

MESTRADO
DESIGN INDUSTRIAL E DE PRODUTO

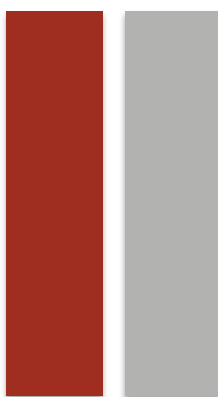
Design e resina.

Contributo do design no reaproveitamento de raspa de pinheiro. Um estudo exploratório.

Simão Afonso

M

2025



MESTRADO EM DESIGN INDUSTRIAL E DE PRODUTO
UNIVERSIDADE DO PORTO

O JÚRI

PRESIDENTE

Doutora Lígia Maria Pinto Lopes

PROFESSORA AUXILIAR DA FACULDADE DE BELAS ARTES DA UNIVERSIDADE DO PORTO

ORIENTADOR

Doutor Rui Jorge Leal Ferreira Mendonça da Fonseca

PROFESSOR ASSOCIADO CONVIDADO COM AGREGAÇÃO DA UNIVERSIDADE DE TRÁS OS MONTES E ALTO DOURO

ARGUENTE

Doutora Cecília Peixoto Carvalho

PROFESSORA AUXILIAR DA UNIVERSIDADE DE TRÁS OS MONTES E ALTO DOURO

19

21 NOVEMBRO 2025

MESTRE **SIMÃO DIAS AFONSO**
MDIP/**182**

UNIVERSIDADE DO PORTO

Faculdade de Belas Artes

Faculdade de Engenharia

Design e resina.

**Contributo do design no reaproveitamento
de raspa de pinheiro. Um estudo exploratório.**

Simão Dias Afonso

Dissertação para obtenção do grau de Mestre

Orientador: Rui Mendonça

Coorientador: Cláudia Lima

Porto, 2025

Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer aos meus orientadores, Rui Mendonça e Cláudia Lima, por todo o trabalho, disponibilidade e dedicação ao longo deste percurso, pelo apoio constante e pela forma como sempre procuraram orientar-me da melhor maneira possível.

Agradeço igualmente a todo o grupo de orientação, colegas e cúmplices neste projeto, pelo espírito de partilha e pelas discussões críticas que me ajudaram a tomar decisões mais conscientes e fundamentadas.

Um agradecimento especial ao Ricardo Gomes, pela partilha de conhecimento, pela visita proporcionada à fábrica Nares e pela disponibilização da matéria-prima que esteve na base desta investigação. Ao Rui Miguel Salgado da Rosa, pela generosidade em me apresentar o setor da extração de resina e pelo contributo com informações essenciais para compreender este contexto. Ao Professor António Ramos Silva, da Faculdade de Engenharia, pela ajuda e conselhos no planeamento inicial do destilador não industrial, mesmo que essa via não tenha sido a escolhida. Novamente remetente à universidade de engenharia, queria agradecer ao Professor Jorge Lino, por dedicar o seu tempo e me proporcionar aparelhos que foram utilizados na aprendizagem do material. E ao Alcides, técnico da Faculdade de Belas Artes, pelo apoio prático na produção dos moldes e das peças.

Mais uma menção será para a Fátima, por me deixar ficar na sua casa bem como me fornecer materiais de apoio para a tese e dar sempre um grande apoio emocional.

Agradeço à minha mãe, pelo apoio incondicional e pela presença firme em todas as etapas deste percurso académico. Ao meu irmão, pelos contributos pontuais, mas sempre importantes para o meu trabalho. Também gostaria de agradecer aos meus amigos. Particularmente ao Afonso, por me ajudar na criação de peças e transportes, e também ao Nuno, ao Gonçalo e ao Eduardo, por me darem apoio emocional e constantes momentos de força e alegria.

Por fim, um agradecimento a uma colega mais que especial, à minha namorada, Catarina. Foste uma presença constante e insubstituível ao longo de todo o processo. Acompanhaste-me desde o início, deste-me suporte emocional e prático, ajudaste na realização de peças, no transporte de materiais, nas visitas à fábrica e na documentação fotográfica, além de rever e apoiar a redação deste documento. Obrigado por tudo e por estares sempre ao meu lado. És a pessoa mais importante para mim. Amo-te muito.

Índice

Agradecimentos	2
Índice	3
Abreviaturas e siglas	6
Glossário	7
Resumo	8
Abstract	9
1. Introdução	10
1.1. Enquadramento do tema	11
1.2. Questão de investigação	12
1.3. Objetivos	12
1.4. Metodologia	13
1.5. Rede de colaborações	14
1.6. Estrutura da dissertação	16
2. Estado da arte	18
2.1. O problema dos incêndios florestais em Portugal	19
2.1.1. Negligência e abandono florestal	20
2.2. Resina do pinheiro-bravo	21
2.2.1. O potencial da resina como recurso do pinheiro-bravo	21
2.2.2. Cálculo da receita anual por hectare de pinheiros	22
2.3. Processo de tratamento da resina	25
2.3.1. Processo de extração	25
2.3.1.1. Tipos de púcaros utilizados na extração	27

2.3.1.2.	Extração por método fechado	30
2.3.2.	Processo de destilação	31
2.3.2.1.	Terebintinagem	32
2.3.2.2.	Destilação da resina	34
2.3.2.3.	Destilador aquecido a fogo direto com adição de água	35
2.3.2.4.	Destilador Batch (descontínuo)	36
2.3.2.5.	Destilador contínuo	38
2.3.2.6.	Alambique tradicional	38
2.3.3.	Desafios e considerações para a destilação de resinas	42
3.	Projeto	44
3.1.	Desenvolvimento de um destilador não industrial	45
3.1.1.	Visita à fábrica de destilação Nares	45
3.1.2.	Processos de destilação de resina	47
3.1.3.	Perfil de pequenos produtores de resina e o seu <i>output</i>	52
3.1.4.	Primeira projeção do destilador	53
3.2.	Valorização da raspa de pinheiro	61
3.3.	Abordagem metodológica: <i>Material Driven Design</i>	62
3.4.	Exploração do material	63
3.4.1.	Estudo inicial	64
3.4.2.	Estudo científico	75
3.4.3.	Testes em maior escala	121
3.4.4.	Teste de peças em moldes de silicone	140
3.4.5.	Testes de peças em moldes de gesso	144

3.4.6.	Desenvolvimento da peça final	172
4.	Análise dos resultados	178
5.	Conclusões	181
5.1.	Resposta à questão	182
5.2.	Limitações ao estudo	183
5.3.	Desenvolvimentos futuros	183
5.3.1.	Desenvolvimentos futuros próprios	183
5.3.2.	Propostas em aberto	183
	Bibliografia e sitiografia	185
	Bibliografia de imagens e tabelas	189
	Anexos	192

Abreviaturas e siglas

°C: graus Celsius

cm: centímetros

et al.: e outros

FEUP: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Fig.: figura

g: gramas

h: horas ou altura

INEGI: Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial

kg: quilogramas

MDD: *Material Driven Design*

min: minutos

m: metros

mm: milímetros

PEFC Portugal: *Programme for the Endorsement of Forest Certification*

PLA: políácido láctico

r: raio

s.d.: sem data

V: volume

Glossário

Colofónia: Subproduto sólido obtido da destilação da resina, amplamente utilizado na indústria de adesivos, tintas, borrachas e papel.

