



Ante-projeto de instalações térmicas de uma fábrica de farinha de bolota

Relatório técnico

Luís Frólén Ribeiro, Prof. Doutor

*Com a contribuição do trabalho elaborado com os alunos do
Mestrado em Engenharia Mecânica 2023/2024*

Amilton Patrick Lopes Cabral

Antonio Victor de Souza Correa

Bruno Sousa Mendes

César Hernández Leitão

Lara Cristine Magalhães Oliveira de Carvalho

Natanael Henrique Marcelino Castro

Paulo Bruno Rossi da Silva

Yuranick Ivoaltino de Carvalho Duarte

Janeiro, 2025

Conteúdo

1	Introdução	1
2	Enquadramento Geral	2
3	Descrição do processo	3
3.1	Lavagem e Pré-Secagem	3
3.2	Desidratação	3
3.3	Taninos	3
4	Proposta técnica	3
4.1	Layout	3
4.2	Características Técnicas - Linha seca	6
4.2.1	Critérios de Exclusão	6
4.2.2	Avaliações Energéticas	6
4.3	Características Técnicas - Linha húmida	9
4.3.1	Critérios de Exclusão	9
4.3.2	Avaliações Energéticas	10
5	Soluções Construtivas e Energéticas	10
5.1	Captação de Águas Pluviais	10
5.2	Extração de Taninos	10
5.2.1	Métodos de extração	10
5.2.2	Processo de extração	11
5.2.3	Tipos de extração	12
5.3	Análise resumo de custo água	13
5.4	Soluções para instalação atual	14
5.5	Produção de Biogás	18
6	Notas Finais	19
A	Anexo A	20
A.1	Permutador de calor - aquecimento do ar	20
A.2	Condensador	21
A.3	Permutador de calor - arrefecimento da água do condensador	23
A.4	Bombas - câmara de secagem	24

Lista de Figuras

1	Planta do pavilhão industrial	5
2	Mapa de irradiação para as coordenadas latitude/longitude: 41,335,-8,610	7
3	Comparação de diferentes cenários de produção de calor e respetivo LCOH	8
4	Esteira de lavagem. Adaptado de [1]	9
5	Evaporação rotativa. Adaptada de [2]	13
6	Máquina de lavagem noz-pecã	14
7	Lavadora de nozes	15
8	Limpador de azeitona e cereais	15
9	Removedor de folhas utilizado em lagar de azeite	16
10	Esteira de calibragem de azeitona	17
11	Britador de frutos secos	18
12	Gráfico fator de correção F para permutadores de calor alhetados com escoamento cruzado e fluidos não misturados. Adaptado de [3]	24

Lista de Tabelas

1	Parâmetros dos equipamentos	6
2	Quantidade de água coletada	11
3	Tabela de análise de custo de água	13
4	Características técnicas do processo de lavagem	19
5	Características técnicas do processo de secagem	19
6	Parâmetros de dimensionamento do permutador de aquecimento do ar	20
7	Parâmetros para dimensionamento do condensador	21
8	Parâmetros para dimensionamento do permutador de arrefecimento da água do condensador	23

1 Introdução

Este relatório baseia-se em parte no trabalho final dos alunos do Mestrado de Engenharia Mecânica do Instituto Politécnico de Bragança, desenvolvido na UC de Projeto de Sistemas Térmicos, no ano de 2023/2024. O trabalho original dos alunos, elaborado em contexto de sala de aula, foi posteriormente corrigido, completado e editado para se tornar num documento útil na industrialização da farinha de bolota. No entanto, este documento terá que permanecer alguns anos em confidencialidade por envolver aspectos sensíveis da indústria transformadora da bolota.

O objetivo deste projeto foi o de desenvolver o projeto térmico necessário para a desidratação de bolotas. Os cálculos são apresentados para 1 *ton/h* de matéria-prima durante 40 horas semanais.

A bolota utilizada como referência para o caso de estudo foi a bolota proveniente da azinheira (*Quercus rotundifolia*). Este produto já foi, outrora, parte da alimentação mediterrânica. É um produto com elevado teor energético, sendo possível transformar e produzir subprodutos com essas características.

As infraestruturas locais e as necessidades complementares ao desenvolvimento do projeto foram identificadas após uma visita ao pavilhão industrial desta fábrica. Identificaram-se alguns *bottle necks* relativos à dimensão da fábrica, à separação do núcleo e da casca da bolota e também ao sistema de desidratação existente. Estas condicionantes são importantes por levarem a restrições nos cálculos e também ao *re-design* do sistema de secagem. A dimensão da fábrica não permite a instalação de coletores solares térmicos para mais de 10% da capacidade necessária à desidratação do fruto. Todo o processamento começa na admissão da matéria-prima para a lavagem, sendo esta lavada e enxaguada e conduzida à transformação da matéria-prima. A secagem, onde será recebido o núcleo da bolota (a casca pode ser aproveitada para outros fins conforme será mencionado neste relatório) e proceder-se à desidratação. Após estes dois processos, o produto final será o núcleo da bolota desidratado para a produção de farinha. A produção de farinha requer certas condições específicas de secagem para atingir níveis desejados de humidade no seu interior.

Analisaram-se três tecnologias para a entrega do serviço de calor. A desidratação dos frutos é o mais dispendiosa em termos económicos no tratamento deste fruto pois requer vastas quantidades de calor. Para além da avaliação das três tecnologias separadamente, realizaram-se combinações para identificar o melhor valor de custo nivelado de calor (*LCOH - Levelized Cost of Heat*). Este parâmetro determina o custo total de cada *kWh_{th}* necessário ao processo de desidratação.

Admitiram-se diversos cenários. Os valores apresentados são relacionados ao pior cenário possível (custo mais elevado), assim como todos os prós e contras existentes pelas tecnologias escolhidas. A última parte deste relatório consiste em soluções energéticas e construtivas, relativas à fábrica atual e para melhorar o desempenho além de diminuir certos custos do processo.

2 Enquadramento Geral

Desde 2020, que a empresa *Landratech*, trabalha a cadeia de valor associada à bolota em Portugal. A *Landratech*, desde as práticas do melhoramento da apanha da bolota no terreno à investigação do perfil nutritivo de diferentes espécies, permitindo assim o desenvolvimento de novos produtos da bolota.

Entre estes produtos, encontra-se a farinha de bolota. A bolota de azinheira, a mais apreciada para a alimentação humana (por ser a mais doce, devido à baixa presença de taninos), está entre as variedades presentes na cadeia de valor.

Todo este processo presente no relatório permite iniciar/implementar a extração de outros subprodutos para acrescentar mais valor na cadeia, tais como os taninos vegetais. Serão possíveis de integrar nos seguintes setores:

- Setor vinícola, para a retificação de vinhos;
- Cosmética ou farmacêutica, para a síntese química;
- Curtimento de peles, em substituição de compostos tóxicos;
- Setor têxtil, como parte do processo de pigmentação ou na criação de têxteis funcionais que beneficiem das propriedades antimicrobianas ou antioxidantes extraídas da bolota;

A casca da bolota pode ser aproveitada para se implementar a produção de biogás, para compensar parte dos custos necessários para a entrega do serviço (calor).

Este projeto tem todo um interesse, pois em Portugal, existe uma quantidade estimada de 200 milhões de toneladas disponíveis, que de momento, servem apenas para o setor pecuário[4].

