19,595	2,360
59,270	17,686	2,550	20,664	2,610	19,505	2,350
59,436	17,644	2,550	20,530	2,610	18,882	2,340
59,605	17,644	2,550	20,485	2,600	18,436	2,340

59,771	17,687	2,550	20,485	2,600	18,347	2,340
59,937	17,555	2,540	20,396	2,610	18,481	2,340
60,103	17,333	2,540	20,396	2,600	18,615	2,350
60,272	17,288	2,530	20,307	2,600	18,837	2,350
60,438	17,466	2,530	20,352	2,600	18,837	2,350
60,604	17,244	2,540	20,352	2,600	19,105	2,340
60,770	17,333	2,540	20,485	2,610	19,015	2,340
60,936	17,422	2,540	20,485	2,610	18,882	2,340
61,105	17,199	2,530	20,396	2,590	18,615	2,340
61,271	16,976	2,540	20,396	2,600	18,258	2,340
61,437	16,932	2,530	20,396	2,600	17,731	2,340
61,601	16,976	2,530	20,797	2,590	17,905	2,340
61,767	16,976	2,530	20,842	2,590	17,949	2,330
61,936	16,976	2,540	20,664	2,590	18,303	2,330
62,102	16,887	2,530	20,396	2,590	18,347	2,340
62,268	17,065	2,540	20,174	2,590	18,615	2,330
62,437	16,887	2,530	20,085	2,590	18,704	2,330
62,603	16,754	2,530	19,906	2,590	18,615	2,330
62,772	16,843	2,530	19,862	2,590	18,258	2,330
62,935	16,798	2,520	19,817	2,590	17,775	2,320
63,104	16,798	2,520	19,773	2,580	17,511	2,330
63,270	16,798	2,520	19,817	2,590	17,333	2,310
63,439	16,843	2,530	19,684	2,590	17,599	2,320
63,605	16,843	2,520	19,595	2,590	17,644	2,330
63,769	16,620	2,520	19,639	2,580	17,862	2,320
63,938	16,442	2,520	19,550	2,590	17,905	2,310
64,104	16,620	2,520	19,595	2,580	18,081	2,320
64,270	16,620	2,520	19,639	2,590	18,126	2,310
64,439	16,486	2,520	19,639	2,590	17,775	2,320
64,605	16,531	2,520	19,595	2,590	17,687	2,300
64,771	16,665	2,520	19,550	2,590	17,155	2,300
64,937	16,353	2,520	20,040	2,590	16,843	2,300
65,107	16,308	2,520	20,129	2,590	16,843	2,300

65,273	16,353	2,520	19,906	2,590	17,021	2,300
65,439	16,442	2,520	19,862	2,590	17,155	2,300
65,605	16,353	2,520	19,728	2,590	17,422	2,310
65,771	16,353	2,520	19,505	2,590	17,600	2,310
65,940	16,442	2,520	19,416	2,590	17,731	2,300
66,106	16,175	2,510	19,416	2,590	17,643	2,300
66,272	16,130	2,510	19,505	2,580	17,244	2,300
66,439	16,175	2,510	19,327	2,580	16,932	2,300
66,602	16,175	2,510	19,238	2,590	16,575	2,300
66,771	16,085	2,510	19,238	2,570	16,486	2,300
66,940	15,996	2,510	19,372	2,580	16,754	2,300
67,103	16,175	2,510	19,327	2,590	16,798	2,300
67,272	16,264	2,500	19,283	2,590	17,021	2,300
67,438	15,907	2,500	19,372	2,580	17,065	2,300
67,607	15,818	2,500	19,461	2,580	17,377	2,300
67,773	15,774	2,500	19,773	2,580	17,377	2,270
67,939	16,085	2,500	19,773	2,580	17,199	2,280
68,105	15,996	2,500	19,951	2,570	16,976	2,280
68,274	16,130	2,500	20,129	2,560	16,531	2,280
68,440	16,175	2,500	20,085	2,580	16,175	2,270
68,606	16,041	2,490	19,951	2,560	16,575	2,270
68,772	15,863	2,490	19,862	2,560	16,754	2,280
68,938	15,863	2,500	19,906	2,560	16,798	2,280
69,105	16,041	2,490	19,817	2,560	16,976	2,270
69,274	15,996	2,490	19,728	2,580	17,377	2,270
69,440	16,085	2,490	19,684	2,560	17,600	2,270
69,606	16,085	2,500	19,639	2,560	17,333	2,270
69,775	16,219	2,490	19,684	2,560	17,065	2,270
69,941	15,952	2,490	19,728	2,570	16,843	2,270
70,107	15,996	2,490	19,817	2,560	16,575	2,270
70,273	16,130	2,500	19,906	2,560	16,843	2,260
70,436	16,085	2,490	19,862	2,560	17,065	2,270
70,608	16,175	2,490	19,906	2,560	17,377	2,270

70,772	16,175	2,500	20,174	2,560	17,818	2,270
70,940	16,442	2,490	20,218	2,560	17,905	2,270
71,106	16,219	2,480	20,352	2,560	18,083	2,270
71,272	16,085	2,480	20,263	2,560	17,993	2,260
71,442	16,219	2,480	20,530	2,560	17,864	2,260
71,608	16,219	2,480	20,708	2,560	17,731	2,250
71,774	16,308	2,480	20,485	2,560	17,422	2,240
71,937	16,442	2,480	20,485	2,560	17,155	2,240
72,109	16,531	2,480	20,485	2,560	17,466	2,240

Quadro 2: Dados experimentais sobre o comportamento de temperatura e de umidade para o leito de 4kg.

Experimentos com massa de 4kg						
Tempo (h)	T (15min/1h)	X (b.s.) (15 min/1h)	T (15min/3h)	X (b.s.) (15 min/3h)	T (45min/1h)	X (b.s.) (45 min/1h)
0,081	22,925	3,000	25,507	3,000	31,681	3,000
0,250	22,881	2,990	25,989	3,000	32,438	3,000
0,416	22,747	2,990	26,390	3,000	32,795	3,000
0,582	22,792	2,990	26,746	2,990	33,240	3,000
0,748	22,792	3,000	27,058	3,000	33,502	3,000
0,915	22,792	2,990	27,504	3,000	33,633	3,000
1,084	22,703	3,000	27,637	3,000	34,076	3,000
1,250	21,946	2,980	28,083	3,000	32,928	2,980
1,416	21,816	2,980	28,484	3,000	29,988	2,980
1,582	21,815	2,990	28,840	2,980	26,702	2,960
1,745	21,685	2,980	29,285	2,980	23,282	2,950
1,917	21,641	2,980	29,635	2,990	23,193	2,940
2,081	21,421	2,980	29,899	2,990	23,594	2,940
2,247	21,243	2,980	30,345	2,990	23,816	2,940
2,413	20,218	2,970	30,567	2,980	24,173	2,940
2,579	19,461	2,970	30,968	2,980	24,529	2,920
2,751	19,416	2,970	31,458	2,980	24,841	2,920

2,914	19,550	2,970	31,815	2,980	22,703	2,920
3,083	19,550	2,970	31,948	2,970	20,975	2,920
3,249	19,461	2,960	29,681	2,960	19,595	2,900
3,415	19,550	2,970	29,635	2,960	17,775	2,890
3,584	18,793	2,970	30,478	2,960	16,976	2,890
3,751	17,862	2,950	30,879	2,960	17,555	2,890
3,917	17,994	2,960	31,414	2,960	17,949	2,890
4,083	18,125	2,960	31,948	2,950	18,214	2,890
4,249	18,082	2,950	32,483	2,950	18,793	2,890
4,418	18,214	2,950	33,106	2,960	18,837	2,890
4,584	18,214	2,950	33,590	2,940	18,704	2,870
4,745	18,303	2,950	34,210	2,950	17,422	2,860
4,917	17,465	2,950	34,745	2,940	16,620	2,860
5,080	16,932	2,940	35,279	2,940	15,907	2,850
5,246	17,065	2,940	36,036	2,940	14,838	2,840
5,418	17,110	2,940	36,615	2,940	15,105	2,850
5,584	17,110	2,940	37,455	2,940	15,506	2,840
5,750	17,199	2,940	37,942	2,940	15,907	2,850
5,916	17,333	2,940	38,521	2,930	16,219	2,840
6,085	16,932	2,940	39,100	2,930	16,754	2,830
6,252	16,219	2,940	39,724	2,930	16,976	2,830
6,418	16,264	2,940	36,748	2,910	16,264	2,830
6,584	16,531	2,930	33,545	2,890	15,640	2,820
6,752	16,620	2,940	34,878	2,890	15,061	2,820
6,919	16,665	2,940	35,858	2,890	14,393	2,810
7,085	16,709	2,930	36,615	2,890	14,084	2,810
7,248	16,932	2,930	37,368	2,890	14,749	2,800
7,417	15,996	2,920	38,075	2,880	14,972	2,800
7,583	15,818	2,930	38,744	2,890	15,685	2,800
7,749	16,041	2,920	39,234	2,880	16,085	2,800
7,915	16,041	2,930	39,902	2,880	16,219	2,800