Crivagem: Processo de separação de partículas sólidas indesejadas da resina, garantindo maior pureza do produto final.

Destilador Batch (descontínuo): Tipo de destilador onde o processo ocorre em ciclos, com resina processada em lotes, necessitando de paradas para recarregar o material.

Destilador contínuo: Tipo de destilador onde a resina é processada de forma contínua, sem necessidade de interrupções, resultando em maior eficiência.

Malaxagem: Etapa da terebintinagem que consiste em misturar a resina sob controle de temperatura para eliminar impurezas e melhorar sua composição química.

Método fechado de extração de resina: Técnica de extração que utiliza perfurações no pinheiro, com tubos conectados a recipientes fechados, protegendo a resina contra contaminação e perdas por evaporação.

Pinheiro-bravo (*Pinus pinaster*): Espécie de conífera predominante em Portugal, amplamente utilizada para a extração de resina devido à sua abundância e características resiníferas.

Púcaro: Recipiente utilizado para coletar a resina durante o processo de resinagem. Pode ser feito de materiais como cerâmica, plástico ou metal.

Raspa: Material constituído por resina oxidada e impurezas.

Resinagem à morte: Processo de extração intensiva de resina realizado nos últimos anos de vida da árvore, geralmente antes do seu abate.

Resinagem à vida: Processo de extração de resina enquanto o pinheiro permanece vivo e ativo, realizado de forma controlada para preservar a saúde da árvore.

Terebintina: Subproduto líquido da destilação da resina, utilizado como solvente e matéria-prima para produtos farmacêuticos e químicos.

Terebintinagem: Conjunto de etapas preliminares na purificação da resina antes de sua destilação, incluindo processos como malaxagem, crivagem, filtração e decantação.

Resumo

A presente investigação parte da problemática dos incêndios florestais e do abandono dos territórios rurais em Portugal, procurando compreender de que forma o design pode contribuir para a valorização dos pinhais através da exploração da resina e dos seus subprodutos. Inicialmente, foi considerada a possibilidade de desenvolver um destilador de resina não industrial, mas o percurso de investigação levou à descoberta da raspa de pinheiro, um subproduto abundante e pouco valorizado proveniente da extração de resina.

O projeto centra-se, assim, na exploração crítica e experimental da raspa de pinheiro enquanto material de design, adotando o método *Material Driven Design* e uma prática baseada na experimentação laboratorial. Foram desenvolvidos ensaios, numa primeira instância, em pequenas dimensões e, subsequentemente, foi-se aumentando a escala. Testaram-se diferentes fusões, com materiais residuais, obtidos de estabelecimentos locais, como cinzas, fibras e serrim, em moldes de gesso e silicone. A investigação permitiu identificar propriedades como resistência, plasticidade e estabilidade, bem como fragilidades ligadas à secagem, deformação e viscosidade.

Os resultados destacam a formulação com cinzas como a mais promissora, pela sua consistência e resistência, e evidenciam, também, a importância da geometria e da escala das peças na sua estabilidade. A progressão para formatos maiores, como vasos e jarras, revelou não apenas as potencialidades técnicas, mas também o valor simbólico de transformar resíduos associados à destruição em novos artefactos com significado e função.

Mais do que propor soluções formais, esta investigação evidencia como o design pode atuar como agente de valorização crítica, conferindo novos usos e narrativas a materiais negligenciados. As peças finais materializam a relação entre matéria, técnica e simbolismo, ao mesmo tempo que abrem espaço para futuras explorações, reafirmando o design como prática responsável, experimental e comprometida com os recursos locais.

Palavras-chave: design; raspa de pinheiro; resina; cinzas; economia circular.

Abstract

This research stems from the issue of forest fires and the abandonment of rural areas in Portugal, seeking to understand how design can contribute to the valorisation of pine forests through the exploration of resin and its by-products. Initially, the possibility of developing a non-industrial resin distiller was considered, but the research path led to the discovery of pine scrape, an abundant yet undervalued by-product of resin extraction.

The project thus focuses on the critical and experimental exploration of pine scrape as a design material, adopting the Material Driven Design method and a practice based on laboratory experimentation. Trials were first carried out on a small scale and subsequently expanded. Different fusions were tested with residual materials obtained from local establishments, such as ashes, fibres, and sawdust, using plaster and silicone moulds. The research made it possible to identify properties such as resistance, plasticity, and stability, as well as weaknesses linked to drying, deformation, and viscosity.

The results highlight the formulation with ashes as the most promising, due to its consistency and strength, while also underlining the importance of geometry and scale in the stability of the pieces. The move towards larger formats, such as pots and vases, revealed not only the technical potential but also the symbolic value of transforming waste associated with destruction into new artefacts with meaning and function.

More than proposing formal solutions, this research demonstrates how design can act as an agent of critical valorisation, assigning new uses and narratives to neglected materials. The final pieces embody the relationship between matter, technique, and symbolism, while also opening space for future explorations, reaffirming design as a responsible, experimental practice committed to local resources.

Keywords: design; pine scrape; resin; ashes; circular economy.



1. Introdução

1. Introdução

1.1. Enquadramento do tema

Portugal enfrenta um problema constante relativo a incêndios florestais, devido à falta de gestão ativa dos territórios rurais, ao abandono de terrenos e à substituição dos pinhais por espécies de crescimento rápido, como o eucalipto (Resipinus, s.d.-a; R. Salgado Da Rosa, comunicação pessoal, janeiro 27, 2025).

O projeto aqui apresentado parte da premissa de que através do design é possível contribuir para a valorização dos pinhais através do aproveitamento da resina e dos seus subprodutos, de forma a incentivar a sua exploração económica e, por consequência, reforçar a sua proteção contra o abandono e incêndios, bem como incentivar novamente à resinagem, atividade que se encontra em declínio no país (Resipinus, s.d.-a).

Numa fase inicial, foi considerada a hipótese de desenvolver um destilador de resina não industrial, com o objetivo de permitir que pequenos produtores pudessem realizar a primeira transformação da resina localmente. O trabalho de pesquisa e o estado da arte avançaram nesse sentido, com o estudo de processos de destilação e sistemas técnicos alternativos. No entanto, a concretização dessa proposta revelou-se demasiado exigente para o contexto deste projeto, tanto em termos técnicos, como também pela falta de conhecimentos em engenharia e automação, e, além disso, implicaria um investimento elevado no desenvolvimento e prototipagem (A. Silva, comunicação pessoal, fevereiro 12, 2025). Foi dentro deste contexto que, durante uma visita à fábrica de destilação Nares, surgiu uma nova possibilidade: trabalhar com a raspa¹ de pinheiro, um subproduto abundante e subvalorizado, proveniente da extração tradicional de resina. Este produto é considerado de baixa qualidade e não atende às exigências do mercado atual. Além disso, devido à complexidade do seu processo de destilação, acaba por se acumular nas fábricas, atingindo várias toneladas (R. Gomes, comunicação pessoal, novembro 11, 2024).