3 Descrição do processo

3.1 Lavagem e Pré-Secagem

Processo de lavagem inicia-se com a entrada das bolotas para uma esteira com escovas rotativas (escova de limpeza), com capacidade de processar 1 tonelada por hora. Em seguida, é aplicada água por meio de uma bomba através de dois jatos aspersores. Após a aplicação da água, as bolotas seguem para eliminação do excesso de água (pré-secagem) em outra esteira, que posteriormente se dirige para a fase de secagem. A água suja do processo é filtrada e retorna para o reservatório de água, formando um ciclo para o reaproveitamento da água no processo de lavagem das bolotas.

3.2 Desidratação

O miolo da bolota segue para uma câmara de desidratação, após a separação da cúpula e da casca, onde um fluxo de ar de 2 a 4 m/s , entre 40 e 50 $^{\circ}C$, para reduzir a humidade do miolo até 15 %.

3.3 Taninos

O processo de extração dos taninos é iniciado com a preparação da matéria-prima, seguida pela extração líquido-sólido e finaliza com o tratamento do efluente. Destacam-se os métodos e tipos de extração e suas especificidades.

4 Proposta técnica

4.1 Layout

Propõe-se uma planta baseada no pavilhão já utilizado pela empresa, com área de 200 m^2 localizado em Barcelos. A proposta contém duas zonas, seca e húmida, divididas dessa maneira porque uma delas envolve lavagem de produto e assim as tubagens e pormenores do processo de lavagem ficam melhores organizados se ficarem juntos, distribuindo melhor os equipamentos no pavilhão e encostando-os na parede com distância de pelos menos 3 m entre alguns deles para que fosse possível um operador e uma empilhadora estarem posicionados ao lado de cada equipamento. O intuito é atender as necessidades da empresa ao mesmo tempo que possibilita um fluxo otimizado do produto ao longo de seu processamento. Essa planta, presente na Figura 1, foi modificada seguindo recomendações e pedidos de alteração da empresa após uma primeira entrega.

As modificações incluem a adição de um laboratório **M** no piso **O**, um escritório **N** localizado em um piso **P**, construído em altura, e a fusão do separador **H** com o separador ótico **L**. Futuros trabalhos serão realizados para estudar a possibilidade de colocar a linha húmida em altura,

para criar uma área para depósito de produto advindo de três dias de produção; uma das alternativas é fazer esse depósito em altura e manter a linha húmida no piso **O**, portanto ambas as soluções necessitariam de equipamentos para elevação de produto. O desenho da Figura 1 mostra as modificações aplicadas no layout.

O layout, apresentado na Figura 1 funciona em duas zonas, as linhas seca e húmida. A linha húmida localizada na metade inferior do Piso **O** e a linha seca na sua parte superior.

A produção começa com a matéria-prima chegando pelo portão no canto inferior esquerdo do Piso **O** e colocado no Reservatório **F**, primeiro equipamento da linha húmida, seguindo para o Sepador físico em **I**, para remoção de galhos, folhas e pedras. Depois as bolotas vão para a Estação de lavagem em **J** onde são lavados na Esteira de lavagem **K**.

Espera-se que, após saírem da esteira, estejam secas o suficiente para ir ao Separador Óptico **L** para seleção de tamanhos, por estarem agora acoplados, são direcionados para o Separador **H**.

Os núcleos separados são enviados para a linha seca, primeiro para a Câmara de Secagem em **A** e depois para armazenamento em depósito que será pensado em trabalhos futuros.

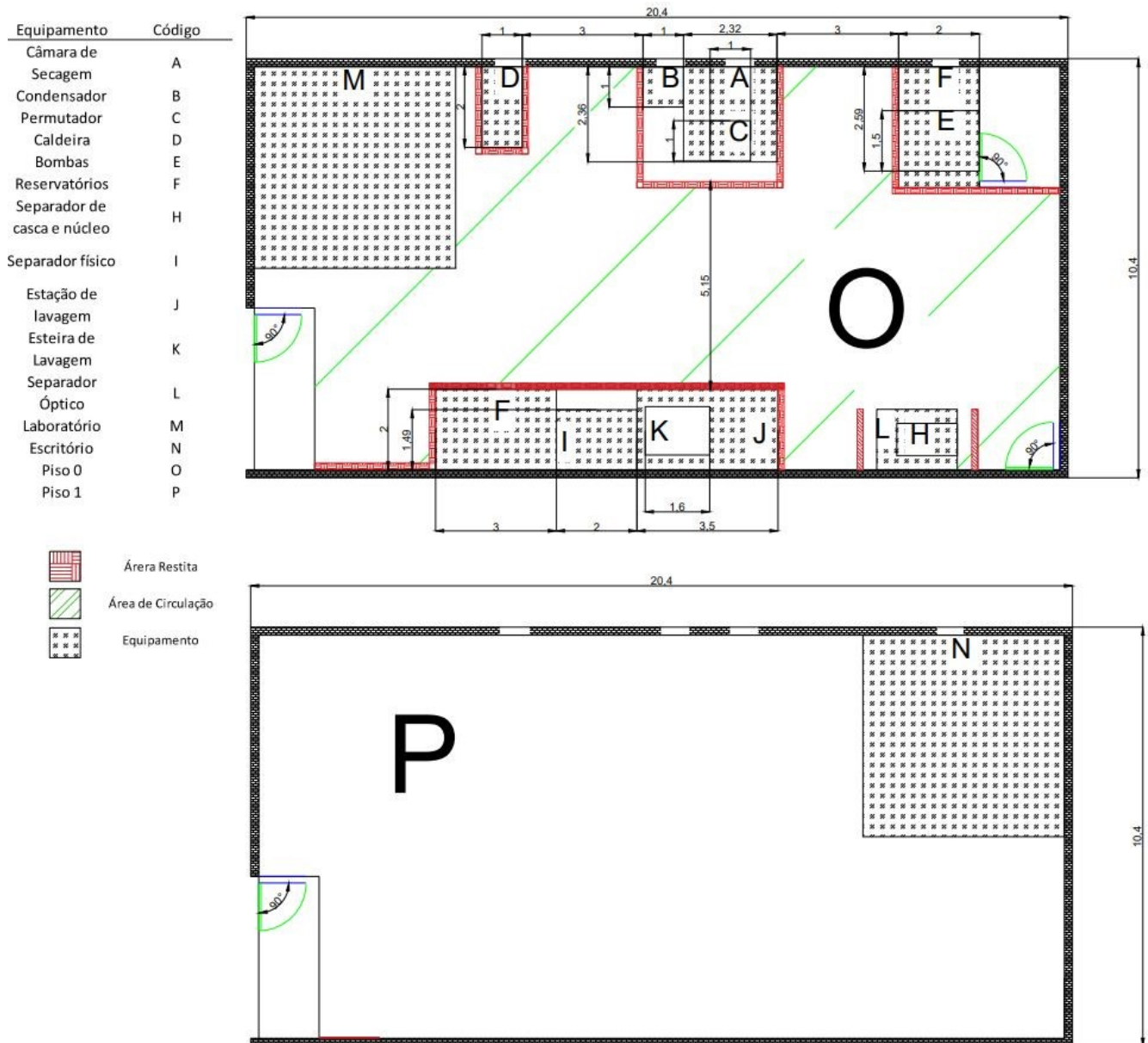


Figura 1: Planta do pavilhão industrial

4.2 Características Técnicas - Linha seca

Para o processo de secagem dimensionou-se três permutadores de calor, duas bombas d'água e uma caldeira. Os permutadores são responsáveis pelo aquecimento do ar de secagem, condensador e arrefecimento d'água do condensador. As bombas são empregadas na circulação da água de aquecimento do ar e na circulação da água do condensador. A tabela 1 apresenta os principais parâmetros dos equipamentos dimensionados. A água quente fornecida para o processo é aquecida numa caldeira até uma temperatura máxima de 80°C, onde, através do permutador de calor, pode elevar a temperatura do ar até 60°C. O aquecimento da água realiza-se com uma caldeira e coletores térmicos, fornecendo uma potência de 500 *kWth*.