8,081	15,952	2,930	40,525	2,880	16,308	2,800
8,247	16,130	2,920	41,147	2,870	15,640	2,790
8,419	16,130	2,920	41,674	2,870	15,195	2,790
8,585	15,996	2,910	42,164	2,870	14,883	2,770
8,751	15,105	2,910	42,609	2,860	14,171	2,760
8,918	15,239	2,910	43,144	2,860	14,304	2,770
9,084	15,284	2,910	43,366	2,860	14,794	2,770
9,253	15,551	2,910	43,945	2,860	15,373	2,760
9,419	15,595	2,910	44,257	2,850	15,818	2,760
9,585	15,863	2,910	43,188	2,840	16,130	2,770
9,751	15,818	2,910	36,036	2,810	16,620	2,770
9,920	15,061	2,910	36,081	2,810	15,996	2,760
10,086	14,972	2,910	37,194	2,810	15,373	2,750
10,252	15,016	2,910	37,719	2,810	15,105	2,740
10,418	15,105	2,910	38,387	2,810	14,571	2,740
10,587	15,195	2,910	38,744	2,810	14,084	2,740
10,753	15,284	2,910	39,278	2,810	14,615	2,740
10,919	15,373	2,910	39,590	2,810	15,239	2,740
11,080	15,061	2,910	40,035	2,810	15,595	2,740
11,252	14,705	2,880	40,392	2,790	15,952	2,730
11,421	14,794	2,890	41,060	2,790	16,575	2,730
11,587	14,927	2,900	41,322	2,780	16,486	2,720
11,753	14,972	2,900	41,941	2,780	15,774	2,720
11,919	14,838	2,900	42,342	2,790	15,195	2,710
12,085	15,016	2,900	42,876	2,790	14,749	2,710
12,254	15,016	2,890	43,099	2,780	14,619	2,690
12,420	14,571	2,880	43,366	2,780	14,348	2,690
12,586	14,348	2,890	43,678	2,790	15,016	2,700
12,752	14,437	2,890	44,124	2,780	15,284	2,690
12,921	14,571	2,890	39,679	2,760	15,818	2,700
13,087	14,705	2,890	35,413	2,740	16,175	2,690

13,253	14,794	2,890	36,526	2,740	16,798	2,690
13,419	14,838	2,890	37,281	2,740	16,041	2,690
13,588	14,571	2,890	37,764	2,740	15,551	2,680
13,754	13,821	2,890	38,165	2,740	14,927	2,670
13,920	14,128	2,890	38,298	2,740	14,305	2,660
14,087	14,084	2,890	38,476	2,730	14,127	2,660
14,253	14,260	2,890	38,833	2,730	14,705	2,660
14,422	14,259	2,890	39,011	2,730	14,972	2,660
14,588	14,348	2,890	39,323	2,720	15,462	2,660
14,754	14,571	2,890	39,679	2,730	15,863	2,660
14,920	13,908	2,870	39,946	2,730	16,264	2,660
15,088	13,734	2,870	40,303	2,730	16,264	2,660
15,254	13,777	2,880	40,615	2,720	15,417	2,650
15,421	13,908	2,870	40,793	2,720	15,105	2,640
15,587	13,996	2,880	41,191	2,710	14,571	2,630
15,753	13,996	2,880	41,235	2,720	13,821	2,620
15,922	14,085	2,870	41,543	2,720	14,171	2,620
16,085	13,952	2,870	41,631	2,710	14,615	2,620
16,254	13,823	2,860	35,056	2,690	14,838	2,630
16,420	13,512	2,870	35,324	2,690	15,284	2,620
16,589	13,689	2,860	36,170	2,690	15,907	2,620
16,752	13,821	2,860	36,437	2,690	16,264	2,630
16,916	13,952	2,860	36,526	2,690	15,506	2,620
17,085	13,996	2,860	36,660	2,680	15,239	2,610
17,251	13,997	2,860	36,571	2,680	14,482	2,600
17,422	13,245	2,860	36,660	2,680	13,865	2,600
17,588	15,376	2,860	36,927	2,680	15,285	2,590
17,755	13,245	2,860	37,105	2,680	13,995	2,600
17,915	13,645	2,860	37,194	2,680	14,526	2,600
18,090	13,776	2,860	37,237	2,670	14,927	2,590
18,256	13,645	2,860	37,455	2,670	15,239	2,600

18,422	13,777	2,860	37,588	2,670	15,685	2,600
18,585	13,423	2,860	37,719	2,660	15,863	2,600
18,751	12,222	2,850	37,942	2,670	15,105	2,570
18,923	13,066	2,860	38,075	2,660	14,526	2,570
19,089	13,066	2,850	38,209	2,660	13,952	2,570
19,255	13,111	2,850	38,387	2,660	13,377	2,560
19,421	13,289	2,850	36,125	2,650	13,200	2,570
19,587	13,556	2,850	32,438	2,640	13,821	2,560
19,756	13,687	2,850	33,239	2,640	14,259	2,560
19,923	13,111	2,850	33,589	2,640	14,749	2,560
20,089	12,888	2,840	33,589	2,640	15,239	2,560
20,255	12,888	2,840	33,502	2,630	15,595	2,560
20,421	12,977	2,850	33,590	2,630	14,927	2,550
20,587	13,155	2,840	33,545	2,630	14,216	2,540
20,756	13,334	2,840	33,545	2,630	13,865	2,540
20,922	13,556	2,850	33,545	2,630	13,066	2,520
21,088	13,155	2,850	33,590	2,630	11,065	2,520
21,257	12,222	2,830	33,633	2,630	13,200	2,520
21,423	12,933	2,840	33,765	2,620	13,865	2,520
21,590	13,066	2,830	33,634	2,630	14,085	2,520
21,756	13,289	2,830	33,809	2,620	14,615	2,520
21,924	13,512	2,830	33,765	2,620	15,016	2,520
22,091	13,734	2,830	33,809	2,620	14,705	2,520
22,257	13,865	2,830	34,032	2,620	14,084	2,510
22,423	13,066	2,830	33,987	2,620	13,689	2,510
22,589	14,042	2,830	34,388	2,610	12,933	2,500
22,758	13,245	2,830	29,901	2,610	12,131	2,490
22,924	13,378	2,830	29,944	2,600	11,553	2,490
23,090	13,645	2,830	30,434	2,600	13,155	2,490
23,256	13,733	2,830	30,389	2,590	13,645	2,490
23,425	13,865	2,830	30,478	2,590	14,041	2,490