A raspa revelou-se um material com potencial criativo, acessível e interessante para uma abordagem crítica e experimental em design. Esta opção de seguir nesta direção deve-se à sua maior viabilidade prática, bem como à oportunidade de explorar um material alternativo, com

¹ Material constituído por resina oxidada e impurezas.

possibilidade para inovar. Foi utilizada uma abordagem centrada no material, passando o projeto a focar-se na exploração de propriedades e possibilidades de utilização da raspa.

Sendo assim, o projeto foi de encontro com os ODS (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável): o ODS 12 – Produção e Consumo Sustentáveis, ao promover o reaproveitamento de resíduos locais; o ODS 13 – Ação Climática, ao contribuir para uma gestão florestal ativa que ajuda na prevenção de incêndios; e o ODS 15 – Proteger a Vida Terrestre, ao incentivar a valorização de ecossistemas florestais e práticas de exploração mais sustentáveis.

1.2. Questão de Investigação

Este estudo tem como objetivo a valorização da raspa de pinheiro. A investigação parte de uma abordagem prática e acessível, explorando processos de baixo custo. Através da experimentação direta com o material foram testadas diferentes proporções e combinações com outros desperdícios (como cinzas, serrim, fibras de papel), com o intuito de desenvolver um material com potencial de ser aplicado em objetos do quotidiano.

Com base nos resultados obtidos nos testes iniciais, seguiram-se ensaios mais sistemáticos que avaliaram propriedades como resistência, moldabilidade e comportamento do material em peças de diferentes escalas e formatos. Assim, a presente investigação procura (presente) responder à seguinte questão:

Como é que o design, através de um processo acessível e de baixo custo, pode contribuir para a valorização da raspa de pinheiro?

E, partindo desta questão de investigação, exploram-se possibilidades de artefactos utilizando a raspa de pinheiro.

1.3. Objetivos

Este projeto tem como objetivo valorizar a raspa de pinheiro, um subproduto negligenciado da exploração da resina, através da criação de artefactos baseados em processos acessíveis e sustentáveis. A investigação assenta numa abordagem crítica e experimental ao material, alinhada com os princípios da economia circular e com uma visão de design enquanto agente de mudança consciente. Tal como defendido por Victor Papanek (1971), o design deve ter uma

responsabilidade social e ecológica, colocando-se ao serviço das necessidades reais da sociedade. Neste sentido, a proposta busca dar novo valor à raspa e a outros desperdícios, promovendo práticas de reutilização e contribuindo para a redução do desperdício industrial. Simultaneamente, ao transformar um resíduo em algo tangível e com potencial expressivo, o projeto aproxima-se da visão de Donald Norman (2004), que valoriza a experiência do utilizador e a relação material-afetiva com os objetos do quotidiano.

1.4. Metodologia

A investigação teve início com um levantamento teórico e análise do estado da arte, que permitiu compreender o contexto do setor resinífero, os seus processos técnicos e os desafios associados. Durante esta fase, foi considerada a hipótese de desenvolver um destilador de resina não industrial, o que orientou a pesquisa inicial para processos de destilação e tecnologias associadas (capítulo 3.1.).

À medida que a pesquisa evoluiu, sentiu-se a necessidade de trabalho de campo, recorrendo a métodos de observação direta e entrevistas informais com agentes envolvidos no setor, como a profissionais da fábrica de destilação Nares e pequenos produtores de resina. Estes métodos, descritos por Martin & Hanington (2012) como estratégias fundamentais para compreender contextos reais e aprofundar o conhecimento sobre os utilizadores, permitiram recolher informações práticas que não estavam documentadas e que foram determinantes na redefinição do projeto. Foi neste contexto que surgiu a possibilidade de trabalhar com a raspa de pinheiro, um subproduto abundante e subvalorizado.

Com essa reorientação, a abordagem metodológica adotada passou a ser o *Material Driven Design* (Karana et al., 2015), focada na exploração sensível e prática do material como fonte geradora de conhecimento e forma. A investigação passou a decorrer essencialmente em ambiente laboratorial, com processos de fusão, moldagem, mistura e análise empírica de diferentes formulações, onde os resultados foram avaliados com base na sua resposta física, tátil e estética. Esta abordagem está alinhada com os princípios de Victor Papanek (1971), ao considerar o design como uma atividade crítica e socialmente comprometida, que procura soluções sustentáveis e adequadas aos recursos locais. O desenvolvimento do projeto seguiu uma lógica interativa e exploratória, próxima da investigação através do design² (Frayling, 1993),

² Do inglês *research through design*, uma das três formas de investigação identificadas por Frayling.

em que o conhecimento é gerado pela prática e pela experimentação material. Esta metodologia também considera o impacto da materialidade na experiência do utilizador, tal como defendido por Donald Norman (2004), promovendo uma aproximação mais sensorial e emocional ao objeto.

Além disso, ao longo de todo o processo, os resultados foram discutidos regularmente com um grupo de 12 pessoas, composto por orientadores e colegas de orientação de mestrado, que acompanharam criticamente todas as fases do projeto. Esta dinâmica de partilha contínua contribuiu para uma validação colaborativa, apoiando uma reflexão crítica sustentada.

Como apoio complementar, foram utilizadas ferramentas de inteligência artificial, exclusivamente para clarificação linguística, reorganização pontual de texto e melhoria da comunicação escrita. Todo o conteúdo foi desenvolvido integralmente pelo autor, sendo a IA empregada apenas como auxílio técnico de revisão.

1.5. Rede de colaborações

Nares

Após a realização da pesquisa teórica, surgiu a necessidade de observar o funcionamento prático de um sistema industrial. Nesse contexto, foi realizado um contacto com um laboratório colaborativo que promove a gestão do fogo e da floresta, Forest Wise, que forneceu referências úteis, incluindo a fábrica de destilação de resina Nares, localizada em Pombal. Foi agendada uma visita, que ocorreu no dia 28 de novembro de 2024 e foi guiada pelo Engenheiro Ricardo Gomes³. Durante a visita, foi possível observar o funcionamento do processo de destilação tradicional utilizado pela fábrica, conhecido como processo Olustee, assim como discutir outros métodos de destilação disponíveis no mercado. Além disso, o Engenheiro Ricardo Gomes compartilhou uma visão abrangente sobre o setor resinífero, abordando tanto os desafios atuais como as inovações em desenvolvimento. A troca de informações permitiu esclarecer dúvidas específicas do autor e discutir soluções que poderiam ser adaptadas para melhorar a exploração da resina em Portugal, com especial atenção à viabilidade de sistemas descentralizados de destilação. Adicionalmente, foi identificado um resíduo gerado no processo de destilação, conhecido como raspa, que atualmente é considerada uma matéria-prima de baixa qualidade, com impactos negativos no processo industrial. Esta ainda é utilizada em quantidades reduzidas, trazendo com

³ Ricardo Gomes trata-se de um Engenheiro da fábrica de destilação Nares.

ela desafios operacionais no processo de destilação, além disso o seu consumo está em declínio devido à crescente exigência do mercado por colofónias de cor mais clara. Apesar desses desafios, o potencial de reaproveitamento da raspa será explorado em capítulos posteriores (capítulos 3.2 a 3.4) onde serão analisadas possíveis aplicações e formas de valorização deste material.