Tabela 1: Parâmetros dos equipamentos

	Permutador aquecimento	Permutador condensador	Permutador arrefecimento	Bomba aquecimento	Bomba arrefecimento
Caudal volumétrico de água (m^3/h)	22	18	18	22	18
Caudal volumétrico de ar (m^3/h)	30,000	30,000	90,000	-	-
Área para troca térmica (m^2)	44	5	126	-	-
Tipo de tubo	Alhetado	Liso	Alhetado	-	-
Comprimento da tubagem (m)	20	15	57	-	-
Potência transmitida ao fluido (W)	-	-	-	478	502

O anexo A apresenta os parâmetros e equações utilizadas para o dimensionamento dos equipamentos apresentados na Tabela 1.

4.2.1 Critérios de Exclusão

Não foi contemplado no cálculo do LCOH quaisquer custos relativos ao transporte e instalação.

4.2.2 Avaliações Energéticas

A análise foi feita através do cálculo do LCOH (Levelized Cost of Heat), custo nivelado do calor [5] que é uma ferramenta económica utilizada para comparar o custo de diferentes tecnologias que forneçam o mesmo serviço.

Uma das possibilidades de geração de calor é a utilização de coletores solares. Eles têm como vantagem a independência energética e baixa emissão de carbono. Como inconveniente tem o alto custo inicial além da necessidade de grande superfície exposta ao sol. A localização geográfica da instalação influencia diretamente o desempenho dos coletores solares.

Elaborou-se a Figura 2 através da consulta da base de dados geo-temporal de irradiação PVGIS-5, através do qual é possível identificar os meses com menor radiação. Recorre-se este mapa em conjunto com a percentagem destinada à potência do parque solar para dimensionar a sua área. As coordenadas escolhidas são de uma região próxima ao atual pavilhão e podem ser consideradas para fins de análise.

Selecionaram-se coletores fixos de placas planas devido ao máximo de temperatura de trabalho ser até 100 °C. Este resultado é perfeitamente aceitável para uma temperatura máxima de secagem de 40 °C. Estes equipamentos também são mais baratos e requerem menor manutenção.

Hour	Global Daily irradiance [W/m ²]											
00:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06:45	0	0	0	8	40	52	42	15	0	0	0	0
07:45	0	0	28	113	154	161	147	125	101	29	0	0
08:45	2	104	197	280	323	318	312	301	297	226	134	4
09:45	226	305	375	450	486	472	483	482	476	389	297	246
10:45	380	476	511	576	609	599	633	647	663	543	440	400
11:45	478	601	625	688	732	719	768	791	779	633	532	503
12:45	549	654	653	745	793	811	861	879	846	666	561	549
13:45	510	645	683	751	816	824	880	895	859	653	535	529
14:45	473	594	634	677	750	781	833	836	771	586	462	455
15:45	395	501	540	585	630	662	722	715	655	458	368	369
16:45	197	372	399	428	471	502	549	535	462	301	101	39
17:45	9	94	227	247	286	314	349	328	247	48	1	0
18:45	0	0	24	73	115	140	157	122	28	0	0	0
19:45	0	0	0	1	24	42	42	15	0	0	0	0
20:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total energy W*h/day*m ²	3219	4346	4896	5622	6229	6397	6778	6686	6184	4532	3431	3094
Month	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez

Figura 2: Mapa de irradiação para as coordenadas latitude/longitude: 41,335,-8,610

Um dos possíveis cenários avaliados foi a geração de calor através de uma bomba de calor. Esta tecnologia apresenta como vantagens o baixo custo de manutenção e alta eficiência na geração de calor. Apresenta como inconvenientes o elevado investimento inicial e de ser alimentada pela rede elétrica. Segundo a Planta Industrial, observa-se que como o seu investimento inicial é muito elevado (devido à quantidade necessária de calor a entregar na desidratação), as combinações possíveis que envolvam esta tecnologia, apresentam um LCOH elevado quando comparado com outras soluções.

Para a geração de calor através de caldeiras, avaliaram-se os equipamentos alimentados a

gás natural e biogás. As caldeiras a gás natural apresentam como vantagem o baixo custo de investimento inicial. As desvantagens são a elevada emissão de carbono e a dependência a um tipo único de combustível. As caldeiras a biogás apresentam as mesmas características das caldeiras a gás natural. No entanto, estas têm como vantagem adicional uma menor dependência da aquisição de combustível mas apresentam o inconveniente de necessitarem da construção de um biodigestor para a produção de biogás.

Calculou-se o LCOH para as caldeiras a gás natural com base nas informações contidas no artigo de revisão [6], onde se realizou uma análise técnico-econômica de tecnologias de aquecimento referente a onze países europeus. Calculou-se o LCOH para caldeiras a biogás com base nas informações utilizadas para caldeiras a gás natural adicionando o custo de implantação de um biodigestor.

GAS		EACH CELL REPRESENTS 10% OF CAPACITY										LCOH [€/kWh.th]										
POSSIBLE COMBINATIONS	SOLAR																				0,00390	
	HEAT PUMP																					0,00457
	BIO + GAS																					0,00686
																						0,00747
																						0,00983
																						0,01037
																						0,01279
																						0,01288
																						0,01326
																						0,01576
																						0,01616
																						0,01872
																						0,01906
																						0,02169
																						0,02186
																						0,02196
																						0,02465
																						0,02485
																						0,02762
																						0,02775
																					0,03058	
																					0,03065	
																					0,03084	
																					0,03355	
																					0,03956	
																					0,03982	
																					0,04558	
																					0,04880	
																					0,05159	
																					0,05761	
																					0,05778	
																					0,06363	
																					0,06677	
																					0,06964	
																					0,07566	
																					0,07575	
																					0,08168	
																					0,08473	
																					0,08769	
																					0,09371	

Figura 3: Comparação de diferentes cenários de produção de calor e respetivo LCOH

Após essas análises, seleciona-se qual a tecnologia mais adequada para esta fábrica. Para tal, prepararam-se diversas combinações de matrizes energéticas, dispostas na tabela representada na Figura 3. Nesta tabela, cada linha representa uma combinação de tecnologias e cada parcela

representa 10% da potência. Na última coluna, está o LCOH para cada cenário, podendo ser observados quais são os mais econômicos.

4.3 Características Técnicas - Linha húmida

A esteira de lavagem foi dimensionada para um diâmetro médio da bolota de 2 *cm* e uma massa de 7 *g*, assim como uma largura máxima de 1,2 *m* para possibilitar a remoção de pedras ou bolotas inadequadas para o processo pelo operador. O tempo de lavagem é de 2 minutos. As dimensões definidas para a esteira de lavagem foram de 1,6x1,2 *m*, com uma velocidade de 0,8 *m/min*.