23,588	13,687	2,830	30,523	2,590	14,615	2,490
23,754	12,266	2,810	30,478	2,590	14,883	2,490
23,920	13,111	2,830	30,389	2,590	14,215	2,480
24,089	13,467	2,830	30,434	2,590	13,734	2,470
24,258	13,601	2,830	30,389	2,590	13,022	2,470
24,422	13,734	2,830	30,434	2,590	12,710	2,470
24,591	13,908	2,820	30,389	2,590	13,952	2,460
24,757	14,084	2,830	30,434	2,590	12,976	2,460
24,923	13,555	2,810	30,478	2,590	13,378	2,460
25,092	15,951	2,810	30,478	2,590	13,776	2,460
25,258	13,645	2,810	30,478	2,580	14,260	2,460
25,424	13,821	2,810	30,567	2,590	14,838	2,450
25,590	13,865	2,810	30,656	2,590	14,749	2,450
25,756	13,865	2,810	30,701	2,580	13,995	2,440
25,925	14,215	2,810	29,549	2,570	13,423	2,440
26,091	13,995	2,800	27,504	2,570	12,977	2,440
26,258	12,889	2,800	27,860	2,560	12,443	2,430
26,424	13,777	2,800	27,949	2,560	15,820	2,430
26,593	13,865	2,800	28,083	2,560	13,066	2,420
26,759	14,172	2,800	27,994	2,560	13,645	2,420
26,925	14,172	2,800	27,994	2,560	14,084	2,420
27,088	14,348	2,800	28,172	2,560	14,571	2,420
27,260	14,482	2,800	27,994	2,560	14,972	2,420
27,426	13,952	2,800	27,994	2,560	14,215	2,420
27,592	13,908	2,800	27,949	2,560	13,952	2,410
27,758	14,040	2,800	27,949	2,560	13,334	2,410
27,924	14,128	2,800	28,038	2,560	12,755	2,390
28,093	14,526	2,800	27,994	2,560	12,354	2,400
28,260	14,526	2,800	28,083	2,550	13,066	2,390
28,426	14,660	2,800	28,305	2,550	13,467	2,400
28,592	14,349	2,800	28,350	2,550	14,039	2,390

28,761	13,555	2,790	28,395	2,550	14,526	2,390
28,927	14,084	2,790	28,484	2,560	15,150	2,390
29,090	14,437	2,800	28,484	2,550	15,061	2,390
29,256	14,437	2,790	26,301	2,540	14,393	2,380
29,425	14,615	2,790	26,301	2,540	13,908	2,380
29,594	14,883	2,800	26,613	2,530	13,155	2,380
29,757	15,061	2,790	26,568	2,530	12,799	2,360
29,923	14,216	2,780	26,613	2,530	12,933	2,360
30,089	14,215	2,780	26,568	2,530	13,689	2,360
30,261	14,348	2,770	26,613	2,530	14,217	2,360
30,424	14,437	2,780	26,524	2,530	14,660	2,360
30,591	14,571	2,780	26,568	2,530	15,284	2,360
30,760	14,749	2,790	26,568	2,530	15,863	2,360
30,926	15,105	2,770	26,568	2,530	14,883	2,360
31,095	14,660	2,770	26,657	2,530	14,571	2,350
31,261	14,128	2,770	26,613	2,530	13,995	2,340
31,427	14,172	2,770	26,568	2,530	13,111	2,330
31,593	14,482	2,770	26,835	2,530	12,977	2,330
31,760	14,749	2,770	26,702	2,530	13,690	2,330
31,929	14,838	2,770	26,791	2,530	14,171	2,330
32,095	14,794	2,770	26,791	2,530	14,794	2,330
32,261	15,016	2,770	27,014	2,530	15,284	2,330
32,427	14,439	2,770	26,390	2,510	15,729	2,330
32,593	14,261	2,760	24,796	2,520	15,863	2,330
32,762	14,348	2,760	25,064	2,510	15,016	2,320
32,929	14,571	2,760	25,197	2,510	14,526	2,320
33,092	14,972	2,760	25,286	2,510	13,777	2,300
33,258	15,061	2,760	25,242	2,510	12,844	2,300
33,427	14,972	2,750	25,064	2,510	13,512	2,300
33,596	14,794	2,760	25,197	2,500	14,127	2,300
33,762	14,173	2,750	25,108	2,500	14,660	2,300

33,928	14,172	2,760	25,286	2,510	15,150	2,300
34,094	14,526	2,750	25,107	2,500	15,729	2,300
34,261	14,838	2,760	25,242	2,500	16,442	2,300
34,430	14,749	2,760	25,331	2,510	15,462	2,290
34,596	14,883	2,760	25,286	2,500	14,794	2,290
34,762	15,150	2,750	25,375	2,500	14,172	2,280
34,928	14,348	2,750	25,507	2,500	13,423	2,270
35,094	14,039	2,750	25,464	2,500	13,022	2,270
35,263	14,259	2,750	25,464	2,500	13,821	2,270
35,429	14,526	2,740	25,638	2,500	14,393	2,270
35,593	14,705	2,750	25,595	2,490	15,105	2,270
35,762	14,927	2,740	23,594	2,490	15,551	2,270
35,928	14,927	2,740	23,683	2,490	16,130	2,270
36,097	14,660	2,730	23,905	2,490	16,041	2,270
36,260	13,734	2,730	23,772	2,500	14,972	2,260
36,426	13,908	2,730	23,905	2,490	14,526	2,250
36,593	14,259	2,730	23,816	2,490	13,777	2,250
36,762	14,348	2,730	23,861	2,490	13,376	2,240
36,931	14,660	2,730	23,772	2,480	13,334	2,240
37,097	14,705	2,730	23,727	2,490	14,128	2,250
37,263	14,883	2,730	23,905	2,490	14,615	2,240
37,429	13,952	2,730	23,816	2,490	15,105	2,240
37,595	13,908	2,730	23,905	2,490	15,729	2,240
37,764	14,039	2,730	23,772	2,480	16,219	2,250
37,930	14,215	2,730	23,772	2,490	15,284	2,240
38,096	14,304	2,730	23,905	2,490	14,838	2,230
38,262	14,482	2,730	23,861	2,490	13,908	2,230
38,431	14,705	2,730	23,995	2,490	12,933	2,220
38,597	14,172	2,720	24,084	2,490	12,842	2,210
38,763	13,644	2,730	24,039	2,470	13,289	2,210
38,929	13,734	2,730	23,727	2,470	14,041	2,210

39,098	13,995	2,720	22,569	2,470	14,660	2,210
39,264	14,128	2,720	22,703	2,460	15,105	2,210
39,430	14,215	2,720	22,747	2,470	15,863	2,220
39,596	14,304	2,730	22,792	2,470	15,685	2,210
39,760	14,526	2,730	22,703	2,460	14,660	2,200
39,931	13,777	2,720	22,569	2,470	13,909	2,200
40,097	13,423	2,710	22,703	2,460	12,799	2,200
40,263	13,733	2,710	22,747	2,460	11,420	2,190
40,430	13,865	2,710	22,614	2,460	12,532	2,190
40,596	13,996	2,710	22,614	2,460	13,289	2,190
40,762	14,127	2,710	22,658	2,460	14,126	2,190
40,931	14,259	2,700	22,614	2,460	14,393	2,190
41,097	13,909	2,710	22,792	2,460	15,061	2,190
41,260	13,022	2,700	22,747	2,460	15,595	2,190
41,432	13,200	2,700	22,703	2,460	14,705	2,170
41,598	13,512	2,700	22,747	2,460	13,732	2,170
41,759	13,734	2,700	22,703	2,460	12,888	2,170
41,930	13,908	2,700	22,703	2,460	12,042	2,170
42,096	13,952	2,700	22,792	2,460	11,819	2,160
42,262	14,261	2,700	21,287	2,450	12,309	2,170
42,431	13,289	2,700	21,465	2,450	13,155	2,170
42,594	12,977	2,700	21,510	2,450	13,645	2,170
42,766	13,289	2,700	21,465	2,450	14,217	2,170
42,932	13,689	2,700	21,509	2,450	14,838	2,170
43,098	13,995	2,700	21,287	2,450	14,615	2,150
43,264	13,821	2,700	21,376	2,450	13,600	2,150
43,430	14,128	2,700	21,465	2,440	12,888	2,140
43,596	13,821	2,700	21,332	2,450	11,908	2,150
43,763	13,022	2,690	21,332	2,450	10,618	2,140
43,931	13,375	2,680	21,287	2,440	11,596	2,150
44,095	13,334	2,690	21,376	2,450	12,220	2,140