Colaboração com pequenos produtores de resina

Com o objetivo de compreender melhor a dinâmica da extração de resina em pequena escala, foi realizada uma visita no dia 27 de janeiro de 2025, a um pequeno produtor, Rui Miguel Salgado da Rosa, que opera numa empresa especializada na extração de resina, em Vila Real. Este contacto foi adquirido através do Engenheiro Ricardo Gomes, sendo um dos vendedores de resina à Nares.

Esta colaboração teve como principal objetivo entender o funcionamento diário deste tipo de empresas, analisando fatores como:

- Modelo de trabalho: Horários, períodos de atividade e distribuição das tarefas ao longo do ano.
- Métodos de extração: Equipamentos utilizados, técnicas aplicadas.
- Produção e rendimento: Quantidades de resina extraídas por dia e totais anuais.
- Perfil do utilizador: Identificação das necessidades e preferências dos profissionais da área, contribuindo para o desenvolvimento de um produto mais adequado ao setor.

Foram também fornecidas amostras de resina dos diferentes métodos de extração, tradicional e fechado, para a realização de testes. Esta colaboração foi fundamental para traçar um perfil detalhado dos pequenos produtores de resina, garantindo que as soluções propostas estejam alinhadas com as condições reais do setor.

António Ramos Silva

Na tentativa de entender o processo de fabrico de um destilador, tornou-se evidente a necessidade de acompanhamento técnico especializado. O Professor António Ramos Silva, da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), prestou apoio fundamental, graças

à sua experiência na área de sistemas de automação. Esta colaboração permitiu identificar os processos essenciais e estimar os parâmetros necessários para a conceção de um destilador de pequena escala, não industrial.

1.6. Estrutura da dissertação

O processo de investigação divide-se em quatro partes (Fig. 1), organizando-se, no documento, em seis capítulos:

O primeiro capítulo introduz a problemática que serve de base à investigação, contextualizando o impacto dos incêndios florestais em Portugal, o declínio da atividade resinífera e a necessidade de revalorizar os pinhais e os seus subprodutos. Neste capítulo apresentam-se ainda os objetivos da investigação, a questão de partida e a relevância do estudo no contexto do design sustentável.

O segundo capítulo corresponde ao enquadramento teórico e ao estado da arte. Nele são analisados os antecedentes históricos e técnicos da resinagem, os processos de destilação e a exploração inicial da hipótese de desenvolvimento de um destilador. Apesar de essa hipótese não ter sido concretizada, este percurso de investigação permitiu compreender melhor o setor resinífero, bem como identificar a problemática da raspa de pinheiro, subproduto abundante e subvalorizado, que se tornou o foco central da investigação.

O terceiro capítulo apresenta as metodologias adotadas. São descritos os métodos de observação, entrevistas informais e contactos com agentes do setor, bem como a abordagem experimental baseada no *Material Driven Design* (Karana et al., 2015) e na investigação através do design (Frayling, 1993). Destaca-se ainda a dinâmica de colaboração com orientadores e colegas, cujas críticas contínuas desempenharam um papel fundamental na validação e evolução da investigação.

O quarto capítulo centra-se no processo experimental em torno da raspa de pinheiro. Apresentam-se os testes realizados com diferentes formulações e combinações de materiais (como fibras vegetais e cinzas), assim como os ensaios de texturas e acabamentos (decalque, jato de areia e gravação a laser). Este capítulo evidencia a evolução da escala e da complexidade das peças, desde provetes iniciais até moldagens em gesso de maior dimensão.

O quinto capítulo foca-se na análise dos resultados. São discutidas as potencialidades e

limitações observadas, destacando os melhores desempenhos das misturas com cinzas, a importância das geometrias verticais e arredondadas na estabilidade das peças, e a coerência estética alcançada. A reflexão articula-se com contributos teóricos de autores como Frayling (1993), Archer (1995), Papanek (1971) e Sennett (2009), reforçando a ligação entre prática experimental e construção de conhecimento.

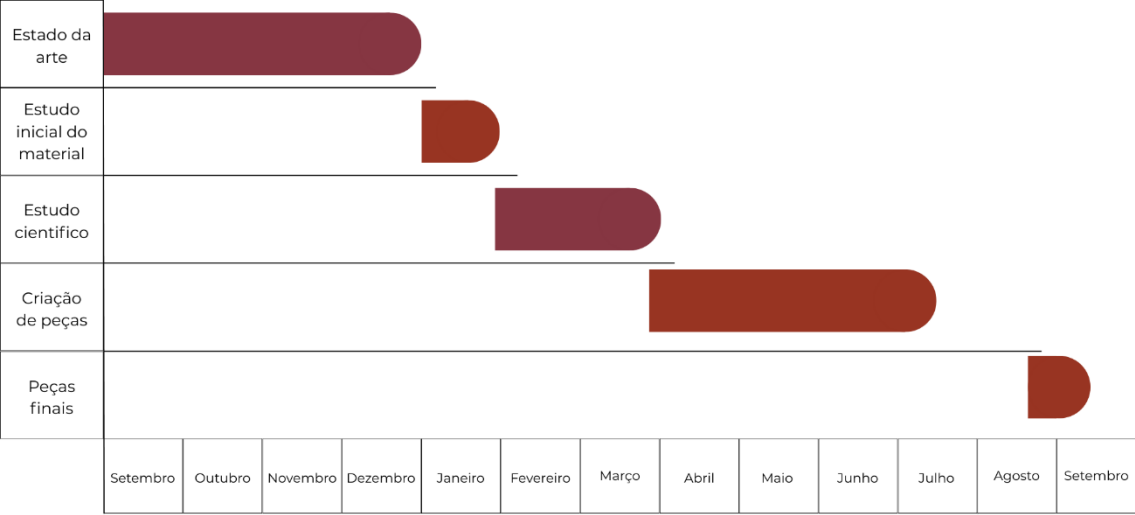


Fig. 1: Gráfico de planeamento da investigação. Fonte: Imagem do autor (2025).