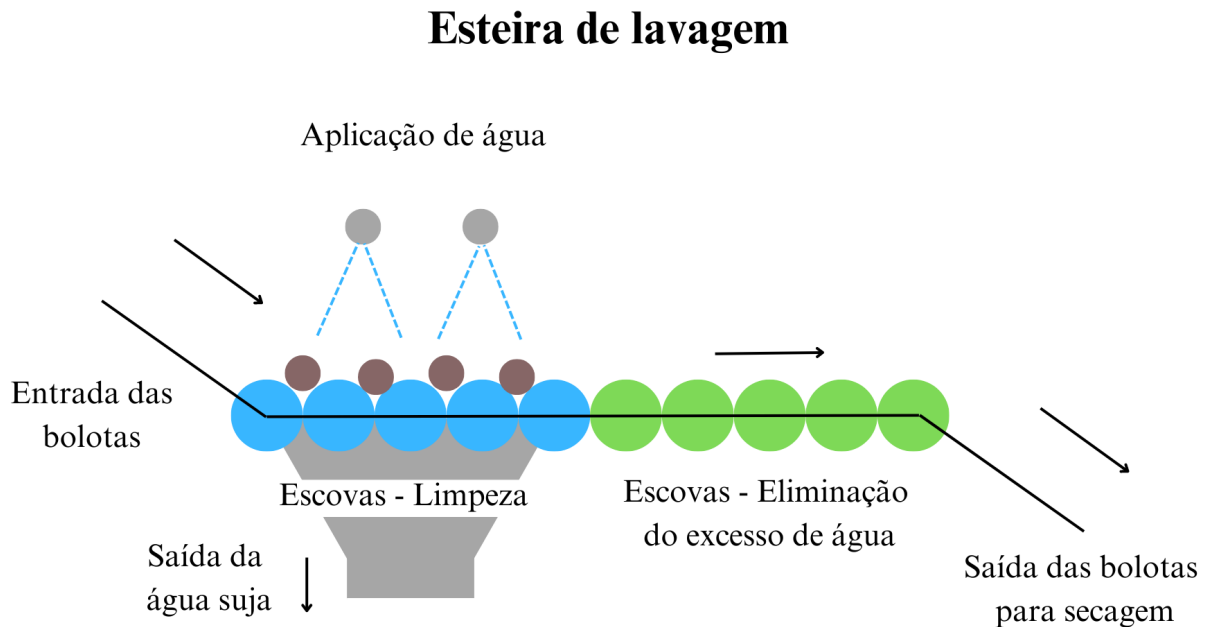


Figura 4: Esteira de lavagem. Adaptado de [1]

A lavagem é proporcionada por um conjunto de escovas rotativas, que movem as bolotas, e por dois aspersores com diâmetro de entrada de 3/8 ' e diâmetro de saída de 1/21 ', com velocidade do jato d'água de 25,5 *m/s*, caudal de 1,2 *m³/s* e ângulo de saída de 120 °.

4.3.1 Critérios de Exclusão

Excluiu-se da análise o tipo de filtro para filtragem da água e cálculos específicos sobre utilização da água em exceção ao processo.

4.3.2 Avaliações Energéticas

O custo energético para operar as duas bombas de 1 kW cada, por 8 horas no processo de lavagem de bolotas com o custo da energia de 0,1887 euros/kWh, seria de 3,02 euros.

5 Soluções Construtivas e Energéticas

5.1 Captação de Águas Pluviais

A captação de águas pluviais representa uma prática sustentável crucial na gestão eficiente dos recursos hídricos. Diante da crescente importância ambiental e da necessidade de conservação da água, a implementação de sistemas de captação se apresenta como uma solução viável.

Antes de prosseguir com tais sistemas, é imperativo realizar cálculos precisos para estimar a quantidade de água da chuva que pode ser coletada. É essencial a consideração de variáveis climáticas para dimensionamento adequado das estruturas de armazenamento e para assegurar a eficácia e sustentabilidade do processo.

A quantidade de água coletada, Q em m^3 , é o resultado da precipitação, H em mm , pela área de captação, A - m^2 , de acordo com a equação (1).

$$Q = H.A \quad (1)$$

A Tabela 2 apresenta a quantidade média mensal e anual para três das localidades estudadas. Para uma área de captação de $10000 m^2$, durante um ano médio em Amarante captam-se $10480 m^3$ de águas pluviais, $14010 m^3$ para Barcelos e $10310 m^3$ para a região de Ribeira de Pena.

5.2 Extração de Taninos

5.2.1 Métodos de extração

Convencional Os métodos de extração convencionais fazem o uso de solventes como o etanol, acetato de etila, metanol e acetona, utilizando o equipamento soxhlet, através da separação líquido-sólido, contudo, tem-se como inconveniente desses processos, o alto custo, dado a elevada necessidade do uso de energia, além da possibilidade de degradação de compostos voláteis, logo, sensíveis a mudanças de temperaturas de trabalho [7]. Com a busca para otimizar a obtenção de polifenóis, redução de custos e/ou impactos ambientais, desenvolveram-se e aprimoraram-se determinados métodos aplicando solventes não convencionais ao processo de extração, distintos equipamentos, aplicação de pressão negativa, fluidos supercríticos, por ondas ultrassônicas e micro-ondas [7].

Tabela 2: Quantidade de água coletada

	Amarante		Barcelos		Ribeira de Pena	
	H	Q	H	Q	H	Q
Janeiro	145	1450	202	2020	136	1360
Fevereiro	102	1020	136	1360	94	940
Março	94	940	127	1270	91	910
Abril	93	930	118	1180	93	930
Maiο	71	710	80	800	73	730
Junho	34	340	43	430	37	370
Julho	14	140	20	200	15	150
Agosto	20	200	29	290	23	230
Setembro	50	500	65	650	54	540
Outubro	143	1430	190	1900	141	1410
Novembro	132	1320	185	1850	130	1300
Dezembro	150	1500	206	2060	144	1440
Total		10480		14010		10310

5.2.2 Processo de extração

Preparação da matéria-prima Para obtenção de três tamanhos de partícula, utiliza-se um separador, a obtenção de diversos tamanhos da casca é baseada na variação da relação entre a velocidade da esteira de alimentação do separador e dos rolos que tracionam a casca, obtendo-se diferentes distribuições de tamanho de partículas. Para obter diferentes tamanhos de bolotas, utiliza-se um sistema de peneiras com 3 diferentes tamanhos. Após a separação, corta-se a casca para a matéria necessária para a extração [8].

Extração líquido-sólido Há diferentes tipos de extração, sendo necessário definir alguns parâmetros[8]:

- Razão líquido-sólido: A razão de líquido e sólido utilizada nas experiências foi determinada pela relação entre a massa de solvente e a massa de casca utilizada durante a extração.

- Temperatura de extração: A temperatura irá variar com o tipo de extração a ser feito, podendo necessitar do aquecimento ou não da água, em caso de aquecimento, é necessário um estudo de manutenção da temperatura.

Tratamento do efluente É preciso fazer um estudo sobre o melhor tratamento de acordo com o método de extração escolhido. O mais utilizado é o tratamento de destilação [8].

5.2.3 Tipos de extração

Autoclave A técnica mais difundida para a extração de taninos é a hidrosolubilização em vasos verticais pressurizados, que consiste numa difusão líquido-sólido (água-casca) dentro dos vasos (autoclaves). A temperatura de operação se situa entre 100 °C e 110 °C, para evitar a degradação por oxidação dos taninos, as cascas ficam submetidas a pressões entre 1,0 e 2,0 kgf/cm² por um tempo igual ou superior a 8 horas, que é melhor definido experimentalmente com a variação de tamanhos das cascas. O resultado do processo de extração é a obtenção do extrato de tanino de baixa concentração, contendo aproximadamente 10 por cento de sólidos em massa, e o restante do material processado constitui um descarte da casca após extração que segue para a próxima etapa do processo [8].