44,264	13,734	2,690	21,465	2,440	12,844	2,150
44,433	13,995	2,690	21,421	2,450	13,334	2,140
44,593	13,996	2,680	21,465	2,450	14,041	2,140
44,762	14,348	2,680	21,465	2,450	14,304	2,140
44,928	13,512	2,670	21,509	2,450	13,467	2,140
45,100	14,085	2,670	21,509	2,440	12,933	2,130
45,266	13,511	2,680	21,510	2,450	12,042	2,120
45,429	13,865	2,680	20,975	2,450	10,973	2,120
45,598	13,952	2,670	19,995	2,430	12,706	2,120
45,764	14,260	2,670	20,129	2,420	11,418	2,120
45,930	14,348	2,670	20,263	2,430	11,997	2,120
46,096	14,085	2,670	20,218	2,420	12,844	2,120
46,265	13,200	2,670	20,174	2,420	13,334	2,120
46,434	13,423	2,670	20,307	2,420	13,734	2,120
46,600	13,821	2,670	20,129	2,430	13,600	2,120
46,766	13,995	2,670	20,174	2,430	12,799	2,110
46,929	14,084	2,670	20,085	2,420	10,929	2,110
47,098	14,393	2,670	20,218	2,420	11,062	2,090
47,264	14,838	2,670	20,218	2,420	13,643	2,090
47,433	13,952	2,660	20,396	2,420	10,487	2,090
47,599	13,600	2,660	20,352	2,430	11,507	2,090
47,765	13,995	2,660	20,352	2,420	12,265	2,090
47,934	14,128	2,650	20,619	2,420	12,621	2,090
48,100	14,393	2,650	20,619	2,430	13,022	2,090
48,266	14,794	2,660	20,664	2,420	13,645	2,090
48,432	15,061	2,640	20,664	2,420	12,755	2,080
48,598	14,660	2,640	20,708	2,420	12,131	2,080
48,767	13,951	2,640	19,550	2,420	12,352	2,080
48,933	14,217	2,640	19,684	2,420	10,751	2,080
49,099	14,437	2,640	19,639	2,420	10,709	2,080
49,266	14,749	2,640	19,728	2,420	10,442	2,080

49,434	15,105	2,640	19,862	2,420	11,775	2,080
49,601	15,284	2,640	19,728	2,410	12,131	2,080
49,767	15,551	2,640	19,817	2,420	12,755	2,080
49,933	14,482	2,640	19,773	2,410	13,111	2,080
50,102	14,083	2,640	19,862	2,420	13,289	2,080
50,268	14,660	2,640	19,817	2,420	12,309	2,060
50,434	15,016	2,640	19,995	2,410	11,819	2,060
50,600	15,284	2,630	20,040	2,420	11,062	2,060
50,769	15,551	2,630	20,085	2,420	11,238	2,050
50,935	15,907	2,630	20,129	2,420	14,885	2,060
51,101	15,373	2,630	20,218	2,420	11,374	2,050
51,267	14,393	2,620	20,441	2,420	11,997	2,050
51,433	14,749	2,630	20,530	2,410	12,755	2,050
51,602	15,150	2,620	20,575	2,420	13,066	2,050
51,768	15,595	2,620	20,664	2,420	13,289	2,050
51,932	15,818	2,630	20,396	2,400	13,022	2,050
52,098	16,175	2,620	19,505	2,400	12,309	2,050
52,264	16,442	2,620	19,862	2,410	11,507	2,040
52,433	15,328	2,610	19,862	2,400	10,839	2,020
52,599	14,927	2,600	19,817	2,390	10,130	2,030
52,765	15,373	2,600	19,862	2,400	12,974	2,020
52,934	15,818	2,600	19,862	2,390	12,042	2,030
53,103	16,175	2,600	19,995	2,390	12,576	2,020
53,266	16,620	2,600	19,862	2,400	13,022	2,030
53,432	16,843	2,600	20,040	2,390	13,689	2,030
53,601	16,397	2,600	20,263	2,390	13,645	2,030
53,770	15,373	2,600	20,218	2,390	13,066	2,030
53,933	15,863	2,600	20,307	2,390	12,265	2,020
54,100	16,130	2,590	20,441	2,390	11,329	2,020
54,268	16,486	2,580	20,530	2,390	10,705	2,020
54,432	16,976	2,580	20,664	2,390	11,240	2,020

54,601	17,110	2,580	20,708	2,390	12,042	2,020
54,767	17,555	2,570	20,975	2,390	12,621	2,020
54,936	16,219	2,570	20,886	2,390	13,066	2,020
55,102	15,818	2,570	20,842	2,390	13,689	2,020
55,271	16,353	2,570	19,684	2,390	13,995	2,010
55,437	16,887	2,570	19,773	2,390	13,245	2,020
55,603	17,110	2,560	19,906	2,390	12,665	2,000
55,769	17,862	2,550	19,951	2,390	11,864	2,000
55,936	17,993	2,560	19,951	2,390	11,285	1,990
56,102	17,465	2,560	20,040	2,390	11,017	1,990
56,271	15,996	2,550	20,129	2,390	11,864	1,990
56,437	16,353	2,550	20,129	2,390	12,487	1,990
56,603	16,932	2,540	20,129	2,390	13,022	1,990
56,769	17,644	2,540	20,174	2,390	13,467	1,990
56,938	17,950	2,530	20,263	2,390	14,128	1,990
57,104	18,436	2,530	20,307	2,390	14,084	1,990
57,270	18,837	2,530	20,664	2,390	12,977	1,990
57,437	17,199	2,530	20,664	2,390	12,487	1,990
57,603	16,575	2,520	20,664	2,390	11,819	1,980
57,772	17,376	2,530	20,797	2,380	12,130	1,970
57,938	17,818	2,510	20,842	2,390	11,196	1,960
58,104	18,436	2,510	20,708	2,390	13,820	1,970
58,270	18,882	2,500	20,886	2,390	12,933	1,970
58,436	19,372	2,510	20,886	2,380	13,289	1,970
58,605	18,882	2,500	19,728	2,380	13,865	1,960
58,771	16,887	2,500	19,817	2,380	14,304	1,980
58,937	17,643	2,490	19,995	2,370	13,732	1,970
59,103	18,214	2,490	20,129	2,370	12,888	1,970
59,272	18,793	2,490	19,906	2,360	12,220	1,960
59,438	19,327	2,490	19,951	2,360	11,285	1,960
59,604	19,906	2,480	19,951	2,360	12,309	1,960

59,771	20,441	2,480	20,085	2,360	11,775	1,960
59,937	18,659	2,480	20,129	2,370	12,354	1,960
60,105	17,731	2,460	20,085	2,370	12,977	1,960
60,269	18,704	2,460	20,174	2,360	13,334	1,960
60,435	19,327	2,460	20,174	2,370	13,952	1,960
60,604	19,995	2,460	20,396	2,370	13,821	1,960
60,773	20,441	2,460	20,441	2,360	13,066	1,940
60,939	21,020	2,450	20,396	2,360	12,042	1,940
61,105	20,352	2,450	20,530	2,360	11,285	1,940
61,271	17,818	2,430	20,619	2,370	12,575	1,930
61,437	18,837	2,430	20,664	2,360	16,040	1,940
61,603	19,773	2,440	20,575	2,370	12,042	1,930
61,772	20,396	2,430	19,505	2,370	12,532	1,940
61,935	20,931	2,420	19,550	2,370	12,933	1,940
62,101	21,597	2,420	19,550	2,350	13,289	1,940
62,273	22,035	2,410	19,461	2,350	13,952	1,930
62,439	19,773	2,410	19,595	2,350	13,066	1,940
62,603	18,481	2,400	19,728	2,350	12,042	1,920
62,769	19,862	2,400	19,550	2,350	11,329	1,930
62,935	20,753	2,390	19,639	2,350	10,705	1,920
63,106	21,287	2,380	19,505	2,350	9,953	1,910
63,273	21,773	2,380	19,505	2,350	11,151	1,910
63,439	22,391	2,380	19,639	2,350	11,953	1,910
63,602	21,860	2,380	19,639	2,350	12,265	1,920
63,774	18,971	2,380	19,684	2,350	12,799	1,910
63,940	19,773	2,350	19,951	2,350	13,155	1,910
64,106	20,842	2,350	19,684	2,350	12,933	1,910
64,272	21,729	2,350	19,728	2,360	12,175	1,910
64,438	22,302	2,350	19,862	2,350	11,329	1,900
64,607	22,925	2,350	19,906	2,350	10,395	1,890
64,773	23,594	2,350	19,951	2,350	10,041	1,890