2. Estado da arte

2. Estado da arte

Embora o desenvolvimento de um destilador de resina não industrial não tenha sido a solução final adotada na investigação, este capítulo teve como foco principal essa possibilidade inicial. A pesquisa aprofundada sobre processos de destilação, sistemas técnicos e abordagens descentralizadas permitiu não só compreender melhor as exigências operacionais e os limites desta tecnologia, mas também alargou significativamente o entendimento sobre o setor resinífero. Essa base teórica revelou-se essencial para a continuidade do projeto, mesmo após a redefinição do seu rumo. Por exemplo, através do estudo técnico dos processos de destilação, foi possível identificar a faixa de temperaturas a que a resina se funde, as suas transformações físicas e os cuidados necessários na sua manipulação, conhecimentos que se tornaram fundamentais para os ensaios materiais desenvolvidos posteriormente com a raspa de pinheiro. Assim, este capítulo, ainda que orientado inicialmente para outra direção, constituiu uma etapa estruturante da investigação e consolidou os alicerces teóricos e técnicos sobre os quais a investigação evoluiu.

2.1. O problema dos incêndios florestais em Portugal

De acordo com os dados da União Europeia, em 2020, Portugal encontrava-se em segundo lugar na lista dos países mais afetados por fogos florestais (Agroportal, 2021). Conforme se pode verificar na figura 2, a área ardida em Portugal tem oscilado ao longo dos anos, com tendências de diminuição (Governo de Portugal, 2023). Porém, o problema mantém-se, principalmente, devido às ações humanas (SAPO Sol, 2022). Neste ano, de 2025, ardeu uma área três vezes maior que a média das duas últimas décadas, correspondente a cerca de 3% do território nacional (Rtp.pt, 2025).

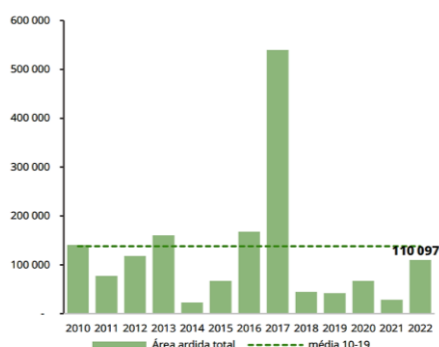


Fig. 2: Gráfico com área ardida total em Portugal ao longo dos anos. Fonte: Governo de Portugal (2023).

A análise de causas de incêndios florestais, em Portugal, exhibe fragilidades a nível estrutural, tanto na prevenção como na investigação. Cerca de 53% destes incêndios não são investigados e 16% têm origem desconhecida, o que demonstra que cerca de 70% das ocorrências ficam por esclarecer. Esta falta de apuramento compromete seriamente a eficácia das políticas de combate e prevenção. Dentro dos casos com causa identificada, a negligência representa 15% e os incêndios intencionais 9%, demonstrando que o fator humano continua a ser o principal responsável. Os reacendimentos (6%) indicam falhas no acompanhamento pós-combate. Já as causas naturais são raras representando cerca de 0,3% (Fig. 3). Esta realidade desmonta a ideia de que os incêndios florestais são fenómenos inevitáveis ou exclusivamente naturais (SAPO Sol, 2022).

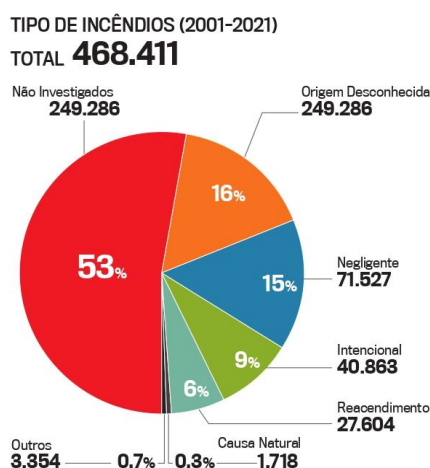


Fig. 3: Gráfico das percentagens dos diferentes tipos de incêndios em Portugal desde 2001-2021. Fonte: sol.sapo.pt (2022).

2.1.1. Negligência e abandono florestal

Como apontado anteriormente, a principal causa identificada é a negligência, demonstrando uma gestão inadequada das florestas. Conforme se pode verificar na figura 3, dos incêndios registados em Portugal, os comportamentos negligentes retratam uma parte significativa, estando diretamente ligados ao abandono florestal. Uma das causas desse abandono deve-se à baixa rentabilidade económica dessas áreas (cip.org.pt, 2024).

Segundo PEFC Portugal (s.d.) (Fig. 4) a floresta portuguesa é ocupada por cerca de 22% por pinheiros-bravos (*Pinus pinaster*), tornando esta espécie numa das mais predominantes no país. A falta de incentivos económicos para a exploração desta espécie, faz com que muitos

proprietários negligenciem a manutenção das suas áreas florestais, aumentando consequentemente o risco de incêndios.

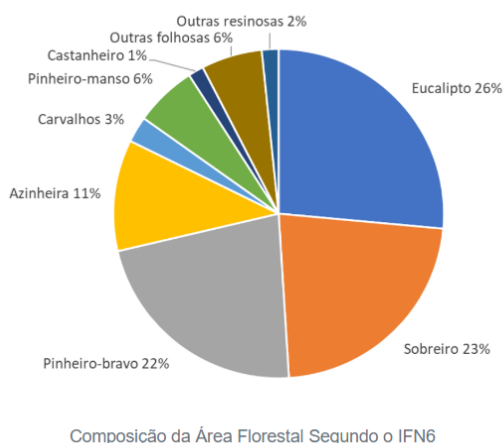


Fig. 4: Gráfico da composição da área florestal segundo o IFN6. Fonte: PEFC (s.d.).

2.2. Resina de pinheiro-bravo

2.2.1. O potencial da resina como recurso do pinheiro-bravo

Dentre os recursos provenientes do pinheiro-bravo, a resina destaca-se como um dos mais promissores. É amplamente utilizada em diversas indústrias para a fabricação de produtos como vernizes, colas e tintas, entre outros, o que lhe garante um mercado global consolidado. No entanto, a exploração deste recurso em Portugal apresenta um declínio da produção nacional nas últimas décadas.

Durante as décadas de 1970 e 1980, Portugal foi o segundo maior produtor mundial de resina, com produções superiores a 100 mil toneladas por ano e com mais de 50 fábricas. Posteriormente, houve um declínio da atividade devido à diminuição dos preços, causados pela concorrência internacional, especialmente a China, e também a substituição de pinhais por eucaliptais (Resipinus, s.d.-a).

Nos dias de hoje, a produção nacional não passa de 10 mil toneladas por ano, mostrando assim o abandono do setor e das áreas florestais dedicadas ao pinheiro-bravo (Resipinus, s.d.-a).

2.2.2. Cálculo da receita anual por hectare de pinheiros

Existem dois tipos principais de resinagem: à vida, onde a extração é controlada ao longo de vários anos para preservar a saúde do pinheiro, e à morte, realizada nos últimos anos de vida da árvore com liberdade para maximizar a extração, o cálculo médio de produção considera ambas as práticas.