Difusor Apesar de ser conhecido pelo nome de extração por difusão, é um processo misto de lixiviação e osmose. Para que a extração ocorra, é necessário que as células vegetais estejam expostas para o contato com o solvente. Quando as células ficam expostas ao solvente e seu conteúdo é removido por lixiviação, enquanto as células que permaneceram fechadas são extraídas por difusão. No extrator, do tipo difusor, as cascas desfibradas e secas entram no equipamento por uma das extremidades e são transportadas para o contato com o solvente puro. Ao final do processo, em uma das extremidades, recolhe-se a fase líquida que constitui o extrato diluído e na outra se tem o material sólido esgotado com baixa concentração de sólidos extraíveis. Além disso, após o último contato entre o material sólido e o caldo, este passa por sistema de remoção de sólidos antes de seguir para a próxima etapa do processo, evitando que partículas pequenas de matéria-prima sejam arrastadas pelo extrato [8].

Evaporação rotativa Casca é triturada, onde cada 5 g de casca de bolota são adicionados 50 ml de solvente, o processo segue para a evaporação rotativa a 50°C e são adicionados 506 ml de água destilada para tornar o produto em solução aquosa [2], Figura 5.

Evaporação rotativa

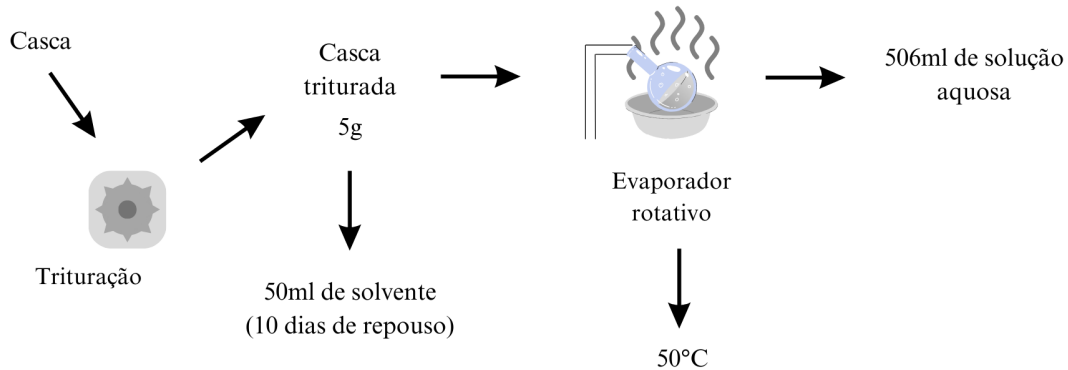


Figura 5: Evaporação rotativa. Adaptada de [2]

5.3 Análise resumo de custo água

A tabela 3 relaciona o custo de água mês por com extração de taninos e sem extração de taninos. Apresenta-se também os custos associados a cada patamar de gasto de água por mês. Consumos inferiores a $50 m^3$ terão um custo de 2,42 € e mais de $50 m^3$ é 3,00 €. Estes valores foram retirados do precário de águas de Barcelos [9]. Nesta tabela também se apresenta o custo por mês de água com reciclagem de 100%, que corresponde ao custo da água mensal se fosse possível reciclar toda a água do processo, 80% que seria o valor ideal de água reciclada e 0% que corresponde ao custo de água sem reutilização. São também apresentados dois parâmetros de comparação entre reciclar 80% da água e não reciclar, bem como a relação entre implementar taninos no custo de água final.

Tabela 3: Tabela de análise de custo de água

Circuito	Água gasta em 8 horas	Custo água		Porcentagem de água reciclada			Relação entre reciclar 80% e 0%
		<50 m^3/mes	>50 m^3/mes	100%	80%	0%	
Sem taninos	2,2 m^3	x		11,37 €	31,57 €	106,29 €	29,70%
Com taninos	26,5 m^3		x	170,15 €	492,97 €	1,590,21 €	31,00%
Relação entre o custo sem e com taninos				6,68%			



Figura 6: Máquina de lavagem noz-pecã

<http://www.schilin.com.br/agricola/maquina-3-em-1-lava-seca-umidifica-nozes>

5.4 Soluções para instalação atual

Nesta fase do relatório, serão apresentadas algumas propostas de máquinas empregadas em procedimentos análogos ao tratamento da bolota. Essas sugestões abordarão exemplos que contemplam uma gama de exemplos, desde uma potencial solução para lavagem, pré-secagem, calibração, trituração e separação da casca do miolo até a obtenção do produto final. Todos estes exemplos são dimensionados e escolhidos para resolver problemas atuais. Cada máquina corresponde a diferentes possíveis soluções.

Lavagem Na Figura 4, trata-se de um conjunto de máquinas Metal Schilin, utilizadas no Brasil para a lavagem da noz-pecã, que foi desenvolvido para dois processos distintos. Um é responsável por lavar e o outro de desumidificar os frutos em casca, à uma temperatura ajustável até 80°C. A máquina é composta por três módulos, sendo o primeiro das escovas, o segundo do tanque de lavagem e o terceiro da esteira de secagem. O sistema é alimentado com energia elétrica monofásica em 220V e os motores são controlados por inversores de frequência. O aquecimento da água pode ainda ser por coletores, como também por caldeira para aquecimento, utilizando as cascas ou mesmo lenha como combustível. O tanque principal tem capacidade de 400 litros de água. O tanque de apoio, chamado de pulmão, tem capacidade máxima de 150 litros. Ambos os níveis se ajustam automaticamente durante o processo. Cada ciclo pode comportar até 90 kg de frutos em casca. O tempo de cada ciclo é variável conforme as necessidades do processo.

Existem máquinas mais simples dedicadas as nozes que permitem lavar de forma rápida e fácil. Como opção existe a Lavadora e descascadora de nozes da marca AMB rousset como demonstra a Figura 7.

A instalação desta máquina de lavagem de nozes é extremamente simples, necessita apenas de uma tomada elétrica e de uma torneira de água. A adaptação para lavagem de bolota consiste em retirar as 4 placas de descasque.



Figura 7: Lavadora de nozes

<https://www.amb-rousset.com/es/lavado/lavadora-despелadora-n40/>



Figura 8: Limpador de azeitona e cereais

<https://carril.pt/produto/limpador-azeitona-e-cereais-inox-304l/>

Para o processo de lavar e descascar a noz, as características fundamentais do equipamento, incluem um tempo de ciclo de 15 minutos, com uma produção de 300 kg/h de nozes frescas, equivalente a 150 kg/h de nozes secas.

Esta máquina encontra-se projetada para operar em ambientes molhados, o que possibilita o seu funcionamento no interior de um tambor, podendo assim reutilizar a água, Figura 7.

Separação da casca do miolo Posteriormente à etapa de trituração da bolota seca, é necessário implementar um procedimento destinado à separação da casca em relação ao miolo. Tal segregação pode ser efetuada mediante a aplicação controlada de projeção de ar sobre o material triturado, promovendo, assim, uma distinção entre a casca, caracterizada por sua volatilidade, e o miolo, que apresenta uma maior densidade e precipitação mais significativa.

Segue-se na Figura 8 um exemplo de uma máquina limpador de azeitona e cereais aplicada na indústria semiprofissional.

Este limpador segue as seguintes características: O motor é monofásico, trabalha a uma voltagem



Figura 9: Removedor de folhas utilizado em lagar de azeite

<https://www.pieralisi.com/pt/pt/produtos/plantas-para-azeite-de-oliva/lavagem/elevador-de-cinta-com-desfolhador>

de 220 V e a uma frequência de 50 Hz, com uma potência máxima de 0,12 kW. Sua velocidade é variável, e varia de 0 a 3000 rotações por minuto (R.P.M.), atingindo uma velocidade máxima de 3000 R.P.M.