64,937	21,020	2,340	19,595	2,350	14,975	1,890
65,103	19,728	2,320	18,793	2,340	10,884	1,890
65,272	21,109	2,320	18,748	2,350	11,507	1,890
65,441	22,169	2,320	18,748	2,350	11,864	1,890
65,604	22,836	2,320	18,748	2,350	12,265	1,890
65,773	23,505	2,320	18,971	2,350	12,844	1,890
65,936	24,084	2,320	18,793	2,340	11,953	1,890
66,105	23,282	2,310	18,837	2,350	11,285	1,890
66,271	20,352	2,290	18,882	2,350	10,217	1,880
66,437	21,154	2,290	18,748	2,350	12,530	1,870
66,606	22,525	2,290	18,882	2,350	8,711	1,880
66,773	19,639	2,290	18,837	2,340	10,976	1,870
66,939	20,263	2,290	18,882	2,350	14,975	1,880
67,108	20,753	2,270	18,882	2,340	13,108	1,870
67,274	21,243	2,270	19,015	2,340	11,507	1,880
67,440	19,015	2,260	19,015	2,350	12,131	1,880
67,606	18,037	2,260	18,926	2,340	12,397	1,860
67,775	19,194	2,250	19,060	2,340	10,928	1,860
67,941	19,995	2,250	19,149	2,350	11,819	1,860
68,107	20,753	2,250	19,060	2,340	8,709	1,860
68,274	21,287	2,240	17,862	2,320	9,510	1,860
68,440	21,772	2,240	18,214	2,320	10,533	1,860
68,603	21,109	2,220	18,214	2,320	9,999	1,860
68,775	18,436	2,220	18,170	2,320	9,465	1,860
68,938	19,149	2,220	18,215	2,320	11,195	1,860
69,104	20,218	2,220	18,081	2,320	11,374	1,860
69,270	19,639	2,210	18,169	2,320	11,908	1,860
69,442	20,263	2,210	18,258	2,320	12,930	1,860
69,606	20,753	2,200	18,169	2,320	9,997	1,860
69,769	21,243	2,200	18,214	2,320	7,955	1,830
69,941	19,015	2,200	18,303	2,320	9,333	1,840

70,107	18,037	2,190	18,214	2,320	8,220	1,830
70,276	19,194	2,180	18,214	2,320	7,333	1,830
70,442	19,995	2,180	18,481	2,320	11,997	1,830
70,608	20,753	2,170	18,392	2,320	10,575	1,840
70,774	21,287	2,160	18,525	2,320	10,485	1,830
70,940	21,772	2,160	18,704	2,320	11,062	1,830
71,109	21,109	2,160	18,615	2,320	15,906	1,830
71,275	18,436	2,150	18,704	2,320	10,621	1,830
71,436	19,149	2,150	18,303	2,320	9,687	1,830
71,605	20,218	2,150	17,731	2,320	10,707	1,830
71,771	19,639	2,140	17,686	2,320	7,242	1,830
71,940	20,263	2,140	17,905	2,320	9,465	1,830
72,024	20,441	2,130	17,862	2,320	8,487	1,830

Quadro 3: Dados experimentais sobre o comportamento de temperatura e de umidade para o leito de 6kg.

Experimentos com massa de 6kg						
Tempo (h)	T (15min/1h)	X (b.s.) (15 min/1h)	T (15min/3h)	X (b.s.) (15 min/3h)	T (45min/1h)	X (b.s.) (45 min/1h)
0,081	38,744	2,990	26,880	3,000	27,325	3,000
0,250	38,788	3,000	27,147	3,000	27,682	3,000
0,415	38,744	2,990	27,370	2,990	27,994	3,000
0,581	38,788	3,000	27,415	3,000	28,038	3,000
0,749	38,877	2,990	27,726	3,000	28,305	2,990
0,912	39,011	2,990	27,637	2,990	28,484	3,000
1,083	37,855	2,970	27,905	3,000	28,617	3,000
1,249	32,171	2,970	28,216	3,000	27,236	2,970
1,412	32,795	2,940	28,216	3,000	23,772	2,980
1,583	33,676	2,950	28,484	3,000	20,664	2,970
1,749	34,165	2,950	28,573	3,000	18,214	2,950
1,917	34,566	2,950	28,528	3,000	18,392	2,950
2,080	35,012	2,950	28,706	3,000	19,238	2,950

2,248	35,279	2,950	28,885	3,000	19,684	2,940
2,417	30,745	2,920	29,107	3,000	20,174	2,950
2,580	28,795	2,910	29,374	3,000	20,797	2,950
2,751	29,766	2,900	29,461	3,000	21,109	2,950
2,916	30,300	2,900	29,461	2,990	20,263	2,930
3,079	30,745	2,890	29,284	2,990	19,105	2,930
3,248	31,325	2,900	26,124	2,980	17,775	2,920
3,416	31,993	2,900	25,682	2,970	16,308	2,910
3,582	30,122	2,890	26,123	2,970	19,552	2,910
3,750	26,524	2,860	26,568	2,970	20,439	2,910
3,916	27,192	2,860	26,791	2,970	17,021	2,890
4,082	28,038	2,860	27,236	2,970	17,244	2,890
4,250	28,662	2,850	27,325	2,970	17,687	2,900
4,416	29,107	2,850	27,637	2,970	18,081	2,890
4,584	29,592	2,860	27,949	2,970	18,303	2,890
4,750	30,077	2,860	28,127	2,970	17,818	2,880
4,916	26,880	2,840	28,484	2,970	17,110	2,880
5,084	25,682	2,820	28,795	2,960	16,085	2,870
5,250	26,524	2,820	29,107	2,970	15,061	2,850
5,418	27,103	2,820	29,417	2,970	21,061	2,840
5,584	27,548	2,820	29,592	2,960	17,506	2,850
5,747	28,216	2,820	29,899	2,960	18,219	2,850
5,918	28,751	2,820	30,166	2,960	16,932	2,850
6,084	27,370	2,810	30,434	2,960	17,155	2,850
6,252	24,707	2,790	30,701	2,960	17,687	2,850
6,418	25,464	2,780	28,350	2,960	17,466	2,840
6,583	26,034	2,780	25,108	2,940	17,199	2,820
6,752	26,702	2,770	26,034	2,950	16,264	2,820
6,915	27,281	2,780	26,479	2,940	15,150	2,820
7,086	27,593	2,770	27,370	2,940	14,219	2,810
7,251	27,949	2,780	27,771	2,930	17,951	2,800

7,414	25,507	2,760	28,127	2,930	16,707	2,800
7,585	24,485	2,750	28,439	2,930	18,263	2,800
7,751	25,197	2,750	28,885	2,930	16,798	2,810
7,919	25,769	2,750	29,461	2,930	17,110	2,800
8,082	26,345	2,750	29,855	2,930	17,644	2,800
8,251	26,746	2,750	30,434	2,920	17,333	2,780
8,419	27,325	2,740	30,612	2,940	16,620	2,780
8,582	26,301	2,730	31,146	2,930	15,595	2,770
8,753	23,816	2,720	31,503	2,930	14,749	2,770
8,919	24,574	2,710	31,904	2,930	15,416	2,770
9,082	25,197	2,710	32,305	2,930	15,640	2,770
9,250	25,725	2,710	32,527	2,920	16,130	2,770
9,419	26,256	2,700	32,839	2,930	16,620	2,770
9,584	26,791	2,710	32,082	2,920	16,976	2,770
9,750	27,236	2,710	27,236	2,910	17,377	2,770
9,918	24,796	2,710	26,702	2,900	17,422	2,750
10,087	23,727	2,670	27,593	2,900	16,976	2,740
10,250	24,574	2,670	28,395	2,900	15,996	2,740
10,418	25,019	2,670	29,107	2,900	14,794	2,720
10,587	25,725	2,670	29,811	2,890	13,019	2,720
10,752	26,078	2,690	30,389	2,880	19,195	2,720
10,918	26,746	2,680	31,013	2,880	19,195	2,720
11,086	25,595	2,680	31,592	2,880	16,130	2,720
11,252	23,282	2,640	32,171	2,880	18,530	2,720
11,417	23,816	2,650	32,705	2,880	16,973	2,720
11,586	24,529	2,650	33,284	2,880	17,555	2,720
11,752	24,975	2,640	33,765	2,880	16,932	2,710
11,920	25,551	2,650	34,299	2,880	16,264	2,690
12,086	26,212	2,650	34,655	2,880	15,150	2,690
12,254	26,702	2,650	35,056	2,880	14,171	2,680
12,420	24,173	2,630	35,546	2,880	17,729	2,680