A resinagem em Portugal ocorre normalmente num período onde as condições climáticas são mais favoráveis à fisiologia do pinheiro-bravo, favorecendo uma melhor circulação de resina nos canais resiníferos, sendo este entre março e outubro (R. Gomes, comunicação pessoal, novembro 11, 2024).

Estima-se que 1 hectare (10.000m²), permite cerca de 200 a 400 pinheiros e cada um destes supõe-se que, em média, produza cerca de 3kg de resina por ano (R. Gomes, comunicação pessoal, novembro 11, 2024). Segundo os dados fornecidos pela Resipinus em 2018 (Fig. 5), o preço da resina bruta tem oscilado nas últimas décadas, afetado pela concorrência internacional.

- 2004: 0,42€/kg
- 2015: 1,11€/kg
- 2017: 1,08€/kg

► Os valores mínimos médios, pagos por kg de resina foram atingidos em 2004 (0,42€). Nos anos seguintes verificou-se um aumento do valor. Em 2015 o preço médio foi 1,11€/kg e recentemente estabilizou em 1,08€.

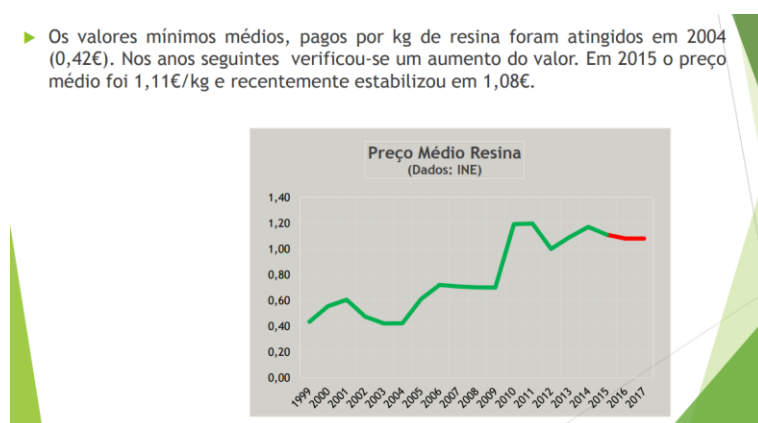


Fig. 5: Gráfico do preço médio da resina bruta ao longo dos anos. Fonte: Resipinus (2018).

Como mencionado anteriormente, o produto pode ser valorizado através da sua destilação (Tabela 1). Este processo dá origem à colofónia (Fig. 6), que representa 80% do volume total da

resina, apresentando um preço médio de 1,75€/kg (podendo variar até 2,5€/kg), e a terebintina (Fig. 8), representada os restantes 20% com um valor médio de 2,5€/kg. Estes subprodutos são muito utilizados em diversas indústrias, apresentando um maior valor económico em comparação com a venda de resina bruta. (R. Gomes comunicação pessoal, novembro 11, 2024).



Fig. 6: Colofónia floculada e moldada. Fonte: Imagem do autor (2024).

Como referido anteriormente, os subprodutos podem apresentar variações nos seus preços, devido à necessidade de cuidados acrescidos e à realização de testes mais rigorosos, que são exigidos por determinados mercados, como a indústria farmacêutica. A qualidade da colofónia é avaliada segundo diferentes testes e critérios, devendo cumprir os parâmetros apresentados a seguir (R. Gomes, comunicação pessoal, novembro 11, 2024):

- Índice de Acidez: Mede a concentração de ácidos resínicos (150-180mg KOH/g);
- Cor Gardner: Indica pureza (Fig. 7), com tons mais claros preferidos (6-8 para WW);
- Ponto de Fusão: Define a temperatura de amolecimento (73-85°C);
- Teor de Cinzas: Indica impurezas, deve ser <0,2%.

(R. Gomes, comunicação pessoal, novembro 11, 2024; dercol.pt)

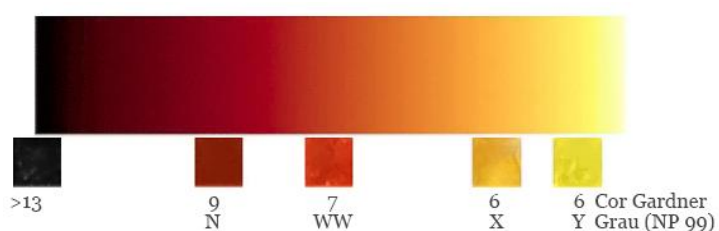


Fig. 7: Medidor de qualidade da colofónia através da cor. Fonte: ctborracha (2012).



Fig. 8: Bidão de terebintina. Fonte: Imagem do autor (2024)

Para avaliar o potencial económico da resinagem, foi feito um cálculo estimativo da receita anual por hectare (Tabela 1). Este cálculo considerou a época normal de extração de resina (de março a outubro), o número médio de árvores por hectare, entre 200 e 400, bem como a produção por árvore, que varia entre 3 e 5kg em regime de resinagem à vida e entre 6 e 10kg em regime de resinagem à morte (R. Gomes, comunicação pessoal, novembro 11, 2024). Foram ainda incluídos os valores médios de mercado da colofónia e da terebintina, assim como o preço médio da resina bruta (Fig. 5) (R. Gomes, comunicação pessoal, novembro 11, 2024; Resipinus, 2018).

MÉTODO DE VENDA	PRODUÇÃO	PREÇO UNITÁRIO (€)	RECEITA TOTAL (€)
VENDA DE RESINA BRUTA	900 KG (3KG X 300 ÁRVORES)	1,08 €/KG	972 €
COLLFÓNIA	720 KG (80% DE 900 KG)	1,75 €/KG	1260 €
TERBENTINA	180 KG (20% DE 900 KG)	2,5 €/KG	450 €
TOTAL COM DESTILAÇÃO			1710 €

Tabela 1: Receita total de resina em bruta vs destilada (sem consideração de gastos). Fonte: Tabela do autor (2024).

2.3. Processo de tratamento da resina

Como mencionado anteriormente, a resina tem um mercado mundial bem consolidado, devido aos seus subprodutos: colofónia e terebintina. A colofónia é amplamente utilizada na indústria de adesivos e tintas, enquanto a terebintina é aplicada na fabricação de solventes e produtos farmacêuticos. No entanto, até chegar a estas indústrias, a resina terá que ser extraída, transportada para as fábricas de destilação, onde irá passar por diversos tratamentos dentro do processo geral da destilação, até por fim ser efetuada a dita mesma, onde serão obtidos os seus subprodutos (Sousa, 2015) (Fig. 9).