A capacidade da cuba é de 100 litros, proporcionando um ambiente adequado para os processos associados. Para garantir a segurança, o equipamento é equipado com uma funcionalidade de paragem de emergência.

Quanto ao desempenho, o equipamento demonstra um rendimento notável, sendo capaz de processar até 1000 kg/h. Apesar de sua eficiência, o peso do equipamento é relativamente leve, 42 kg. As dimensões do equipamento são especificadas como 1000 x 530 x 1280 mm, conferindo-lhe uma presença física que atende às necessidades práticas e de espaço.

A seguinte máquina, Figura ??, pode adotar um caráter mais industrial utilizado a máquina incorporada em um lagar de azeite, que elimina as folhas e ramos provenientes das oliveiras durante o processo de colheita da azeitona. Esta opera com base nos mesmos princípios que o método anterior, contudo, incorpora uma esteira transportadora e um ventilador de ar de elevada potência para aprimorar sua eficiência.

Calibragem Ao chegar ao armazém, a bolota apresenta-se de diversos tamanhos, o que ocasiona desafios no processo de trituração e na qualidade do produto resultante. A implementação de uma seleção de calibragem nessa fase possibilita a obtenção de um produto diferenciado em termos de qualidade, propiciando, assim, a produção de subprodutos de maior excelência. Este procedimento, contudo, não apenas favorece a diversificação da qualidade do produto, mas também contribui para aprimorar a eficácia do processo de trituração.

A realização de uma seleção que resulta em produtos com calibres uniformes facilita significativamente a calibração da máquina de trituração. Tal uniformidade torna o processo mais simples e

eficiente, promovendo uma trituração homogênea que, por conseguinte, melhora a qualidade global do produto final.

Na seguinte Figura 10 apresenta-se uma máquina de calibragem de azeitona utilizada na indústria. O exemplo é retirado da plataforma online Custojusto de um vendedor particular da zona de Mirandela.



Figura 10: Esteira de calibragem de azeitona

<https://www.custojusto.pt/portugal/q/calibradora+de+azeitona>

A esteira em questão opera por meio de cordas que se distanciam ao longo de seu percurso, proporcionando a queda das azeitonas conforme suas dimensões. Destaca-se que esta máquina específica está equipada com sete funis de calibragem, possibilitando a obtenção de produtos com a uniformidade satisfatória.

Britador para nozes e frutos secos Uma das fases essenciais do processo é dedicada ao descascamento da bolota. Dado que esta etapa sucede a fase de secagem. É possível realizar o descascamento por meio de um processo de esmagamento pois a bolota apresenta um núcleo resistente e uma casca desidratada que se desprende facilmente.

Na indústria, existem máquinas que empregam esse princípio de esmagamento para separar os grãos da casca. Esse método pode ser adaptado dos britadores de frutos secos, demonstrando uma abordagem eficaz para alcançar a separação desejada. A seguinte Figura 11 apresenta um modelo de britador encontrado em loja online.

Esta máquina permite descascar os frutos secos e separar o miolo das cascas. Trata entre 40 e 120 kg de nozes/hora na versão standard e até 200 kg de nozes/hora com a opção de um kit de calibragem na entrada das cascas. A qualidade do produto da máquina de descasque é muito melhorada se as nozes forem calibradas antes de serem partidas.



Figura 11: Britador de frutos secos
<https://www.amb-rousset.com/es/partidora/>

5.5 Produção de Biogás

O potencial de geração de biogás através da decomposição anaeróbica da biomassa gerada no processo foi estimado em 105 *ml* de biogás por grama de biomassa, totalizando aproximadamente 5,5 km^3 de biogás por mês. A estimativa tem como base o estudo [10], que considera a geração de biogás através da casca da castanha. Para a geração do biogás é necessária a implantação de um biodigestor anaeróbico, onde ocorre a decomposição da biomassa. Em função da decomposição anaeróbica ser atrelada ao tempo, é necessária a implantação de dois biodigestores em paralelo, permitindo a decomposição da matéria durante o período recomendado de um mês em um dos biodigestores enquanto o outro é alimentado. Após o término de um mês de permanência no biodigestor, a biomassa deve ser removida, podendo ser revendida como biofertilizante ou descartada.

O biodigestor considerado é do tipo não pressurizado, apresentando um custo de implantação estimado de 0,12 kEUR 2023/ m^3 [11]. Considerando o volume de cada bolota como 1,2 cm^3 [12] e 12,5% do volume referente a casca e cúpula, o volume total de cada biodigestor é de 33 m^3 , totalizando um custo de implantação de aproximadamente 8 kEUR 2023. A estimativa apresentada anteriormente não engloba possíveis custos relacionados a filtragem e beneficiamento do biogás produzido, assim como possíveis impactos do clima da região na atividade anaeróbica do biodigestor.

6 Notas Finais

Aqui resumem-se todas as especificações técnicas necessárias à implementação do sistema de lavagem e secagem para processamento de bolotas.

Tabela 4: Características técnicas do processo de lavagem

Lavagem	Características técnicas
Esteira	Dimensões: 1,6m x 1,2m Tipo: Escovas rotativas
Bombas	Caudal: 0,150m ³ /h Tipo: Axial-flow full cone nozzles series 490/491 – BA 490.408
Aspersores ¹	Quantidade: 2 de 120 ^o Velocidade do jato d'água: 25,5 m/s

¹ Catálogo Lechler, página 53

Tabela 5: Características técnicas do processo de secagem

Secagem	Características técnicas
Bombas	Aquecimento ar: 478W Arrefecimento condensador: 502W
Permutadores Calor	Ar: 1x1x0,3 [m], (8x3) $\phi = 62[mm]$ Água: 1x1x0,8 [m], (13x3) $\phi = 62[mm]$
Condensador	1x1x1 [m], (3x5) $\phi = 100[mm]$
Coletores Solares	Placas Planas ΔT 30 – 100 °C

A Anexo A

Este anexo apresenta os parâmetros adotados, conceitos utilizados e resultados obtidos no dimensionamento dos permutadores de calor da câmara de secagem e das bombas empregadas nos sistemas de aquecimento do ar e do condensador. Os parâmetros foram escolhidos em função da localização geográfica da empresa e da época do ano onde ocorre o pico de produção, considerando as condições de operação mais extremas para o funcionamento do equipamento.

A.1 Permutador de calor - aquecimento do ar

O tipo de permutador escolhido é de escoamento cruzado, água-ar, com fluidos não misturados com tubos alhetados, em função da necessidade do equipamento ocupar pouco espaço na empresa e pelos fluidos de trabalho empregados. O dimensionamento foi realizado através do método efetividade-NUT como apresentado por [13]. A tabela 6 apresenta os parâmetros utilizados para os cálculos.

Tabela 6: Parâmetros de dimensionamento do permutador de aquecimento do ar

Símbolo	Parâmetro	Valor	Unidade
$T_{ent,água}$	Temperatura de entrada da água	80	$^{\circ}C$
$T_{sai,água}$	Temperatura de saída da água	70	$^{\circ}C$
$T_{ent,ar}$	Temperatura de entrada do ar	10	$^{\circ}C$
$T_{sai,ar}$	Temperatura de saída do ar	60	$^{\circ}C$
$c_{p,ar}$	Calor específico do ar	1004	$J/(kgK)$
$c_{p,água}$	Calor específico da água	4199	$J/(kgK)$
$\dot{m}_{água}$	Caudal mássico da água	6	kg/s
\dot{Q}	Potência térmica	500	kW
U	Coefficiente global de transferência de calor	400	$W/(m^2K)$

Para encontrar a área mínima para troca térmica calculou-se a potência térmica máxima e o rácio entre as capacidades caloríficas, possibilitando o emprego do método efetividade-NUT como apresentado nas equações 2, 3 e 4, onde os termos \dot{Q}_{max} e C_r representam a potência térmica máxima e o rácio entre as capacidades caloríficas.