12,585	23,059	2,620	35,858	2,880	15,506	2,670
12,754	23,950	2,620	36,304	2,880	15,818	2,680
12,919	24,618	2,620	31,547	2,850	16,219	2,680
13,088	25,064	2,620	27,014	2,840	16,887	2,670
13,253	25,551	2,630	28,617	2,830	17,065	2,670
13,419	26,078	2,610	29,548	2,830	17,065	2,670
13,587	25,019	2,610	30,612	2,830	16,486	2,650
13,753	22,703	2,590	31,503	2,830	15,373	2,650
13,921	23,193	2,580	32,305	2,820	14,215	2,640
14,087	23,950	2,600	33,106	2,830	12,751	2,620
14,250	24,485	2,590	33,854	2,830	13,463	2,630
14,421	24,975	2,580	34,433	2,830	15,284	2,620
14,586	25,551	2,590	35,190	2,820	15,729	2,620
14,755	26,167	2,580	35,725	2,820	16,219	2,620
14,921	23,594	2,570	36,393	2,830	16,932	2,620
15,086	22,747	2,560	36,794	2,810	17,065	2,620
15,254	23,594	2,560	37,455	2,810	16,531	2,600
15,417	24,084	2,550	37,719	2,810	15,551	2,590
15,588	24,663	2,560	38,209	2,810	14,482	2,600
15,754	25,108	2,560	38,476	2,810	13,512	2,580
15,917	25,638	2,560	38,966	2,800	12,753	2,570
16,088	24,618	2,550	37,368	2,800	13,995	2,580
16,254	22,391	2,530	29,682	2,780	13,952	2,570
16,422	22,881	2,540	28,840	2,770	16,619	2,570
16,585	23,549	2,530	30,077	2,770	19,018	2,570
16,756	24,128	2,530	31,191	2,770	19,995	2,580
16,921	24,707	2,530	32,305	2,770	17,195	2,560
17,087	24,975	2,520	33,415	2,760	18,040	2,540
17,255	25,507	2,530	34,255	2,760	18,439	2,530
17,418	23,104	2,510	35,235	2,750	18,217	2,530
17,586	22,124	2,500	35,814	2,750	15,107	2,520

17,755	22,970	2,500	36,482	2,750	13,730	2,520
17,923	23,638	2,490	37,325	2,750	17,508	2,520
18,086	24,084	2,500	37,764	2,750	15,375	2,520
18,254	24,618	2,490	38,476	2,750	18,085	2,510
18,423	25,108	2,490	38,877	2,750	19,726	2,510
18,586	24,173	2,480	39,323	2,730	16,843	2,500
18,754	23,504	2,470	39,724	2,730	15,996	2,500
18,922	22,346	2,480	40,080	2,730	14,972	2,480
19,088	23,015	2,470	40,392	2,740	13,734	2,480
19,254	23,594	2,470	40,659	2,730	15,463	2,460
19,422	24,173	2,460	34,433	2,720	14,175	2,460
19,590	24,752	2,460	28,706	2,700	13,107	2,460
19,753	25,242	2,470	30,211	2,690	17,774	2,450
19,921	22,925	2,450	31,547	2,700	14,618	2,450
20,090	21,641	2,440	32,572	2,700	19,106	2,450
20,255	22,614	2,440	33,589	2,680	14,265	2,450
20,421	23,193	2,440	34,522	2,690	16,130	2,460
20,589	23,772	2,440	35,502	2,680	14,883	2,430
20,755	24,262	2,440	36,304	2,680	13,644	2,430
20,921	24,841	2,440	37,194	2,680	11,775	2,410
21,089	23,772	2,440	37,808	2,680	12,220	2,390
21,257	22,751	2,410	38,254	2,680	11,687	2,390
21,423	22,079	2,410	38,922	2,680	15,773	2,400
21,589	22,792	2,410	39,456	2,680	16,396	2,400
21,757	23,282	2,410	39,902	2,670	16,973	2,390
21,922	23,950	2,410	40,392	2,670	16,041	2,390
22,088	24,529	2,420	40,704	2,660	16,264	2,390
22,256	24,930	2,430	41,060	2,660	15,373	2,370
22,422	22,658	2,410	41,322	2,670	14,305	2,360
22,590	21,554	2,390	39,679	2,660	12,086	2,360
22,756	22,480	2,390	31,057	2,640	12,620	2,330

22,924	23,193	2,390	30,166	2,630	15,507	2,330
23,090	23,683	2,390	31,592	2,620	16,795	2,330
23,256	24,128	2,390	32,661	2,630	15,863	2,340
23,424	24,752	2,390	33,809	2,620	13,864	2,340
23,590	23,905	2,390	34,789	2,630	16,175	2,330
23,758	21,376	2,360	35,680	2,620	16,175	2,330
23,924	22,079	2,370	36,705	2,620	15,774	2,310
24,090	22,747	2,360	37,455	2,610	14,749	2,310
24,258	23,371	2,370	38,120	2,620	13,556	2,300
24,424	24,084	2,370	38,655	2,620	14,886	2,290
24,589	24,440	2,370	39,501	2,610	11,197	2,270
24,758	25,019	2,370	40,035	2,610	12,486	2,280
24,920	22,658	2,350	40,258	2,610	13,998	2,270
25,092	21,641	2,340	40,748	2,610	17,951	2,270
25,257	22,658	2,350	41,147	2,610	17,152	2,260
25,420	23,193	2,330	41,541	2,610	15,775	2,260
25,591	23,727	2,350	41,852	2,600	16,486	2,260
25,757	24,173	2,340	42,119	2,600	15,284	2,250
25,926	24,707	2,330	35,858	2,590	14,084	2,230
26,089	23,950	2,320	29,767	2,560	13,066	2,240
26,257	21,729	2,320	31,414	2,560	16,130	2,210
26,425	22,124	2,310	32,705	2,560	13,730	2,220
26,588	23,059	2,320	33,898	2,570	20,573	2,210
26,757	23,683	2,320	34,878	2,550	15,553	2,210
26,925	24,128	2,320	35,947	2,560	15,373	2,200
27,088	24,796	2,320	36,794	2,560	16,130	2,210
27,257	25,420	2,310	37,631	2,560	16,932	2,210
27,425	22,970	2,290	38,565	2,550	16,308	2,200
27,591	21,947	2,290	39,100	2,550	14,794	2,180
27,756	22,792	2,290	39,679	2,540	13,865	2,160
27,925	23,415	2,280	40,258	2,540	12,888	2,150

28,091	24,039	2,280	40,659	2,550	14,930	2,150
28,256	24,618	2,280	41,278	2,540	14,040	2,150
28,425	25,242	2,280	41,496	2,550	14,975	2,150
28,593	24,351	2,270	41,985	2,550	14,973	2,150
28,759	20,394	2,260	42,297	2,540	16,485	2,140
28,925	22,569	2,260	42,475	2,550	20,040	2,140
29,093	23,326	2,250	40,791	2,540	23,149	2,140
29,259	23,772	2,260	32,037	2,520	16,041	2,120
29,424	24,440	2,260	31,191	2,510	14,526	2,110
29,593	25,064	2,250	32,616	2,500	13,423	2,100
29,759	25,595	2,250	33,943	2,490	16,752	2,080
29,927	23,104	2,240	34,923	2,490	17,552	2,090
30,092	22,080	2,230	35,992	2,490	13,241	2,080
30,258	23,015	2,230	36,927	2,490	14,664	2,080
30,427	23,727	2,230	37,675	2,490	19,595	2,080
30,592	24,217	2,220	38,521	2,490	22,572	2,070
30,761	24,796	2,220	39,145	2,490	19,151	2,070
30,926	25,507	2,220	39,813	2,490	15,108	2,070
31,089	24,440	2,200	40,436	2,490	15,061	2,050
31,261	21,815	2,190	41,060	2,490	13,995	2,040
31,426	22,480	2,190	41,454	2,490	12,977	2,020
31,589	23,282	2,200	41,852	2,490	13,063	2,020
31,760	23,861	2,190	42,208	2,490	15,106	2,020
31,926	24,529	2,190	42,431	2,490	19,951	2,020
32,094	25,108	2,190	42,743	2,480	14,796	2,020
32,257	25,856	2,190	43,233	2,470	17,329	2,000
32,426	23,059	2,180	36,392	2,460	17,907	2,010
32,594	21,772	2,170	30,211	2,440	18,170	2,010
32,757	22,925	2,170	31,948	2,440	15,907	1,990
32,926	23,594	2,170	33,327	2,440	14,482	1,980
33,094	24,262	2,160	34,344	2,440	13,334	1,970