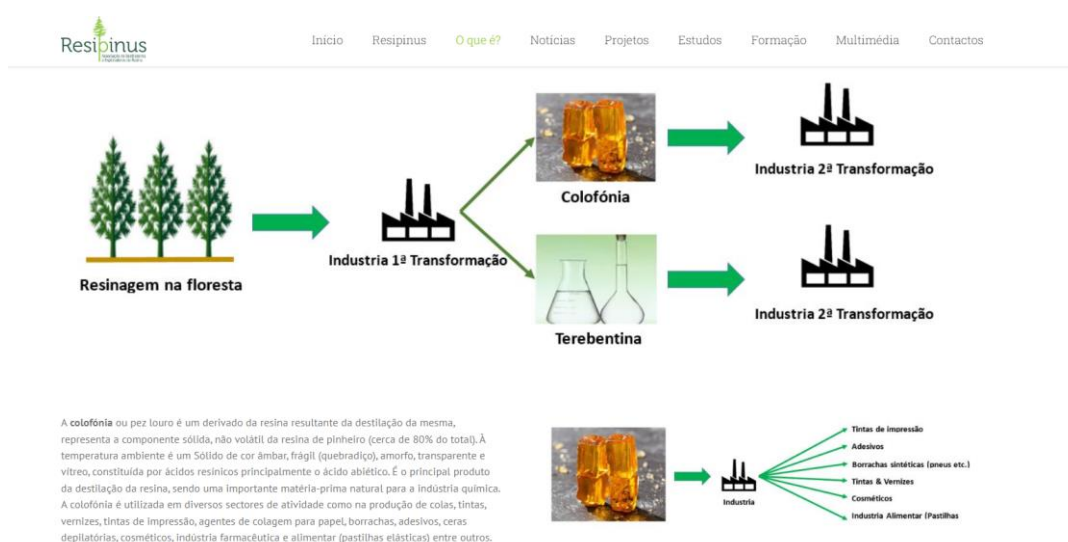


Fig. 9: Esquema do processo desde a extração da resina na transformação noutros produtos derivados.

Fonte: Resipinus (2018).

2.3.1. Processo de extração

O método de extração de resina tradicional é efetuado através de incisões no tronco do pinheiro-bravo, sendo colocado posteriormente um estimulante, à base de ácido sulfúrico, para aumentar a fluência da resina. A resina é libertada pelos canais resiníferos da árvore, sendo coletada por púcaros ou outro recipiente (Resipinus, s.d.-a).

Embora o método tradicional seja amplamente utilizado, este rivaliza com desafios que comprometem a produtividade e a qualidade da resina. De acordo com a análise de Cristiano Sousa (2015), os principais problemas são:

- Perda de resina: A exposição prolongada e a coleta ineficaz levam à perda de grandes quantidades de resina;
- Baixa durabilidade dos coletores: Os púcaros tradicionais apresentam um desgaste rápido devido à sua exposição às condições climáticas adversas, ao contato constante com a resina e o raspar na sua coleta;
- Infiltrações: A entrada de água, proveniente das chuvas, nos coletores aumenta o risco de contaminação, comprometendo assim a qualidade da resina;
- Entrada de lixo e detritos: Estando os púcaros expostos ao ambiente, estes permitem a entrada de resíduos como folhas, fagulhas do pinheiro ou outras partículas, comprometendo assim a pureza da resina;
- Dificuldade de manter a qualidade: A resina endurecida é difícil de remover sem ser contaminada ou danificada, afetando o seu valor comercial.
- Baixa rentabilidade e elevada mão de obra: O método de extração tradicional demonstra uma baixa rentabilidade, devido à pouca quantidade de resina produzida anualmente por cada árvore. Além disso, por ser um processo dependente de mão de obra, representando 80% do investimento total, torna-o pouco atrativo economicamente.

2.3.1.1. Tipos de púcaros utilizados na extração

Foram desenvolvidos diversos tipos de coletores de resina ao longo do tempo (Figs. 10 a 15), apresentando diferentes materiais e finalidades, ajustados às necessidades regionais e ao nível de produção (Tabela 2). De acordo com a entrevista realizada com o Engenheiro Ricardo Gomes estes incluem:

- Púcaros cerâmicos (Fig. 10): Utilizados em Portugal e Espanha. Apresentam uma elevada durabilidade e não interagem quimicamente com a resina, porém são mais caros e pesados do que outros tipos de coletores, dificultando o transporte para as áreas de difícil acesso.



Fig. 10: Púcaro cerâmico a coletar resina. Fonte: Alpengummi. (s.d.).

- Sacos plásticos (Fig. 11): Mais comumente utilizados em Portugal, América do Sul e Ásia. São leves, baratos e fáceis de substituir, no entanto geram resíduos plásticos que comprometem a qualidade da resina em uso prolongado.



Fig. 11: Saco plástico preso à árvore cheio de resina. Fonte: Casa das ciências (s.d.).

- Baldes metálicos (Fig. 12): São duráveis, reutilizáveis e resistentes a condições adversas, contudo tendem a oxidar com o tempo e são mais pesados dificultando o seu manuseio.



Fig. 12: Balde metálico a coletar resina. Fonte: Alamy (s.d.).

- Jarras de vidro ou de plástico (Fig. 13): Trata-se de um material inerte que mantém a qualidade da resina.



Fig. 13: Frascos de vidro ou plástico a coletarem resina por método fechado. Fonte: Stock.adobe (s.d.).

- Materiais naturais: Usados em regiões rurais em países menos industrializados. As suas vantagens relacionam-se com a sustentabilidade e de baixo custo, porém apresentam uma maior ineficiência em produções de larga escala.

3.8 - Comparação entre os recipientes de recolha da resina - vantagens e desvantagens.

Púcaro	Saco de plástico
Entrada excessiva de água e de lixo,	Entrada excessiva de água e de lixo,
Perda de resina devido à água,	Perda de resina devido à água,
Raspa manual - perda de 20 gr de resina,	Raspa manual - perda de 100 gr de resina,
Perda de aguarrás,	Perda de aguarrás,
Permite usar mais do que uma vez,	Permite apenas uma utilização,
Suspenso por um prego.	Suspenso por agramos.

Tabela 2: Comparação entre os recipientes de recolha da resina — vantagens e desvantagens.

Fonte: Sousa, C. (2015).



Fig. 14: Galeria de diversos púcaros (metálicos, plásticos e cerâmicos). Fonte: 320 Pine Resin Extraction Stock Photos (s.d.).



Fig. 15: Púcaro com tampa. Fonte: Imagem da autoria de Rui Mendonça (2024).

1.1.1.1. Extração por método fechado

A extração por método fechado já é utilizada noutros países como a França, e encontra-se a ser implementada em Portugal. Este método, que tem vindo a ser testado desde 2011 (Pinus Blogspot, 2017), apresenta melhorias significativas em relação ao tradicional (Fig. 16). Protege a resina de vários dos problemas anteriormente mencionados, oferecendo à mesma um estado praticamente puro (Fig. 17), evitando todo o processo de limpeza da mesma, antes de ser destilada.