Efetividade:

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{max}} = 0,71 \quad (2)$$

NUT - número de unidades de transferência:

$$NUT = -\frac{1}{C_r} * \ln [C_r * \ln 1 - \varepsilon + 1] = 1,73 \quad (3)$$

Área mínima para troca térmica:

$$A = \frac{NUT * C_{ar}}{U} = 43,31 \text{ m}^2 \quad (4)$$

Considerando um tubo alhetado com área superficial de $2,2 \text{ m}^2$ por metro linear, com diâmetro de $0,062 \text{ m}$, necessita-se de um comprimento de tubo de aproximadamente 20 m , podendo ser disposto em oito fileiras e três colunas, totalizando um volume de $1 \times 1 \times 0,3 \text{ m}$.

A.2 Condensador

O tipo de permutador escolhido é de escoamento cruzado, água-ar, com fluidos não misturados com tubos lisos. Para o dimensionamento foram empregados os conceitos apresentados por [13] na secção referente a condensação em filme sobre sistemas radiais. A tabela 7 apresenta os parâmetros utilizados nos cálculos.

Tabela 7: Parâmetros para dimensionamento do condensador

Símbolo	Parâmetro	Valor	Unidade
$T_{\text{sai,ar}}$	Temperatura de saída do ar da câmara	45	$^{\circ}C$
\dot{m}	Taxa de condensação	452,90	kg/h
ϕ	Humidade relativa	0,95	—
$T_{\text{ent,água}}$	Temperatura de entrada da água	288,15	K
$T_{\text{sai,água}}$	Temperatura de saída da água	303,15	K
P_{sat}	Pressão de saturação	9642	Pa
T_{sat}	Temperatura de saturação	317,14	K
ρ_{ar}	Massa específica do ar	0,06	kg/m^3
$h_{\text{f,g}}$	Entalpia de vaporização	2397	kJ/kg
$T_{\text{água}}$	Temperatura da água	302,65	K
$\rho_{\text{água}}$	Massa específica da água	995,80	kg/m^3
$c_{\text{p,água}}$	Calor específico da água	4178	$kJ/(kgK)$
\dot{m}_{ar}	Caudal mássico de ar	9,96	kg/s
$c_{\text{p,ar}}$	Calor específico do ar	1004	$J/(kgK)$
U	Coefficiente global de transferência de calor	1000	$W/(m^2K)$
ν	Viscosidade cinemática da água	$0,123 \times 10^{-5}$	Ns/m^2
μ	Viscosidade dinâmica da água	$0,008 \times 10^{-5}$	Ns/m^2
D	Diâmetro do tubo	0,10	m
N	Número de tubos por coluna	3	—
g	Aceleração da gravidade	9,81	m/s^2
k	Condutividade térmica da água	617×10^{-3}	$W/(mK)$

Para a definição da área mínima para troca térmica necessária para a taxa de condensação estipulada, calculou-se a entalpia de vaporização modificada, o caudal mássico de água necessário e o coeficiente convectivo médio conforme as equações 5, 6, 7, 8.

Entalpia de vaporização modificada:

$$h'_{f,g} = h_{f,g} + 0,68 * c_{p,água} * (T_{sat} - T_{sai,água}) = 2436,7 \text{ kJ/kg} \quad (5)$$

Taxa de transferência de calor necessária:

$$\dot{Q} = h'_{f,g} * \dot{m} = 306,5 \text{ kW} \quad (6)$$

Caudal mássico de água necessário:

$$\dot{m}_{água} = \frac{\dot{Q}}{c_{p,água} * (T_{sai,água} - T_{ent,água})} = 4,9 \text{ kg/s} \quad (7)$$

Coefficiente convectivo médio:

$$\bar{h}_{D,N} = 0,7298 * \left[\frac{g * \rho_{água} * (\rho_{água} - \rho_{ar}) * h'_{f,g} * k^3}{N * \mu * (T_{sat} - T_{sai,água}) * D} \right]^{\frac{1}{4}} = 6129,01 \text{ W/m}^2 * K \quad (8)$$

Área mínima para troca térmica:

$$A = \frac{\dot{Q}}{\bar{h}_{D,N} * (T_{sat} - T_{sai,água})} = 4,71 \text{ m}^2 \quad (9)$$

Considerando um tubo liso com área superficial de $0,31 \text{ m}^2$ por metro linear, com diâmetro de $0,1 \text{ m}$, necessita-se de um comprimento de tubo de aproximadamente 15 m , podendo ser disposto em três fileiras e cinco colunas, totalizando um volume de $1 \times 1 \times 1 \text{ m}$.

A.3 Permutador de calor - arrefecimento da água do condensador

O tipo de permutador escolhido é de escoamento cruzado, água-ar, com fluidos não misturados com tubos alhetados. Para o dimensionamento foi empregado o método da média logarítmica de temperaturas, como apresentado por [3]. A tabela 8 apresenta os parâmetros utilizados para os cálculos.

Tabela 8: Parâmetros para dimensionamento do permutador de arrefecimento da água do condensador

Símbolo	Parâmetro	Valor	Unidade
$T_{ent,água}$	Temperatura de entrada da água	30	$^{\circ}C$
$T_{sai,água}$	Temperatura de saída da água	15	$^{\circ}C$
$T_{ent,ar}$	Temperatura de entrada do ar	10	$^{\circ}C$
$T_{sai,ar}$	Temperatura de saída do ar	20	$^{\circ}C$
$c_{p,ar}$	Calor específico do ar	1004	J/kgK
$c_{p,água}$	Calor específico da água	4179	J/kgK
$\dot{m}_{água}$	Caudal mássico da água	4,9	kg/s
U	Coefficiente global de transferência de calor	400	W/m^2K

Cálculos:

Potência térmica necessária:

$$\dot{Q} = \dot{m}_{água} * c_{p,água} * (T_{ent,água} - T_{sai,água}) = 307,15 \text{ kW} \quad (10)$$

Média logarítmica das diferenças de temperatura:

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_{sai,ar} - T_{ent,água}) - (T_{sai,água} - T_{ent,ar})}{\ln \left(\frac{(T_{sai,ar} - T_{ent,água})}{(T_{sai,água} - T_{ent,ar})} \right)} = 7,21 \text{ } ^{\circ}C \quad (11)$$

Fator P:

$$P = \frac{T_{sai,água} - T_{ent,água}}{T_{ent,ar} - T_{ent,água}} = 0,8 \quad (12)$$

Fator R:

$$R = \frac{T_{ent,ar} - T_{sai,ar}}{T_{sai,água} - T_{ent,água}} = 0,7 \quad (13)$$

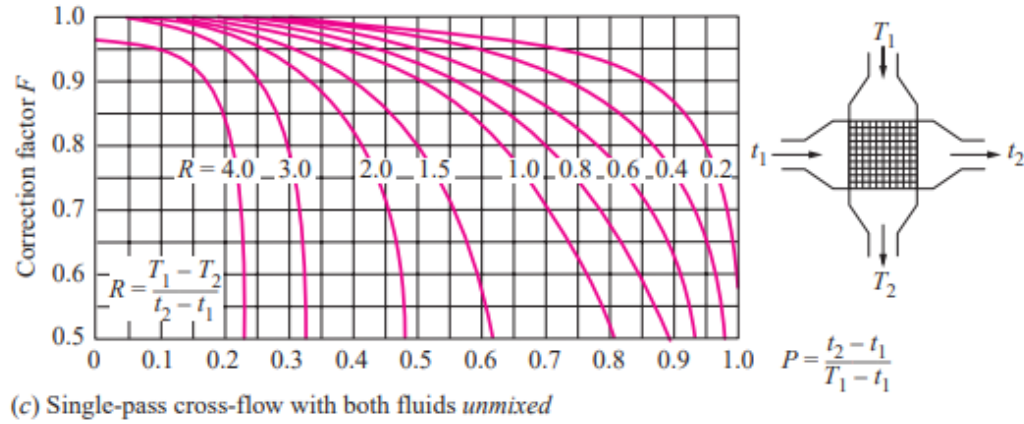


Figura 12: Gráfico fator de correção F para permutadores de calor alhetados com escoamento cruzado e fluidos não misturados. Adaptado de [3]

Com os valores calculados dos fatores R e P , encontramos através da imagem 12 o fator de correção F igual á 0,85.