33,257	24,841	2,160	35,413	2,440	16,041	1,960
33,425	25,464	2,170	36,215	2,440	13,062	1,950
33,594	24,395	2,150	37,237	2,430	20,040	1,950
33,759	21,553	2,140	38,120	2,430	13,997	1,940
33,925	22,302	2,140	38,788	2,430	17,595	1,950
34,093	23,015	2,140	39,545	2,430	15,507	1,940
34,262	23,905	2,140	40,125	2,430	18,258	1,940
34,425	24,351	2,140	40,570	2,430	16,754	1,940
34,593	24,930	2,130	41,104	2,430	14,883	1,930
34,761	25,638	2,140	41,585	2,420	13,555	1,910
34,927	22,836	2,110	42,030	2,420	18,084	1,900
35,093	21,685	2,110	42,342	2,420	11,553	1,900
35,261	22,658	2,110	42,520	2,420	13,641	1,890
35,427	23,193	2,120	42,965	2,420	17,817	1,880
35,593	24,084	2,100	41,100	2,410	15,107	1,880
35,761	24,574	2,100	31,770	2,390	12,841	1,880
35,927	25,197	2,110	30,790	2,390	22,838	1,890
36,095	24,084	2,100	32,394	2,380	18,169	1,880
36,261	20,931	2,080	33,458	2,380	15,462	1,870
36,429	21,991	2,080	34,700	2,370	13,734	1,850
36,595	22,747	2,080	35,546	2,380	12,755	1,860
36,761	23,415	2,080	36,571	2,370	13,820	1,850
36,929	24,128	2,080	37,368	2,380	17,284	1,830
37,092	24,796	2,080	38,165	2,360	17,951	1,830
37,263	25,551	2,080	38,788	2,360	19,016	1,830
37,429	22,435	2,060	39,456	2,360	18,928	1,830
37,592	21,020	2,050	40,169	2,370	16,976	1,830
37,763	22,213	2,050	40,615	2,360	17,993	1,830
37,928	22,970	2,050	41,104	2,360	16,219	1,820
38,097	23,594	2,050	41,453	2,360	14,216	1,820
38,260	24,262	2,050	41,985	2,360	12,977	1,800

38,428	24,796	2,050	42,164	2,360	11,285	1,800
38,597	23,772	2,030	42,431	2,360	8,131	1,800
38,759	19,908	2,030	42,654	2,360	13,196	1,790
38,928	21,641	2,030	35,769	2,340	12,264	1,770
39,096	22,480	2,020	29,505	2,320	18,305	1,780
39,259	23,104	2,030	31,235	2,310	20,794	1,790
39,427	23,727	2,030	32,616	2,310	16,796	1,790
39,596	24,440	2,030	33,676	2,320	17,465	1,770
39,762	25,019	2,020	34,655	2,310	14,660	1,770
39,927	21,991	2,000	35,591	2,300	13,066	1,750
40,096	20,708	2,010	36,482	2,310	12,532	1,750
40,264	21,728	2,000	37,237	2,310	12,575	1,740
40,427	22,569	2,000	38,165	2,310	11,288	1,740
40,596	23,326	1,990	38,833	2,300	14,662	1,750
40,764	24,084	2,000	39,367	2,300	14,175	1,740
40,930	24,574	1,990	39,946	2,300	17,463	1,740
41,095	23,326	1,980	40,392	2,310	15,375	1,740
41,264	20,129	1,980	40,793	2,300	17,107	1,730
41,429	20,886	1,960	41,278	2,310	14,263	1,730
41,595	22,169	1,970	41,718	2,290	16,616	1,720
41,764	22,525	1,970	42,030	2,290	11,642	1,710
41,929	23,371	1,970	42,342	2,300	12,665	1,700
42,098	24,039	1,970	40,392	2,290	15,240	1,700
42,263	24,752	1,960	30,613	2,270	15,464	1,690
42,432	21,640	1,960	29,945	2,260	18,041	1,690
42,597	20,218	1,940	31,458	2,250	17,464	1,690
42,763	21,421	1,950	32,705	2,260	17,151	1,690
42,932	22,391	1,940	33,677	2,250	16,353	1,690
43,097	22,925	1,930	34,700	2,240	16,620	1,690
43,260	23,549	1,950	35,591	2,250	14,039	1,670
43,431	24,173	1,950	36,482	2,240	12,755	1,660

43,597	23,015	1,940	37,281	2,240	11,775	1,670
43,765	19,506	1,930	37,986	2,240	10,709	1,650
43,931	20,708	1,930	38,655	2,250	11,241	1,650
44,097	21,772	1,930	39,323	2,240	16,174	1,650
44,265	22,480	1,930	39,590	2,250	14,573	1,650
44,428	23,148	1,920	40,258	2,250	19,639	1,650
44,599	23,683	1,920	40,615	2,250	19,905	1,650
44,765	24,574	1,920	41,104	2,250	16,484	1,650
44,927	21,551	1,900	41,409	2,240	17,907	1,630
45,099	20,129	1,890	41,718	2,240	13,198	1,640
45,265	21,198	1,900	42,030	2,240	14,041	1,620
45,433	21,991	1,890	34,967	2,230	11,819	1,620
45,596	22,658	1,900	28,528	2,190	10,887	1,620
45,764	23,415	1,900	30,567	2,190	11,065	1,610
45,933	24,039	1,900	31,770	2,200	11,995	1,610
46,096	23,104	1,890	33,062	2,200	13,819	1,610
46,264	22,750	1,890	34,121	2,190	13,909	1,620
46,433	20,664	1,890	34,967	2,190	15,774	1,600
46,596	21,728	1,890	35,814	2,190	15,952	1,600
46,764	22,525	1,890	36,660	2,190	13,467	1,590
46,933	23,282	1,880	37,413	2,200	17,108	1,600
47,099	23,950	1,880	38,165	2,190	15,241	1,590
47,265	24,574	1,880	38,699	2,180	13,596	1,580
47,433	21,640	1,870	39,367	2,190	10,176	1,570
47,596	16,706	1,860	39,857	2,180	13,063	1,570
47,767	21,243	1,860	40,525	2,190	15,463	1,570
47,933	22,257	1,860	40,748	2,190	14,397	1,570
48,096	23,148	1,860	41,235	2,190	11,508	1,570
48,268	23,772	1,860	41,497	2,190	16,041	1,570
48,433	24,485	1,850	41,896	2,190	14,615	1,560
48,596	23,549	1,850	40,035	2,170	12,977	1,560

48,768	19,995	1,830	30,302	2,170	12,086	1,550
48,934	20,975	1,840	29,724	2,150	11,686	1,530
49,097	21,903	1,840	31,458	2,150	14,085	1,540
49,265	22,881	1,830	32,527	2,160	16,085	1,530
49,434	23,549	1,830	33,810	2,140	12,664	1,540
49,600	24,173	1,830	34,745	2,160	10,220	1,530
49,766	24,885	1,820	35,635	2,150	15,241	1,530
49,934	22,035	1,810	36,482	2,130	15,239	1,540
50,100	21,593	1,810	37,237	2,130	19,285	1,530
50,263	21,728	1,820	38,075	2,140	14,395	1,530
50,432	22,658	1,810	38,788	2,130	12,842	1,510
50,601	23,371	1,810	39,323	2,130	12,665	1,500
50,766	24,084	1,810	39,902	2,130	13,154	1,510
50,932	24,841	1,800	40,392	2,140	14,265	1,500
51,101	23,683	1,800	40,837	2,130	16,707	1,510
51,267	19,685	1,780	41,191	2,140	17,419	1,510
51,435	21,243	1,790	41,585	2,130	17,816	1,510
51,601	22,257	1,780	42,030	2,140	15,863	1,510
51,764	23,148	1,780	42,208	2,140	16,531	1,510
51,936	23,995	1,780	34,923	2,110	15,061	1,480
52,101	24,752	1,780	28,484	2,100	13,600	1,470
52,265	25,375	1,780	30,656	2,090	12,799	1,470
52,433	22,169	1,760	32,126	2,080	10,574	1,480
52,602	20,664	1,760	33,327	2,090	12,665	1,480
52,765	21,903	1,760	34,388	2,080	13,241	1,480
52,934	22,792	1,760	35,368	2,090	14,485	1,460
53,102	23,638	1,750	36,348	2,080	12,885	1,470
53,268	24,440	1,760	37,105	2,090	16,928	1,470
53,434	25,153	1,750	37,764	2,090	17,063	1,460
53,603	23,861	1,740	38,432	2,090	23,861	1,450
53,769	19,197	1,730	39,055	2,090	15,419	1,450

53,932	21,287	1,730	39,635	2,080	17,284	1,450
54,101	22,614	1,730	40,214	2,070	15,152	1,450
54,269	23,237	1,730	40,615	2,080	11,375	1,430
54,435	24,217	1,730	41,104	2,060	13,285	1,440
54,601	24,752	1,740	41,496	2,080	13,819	1,430
54,770	25,638	1,730	41,807	2,060	11,064	1,430
54,936	21,993	1,710	42,297	2,060	15,373	1,430
55,099	22,352	1,710	40,214	2,060	16,041	1,430
55,267	21,685	1,710	29,725	2,050	16,887	1,430
55,436	22,703	1,710	29,548	2,030	15,640	1,420
55,602	23,505	1,700	31,191	2,030	13,556	1,420
55,767	24,395	1,700	32,305	2,030	11,195	1,400
55,936	25,019	1,700	33,415	2,020	15,063	1,410
56,099	24,039	1,700	34,388	2,020	11,153	1,400
56,270	19,773	1,680	35,190	2,030	15,774	1,390
56,434	20,975	1,680	36,170	2,020	17,773	1,400
56,602	22,124	1,680	36,838	2,030	17,552	1,400
56,768	23,104	1,680	37,455	2,030	18,529	1,400
56,937	23,772	1,680	38,165	2,010	16,219	1,400
57,100	24,707	1,680	38,788	2,010	16,752	1,400
57,269	25,419	1,680	39,234	2,010	10,842	1,380
57,434	21,685	1,670	39,768	2,010	12,841	1,380
57,603	19,906	1,650	40,080	2,010	13,198	1,380
57,769	21,421	1,660	40,525	2,000	10,129	1,360
57,935	22,391	1,660	40,971	2,000	14,795	1,360
58,103	23,193	1,650	41,235	2,000	16,262	1,360
58,269	24,039	1,660	41,453	2,010	12,840	1,360
58,435	24,752	1,660	33,546	1,980	16,130	1,370
58,604	23,638	1,650	27,236	1,970	14,842	1,360
58,770	19,327	1,640	29,417	1,960	18,041	1,360
58,936	20,530	1,640	30,879	1,970	15,239	1,360

59,104	21,641	1,640	31,993	1,960	13,776	1,350
59,270	22,569	1,640	32,928	1,960	11,776	1,340
59,436	23,415	1,630	33,765	1,960	14,799	1,340
59,604	24,262	1,630	34,655	1,960	13,065	1,340
59,767	24,885	1,630	35,324	1,960	13,507	1,340
59,936	21,064	1,620	35,903	1,950	13,373	1,340
60,104	19,416	1,620	36,526	1,950	15,240	1,340
60,267	20,797	1,620	37,194	1,950	20,749	1,340
60,436	21,772	1,620	37,543	1,950	20,529	1,340
60,604	22,703	1,620	38,075	1,950	21,106	1,340
60,767	23,415	1,620	38,521	1,940	13,909	1,320
60,936	24,173	1,610	38,877	1,950	11,775	1,310
61,105	22,836	1,610	39,367	1,950	13,997	1,310
61,270	18,083	1,590	39,590	1,950	13,732	1,310
61,436	19,773	1,590	40,035	1,950	12,132	1,310
61,604	20,886	1,590	37,590	1,950	18,130	1,310
61,770	21,991	1,590	27,726	1,920	14,263	1,310
61,936	22,747	1,590	27,504	1,920	17,552	1,320
62,105	23,326	1,590	29,107	1,920	17,328	1,310
62,270	23,995	1,590	30,389	1,900	16,395	1,310
62,439	20,218	1,580	31,280	1,900	17,195	1,290
62,605	18,484	1,570	32,215	1,900	13,773	1,290
62,768	20,129	1,560	32,839	1,900	13,109	1,290
62,937	21,154	1,560	33,415	1,890	13,420	1,280
63,103	22,168	1,560	34,210	1,890	15,197	1,290
63,271	22,792	1,560	34,789	1,890	13,507	1,280
63,437	23,638	1,560	35,413	1,890	14,040	1,280
63,606	22,126	1,570	35,725	1,890	16,130	1,280
63,769	17,994	1,550	36,393	1,890	20,306	1,280
63,938	19,105	1,550	36,660	1,890	16,528	1,280
64,104	20,396	1,550	37,194	1,890	15,330	1,280

64,270	21,376	1,550	37,368	1,890	12,796	1,260
64,438	22,168	1,550	37,897	1,890	11,951	1,260
64,601	22,792	1,540	38,075	1,880	12,176	1,260
64,773	23,371	1,550	38,565	1,890	14,620	1,260
64,939	19,639	1,540	30,568	1,870	11,955	1,250
65,105	17,727	1,530	25,240	1,860	12,087	1,250
65,271	19,283	1,530	27,058	1,860	12,130	1,250
65,435	17,333	1,540	28,484	1,850	19,415	1,250
65,600	17,600	1,540	29,461	1,850	16,306	1,250
65,768	17,862	1,530	30,300	1,840	17,995	1,260
65,931	17,775	1,530	31,191	1,830	12,353	1,240
66,102	17,818	1,530	31,815	1,830	14,351	1,240
66,267	17,995	1,520	32,394	1,830	12,887	1,230
66,435	18,169	1,520	32,750	1,840	14,220	1,230
66,600	18,347	1,520	33,545	1,840	8,177	1,230
66,768	18,481	1,510	33,854	1,840	12,664	1,220
66,933	18,704	1,510	34,522	1,830	12,752	1,230
67,101	16,798	1,510	34,789	1,840	13,153	1,220
67,267	14,794	1,510	35,324	1,840	12,441	1,230
67,435	13,111	1,500	35,591	1,840	15,462	1,230
67,600	12,264	1,500	35,814	1,840	13,996	1,230
67,765	14,571	1,500	36,393	1,840	11,464	1,210
67,933	14,883	1,490	36,571	1,830	11,108	1,200
68,101	15,150	1,490	34,167	1,830	10,443	1,200
68,266	15,685	1,490	25,328	1,810	12,708	1,200
68,432	15,952	1,480	25,506	1,810	10,664	1,200
68,603	16,219	1,480	26,746	1,800	14,130	1,200
68,768	16,575	1,480	27,860	1,800	13,907	1,200
68,936	16,798	1,470	28,751	1,790	19,328	1,200
69,098	17,155	1,470	29,635	1,800	13,508	1,200
69,269	17,466	1,470	30,345	1,800	14,885	1,200

69,434	17,644	1,460	30,790	1,800	12,798	1,190
69,602	17,731	1,460	31,547	1,790	14,707	1,180
69,768	17,994	1,460	31,948	1,800	12,931	1,170
69,936	18,215	1,450	32,527	1,800	11,065	1,180
70,101	18,347	1,450	32,928	1,790	11,952	1,180
70,269	18,392	1,450	33,545	1,800	12,976	1,170
70,434	18,615	1,440	33,854	1,800	17,595	1,170
70,602	18,837	1,440	34,255	1,790	16,662	1,170
70,767	17,818	1,440	34,655	1,780	11,775	1,170
70,933	15,818	1,430	35,056	1,790	18,441	1,180
71,101	14,173	1,430	35,279	1,790	14,396	1,170
71,269	13,908	1,430	35,502	1,780	12,308	1,160
71,434	14,794	1,430	28,883	1,780	9,776	1,160
71,599	15,462	1,420	23,861	1,750	10,042	1,150
71,770	15,907	1,420	25,857	1,750	15,019	1,150
71,935	16,219	1,420	26,925	1,750	9,509	1,150
72,019	16,531	1,420	27,325	1,750	11,509	1,140