Área para troca térmica:

$$A = \frac{\dot{Q}}{U * F * \Delta T_{ml}} = 125,24 \text{ m}^2 \quad (14)$$

Considerando um tubo alhetado com área superficial de $2,2 \text{ m}^2$ por metro linear, com diâmetro de $0,062 \text{ m}$, necessita-se de um comprimento de tubo de aproximadamente 57 m , podendo ser disposto em treze fileiras e três colunas, totalizando um volume de $1 \times 1 \times 0,8 \text{ m}$.

A.4 Bombas - câmara de secagem

Para especificar uma bomba para circulação da água no sistema de aquecimento do ar, calculou-se a perda carga imposta pelo circuito, seguindo os conceitos apresentados em [14]. Os parâmetros empregados nos cálculos para a bomba do sistema de aquecimento do ar advém do dimensionamento do permutador de calor e da geometria estipulada para a câmara de secagem. Considerando um comprimento de 10 m , com diâmetro de $0,08 \text{ m}$, rugosidade relativa de $0,0006$, caudal volumétrico de $21,60 \text{ m}^3/h$. Considerou-se como acessórios da tubagem cinco válvulas borboleta, para possibilitar o bloqueio ou controlo do sistema, cinco curvas de noventa graus, uma redução e uma expansão para a montagem da tubagem. O permutador de calor acrescentou ao cálculo um comprimento da tubagem de 20 m , com diâmetro de $0,062 \text{ m}$ e vinte e três curvas.

Os parâmetros empregados nos cálculos para a bomba do sistema de condensador advém do dimensionamento do condensador e da geometria estipulada para a câmara de secagem. Considerando um comprimento de 10 m , com diâmetro de $0,10 \text{ m}$, rugosidade relativa de $0,0006$, caudal volumétrico de $17,64 \text{ m}^3/h$. Tal como no sistema de aquecimento do ar, considerou-se como as-

sessórios da tubagem cinco válvulas borboleta, cinco curvas de noventa graus, uma redução e uma expansão para a montagem da tubagem. Acrescentou-se devido ao condensador um comprimento de tubagem de 15 *m*, com diâmetro de 0,10 *m* e quatorze curvas. Acrescentou-se devido ao permutador de calor responsável pelo arrefecimento d'água do condensador um comprimento de tubulação de 57 *m*, com diâmetro de 0,062 *m*.

Em ambos os sistemas foi considerado uma diferença de altura de 6 *m*. Reunindo todos os parâmetros necessários empregou-se a equação 15 para definir a perda de carga imposta pelo sistema.

$$\left(\frac{P_1}{\rho} + \frac{\bar{V}_1^2}{2} + gZ_1 \right) - \left(\frac{P_2}{\rho} + \frac{\bar{V}_2^2}{2} + gZ_2 \right) = h_{lt} \quad (15)$$

Onde P, V, Z, ρ , g representam a pressão, velocidade, altura, massa específica e gravidade respectivamente. O termo a direita, h_{lt} , representa a perda de carga imposta pelo sistema. Ao calcular a perda de carga e com base no caudal necessário, encontramos uma potência necessária de 478 *W* e 502 *W*, para o sistema de aquecimento do ar e do condensador.

Referências

- [1] Michele C Silva, André TO Franco, Marcos D Ferreira, Ana M de Magalhães, and Roberto Testezlaf. Otimização da eficiência de limpeza em equipamento de beneficiamento de tomate de mesa. *Engenharia Agrícola*, 28:750–758, 2008.
- [2] Anderson Coutinho. Extração de tanino em folhas, sementes e frutos verdes de cinamomo (*Melia azedarach L.*) com diferentes tipos de solventes 2013. 41 f., trabalho de conclusão de curso (graduação). *Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão*, 2013.
- [3] Yunus A Çengel. *Transferência de calor e massa: uma abordagem prática*. McGraw Hill, 2007.
- [4] Florestas.pt. Landratech promove valor da bolota, da floresta ao prato. <https://florestas.pt/valorizar/landratech-promove-valor-da-bolota-da-floresta-ao-prato/>, 2023. [Online; accessed 01-february-2024].
- [5] Alae Azouzoute, Massaab El Ydrissi, Zakaria Elmaazouzi, Mohammed Benhaddou, Mustapha Salihi, Charaf Hajjaj, and Mohammed Garoum. Thermal production and heat cost analysis of the potential of solar concentrators for industrial process applications: A case study in six sites in morocco. *Scientific African*, 12:e00765, 2021.
- [6] Benjamin Mitterrutzner, Claudio Zandonella Callegher, Riccardo Fraboni, Eric Wilczynski, and Simon Pezzutto. Review of heating and cooling technologies for buildings: A techno-economic case study of eleven european countries. *Energy*, 284:129252, 2023.
- [7] Cupertino Freitas L Virgínia e Lima de Vasconcelos C Tibério. Estudo e análise dos métodos de extração de compostos polifenólicos oriundos do bagaço de uva resultante da produção de vinho. *Revista Brasileira de Processos Químicos*, 2022.
- [8] Welington Rafael da Silva. Otimização de parâmetros do processo de extração do tanino de acácia negra, dissertação de mestrado. *Lume Repositório Digital - Universidade Federal do Rio Grande do Sul*, 2020.
- [9] Florestas.pt. Tarifário Águas barcelos. <https://www.aguasdebarcelos.pt/pt/tarifario>, 2024. [Online; accessed 01-february-2024].
- [10] Francesco Bianco, Halil Şenol, and Stefano Papirio. Enhanced lignocellulosic component removal and biomethane potential from chestnut shell by a combined hydrothermal–alkaline pretreatment. *Science of The Total Environment*, 762:144178, 2021.

- [11] Wojciech M. Budzianowski and Dominika A. Budzianowska. Economic analysis of biomethane and bioelectricity generation from biogas using different support schemes and plant configurations. *Energy*, 88:658–666, 2015.
- [12] Margarida Isabel Azinhaga Abreu. Caraterização de bolotas de quercus ilex subsp. rotundifolia ao longo de um gradiente climático no alentejo. Master’s thesis, FACULDADE DE CIÊNCIAS DA UNIVERSIDADE DE LISBOA, 2020.
- [13] Frank P Incropera, David P DeWitt, TL Bergman, and AS Lavine. Fundamentos de transferência de calor e massa. 6^a edição. *LTC–Livros Técnicos e Científicos SA, rio de janeiro, Brasil, 698p*, 2003.
- [14] Robert W Fox, AT McDonald, and PJ Pritchard. Introdução à mecânica dos fluidos. 6a edição. *São Paulo: LTC Editora*, 2001.