Este método é executado através de uma perfuração na árvore atingindo os canais resiníferos sem causar danos ao lenho, diferente do tradicional que são incisões, utilizando apenas um berbequim. Após este primeiro passo são colocados os estimulantes, tal como no método tradicional. Por fim são colocados uns tubos no furo que ligam a recipientes fechados. Desta forma o sistema protege a resina de contaminações externas e minimiza a perda de terebintina por evaporação. Além disso, este sistema não apenas requer menos utensílios que o tradicional como evita a fase de raspagem e todo o processo de limpeza da resina, entregando assim um melhor produto usando menos recursos (R. Gomes, comunicação pessoal, novembro 11, 2024; Pinus Blogspot, 2017).



Fig. 16: Bidão de resina coletada por método tradicional. Fonte: Imagem do autor (2024).



Fig. 17: Bidão de resina coletada por método fechado. Fonte: Imagem do autor (2024).

1.1.2. Processo de destilação

Como argumentado anteriormente, o processo de destilação poderá surgir como uma oportunidade promissora para maximizar o valor dos subprodutos da resina.

Este capítulo explora o processo de destilação, abordando cada uma das suas etapas.

1.1.2.1. Terebintinagem

A terebintinagem (Figs. 18 e 21) é o processo de purificação da resina (gema) extraída de árvores, cujo objetivo principal é melhorar a sua qualidade. Este processo elimina impurezas, otimiza a composição da resina e prepara o material para as etapas seguintes da destilação. Este procedimento, é a maior parte da fábrica de destilação, no qual se tornará obsoleto após a introdução do método de extração fechado, anteriormente mencionado (R. Gomes, comunicação pessoal, novembro 11, 2024).

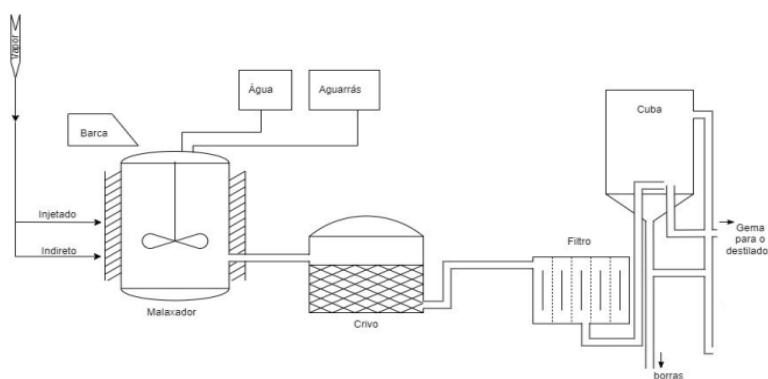


Fig. 18: Esquema da fase de terebintinagem. Fonte: Silva-Lusitana (2023).

As etapas do processo são descritas a seguir (Figs. 18 a 21), de acordo com Silva-Lusitana (2023) e o Engenheiro Ricardo Gomes (comunicação pessoal, novembro 11, 2024):

- Malaxagem (Fig. 19): nesta etapa, a resina é agitada em condições controladas, mantendo-se a temperatura abaixo de 90°C (idealmente 75°C), a fim de evitar a perda de terebintina. Durante o processo, podem ser adicionadas substâncias para aprimorar a purificação:
 - Água: Remove ácido sulfúrico residual e previne a cristalização;
 - Sal: Facilita a decantação, mas aumenta o teor de cinzas na resina;
 - Aguarrás: Torna a resina mais fluida, melhorando o processamento;
 - Ácido oxálico: Reduz o teor de ferro presente na resina, melhorando a qualidade do produto final.



Fig. 19: Malaxador. Fonte: Imagem do autor (2024).

- Crivagem (Fig. 20): Realiza a separação de partículas sólidas indesejadas, garantindo que a resina processe de forma uniforme nas etapas seguintes.



Fig. 20: Crivo. Fonte: Imagem do autor (2024).

- Filtração: Remove impurezas finas e partículas que possam comprometer a pureza da resina.
- Decantação: Permite a separação natural das fases líquida e sólida da resina, facilitando a obtenção de uma gema limpa e homogênea.
- Lavagem: Etapa final que assegura a remoção completa de contaminantes, garantindo a pureza e a qualidade da resina para utilização nas próximas fases do processo industrial.



Fig. 21: Parte de terebintinagem (limpeza da resina) na fábrica Nares (Pombal, Portugal). Fonte: Imagem do autor (2024).

1.1.2.2. Destilação da resina

A destilação (Fig. 22) trata-se de um processo industrial que separa os componentes voláteis da resina bruta, originando a terebintina (mais volátil) e a colofónia. Existem diferentes métodos utilizados ao longo do tempo, cada um deles com características específicas (Soares & Pestana, 2023).



Fig. 22: Parte de destilação na fábrica Nares (Pombal, Portugal). Fonte: Imagem do autor (2024).

1.1.2.3. Destilador aquecido a fogo direto com adição de água

Este processo funcionava à pressão atmosférica, a resina era aquecida até 110°C, para vaporizar os seus componentes mais voláteis. Era utilizado um instrumento de injeção de vapor para aumentar a pressão interna do destilador, aumentando a temperatura e melhorando a eficiência da extração da terebintina.

Devido a riscos de incêndios, associados ao aquecimento direto, este modelo foi descontinuado no final da década de 1970, não sendo mais utilizado até aos dias de hoje na prática industrial (Soares & Pestana, 2023) (Fig. 23).

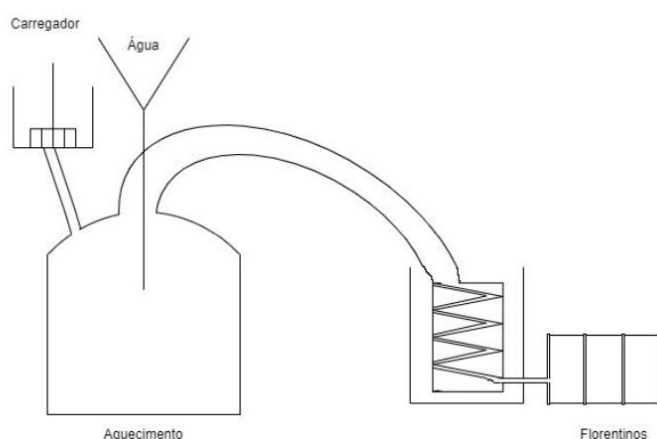


Fig. 23: Esquema de destilador aquecido a fogo direto com adição de água. Fonte: Soares & Pestana (2023).

1.1.2.4. Destilador Batch (descontínuo)

Neste método, a resina limpa é bombeada para um tanque de carga e antes da injeção de vapor esta é aquecida a cerca de 110°C. É aumentada a temperatura gradualmente até atingir 170°C, momento em que a colofónia fica depositada na base do destilador, após a separação da terebintina. Nesta etapa, o vapor condensado ainda contém cerca de 5% de terebintina, indicando que a maior parte desta já foi retirada durante o processo.

Este processo é caracterizado, pelos seus ciclos relativamente curtos (30 min) para completar o processo. Embora eficiente, utiliza maior quantidade de vapor comparado ao método contínuo (Soares & Pestana, 2023) (Figs. 24 a 26).

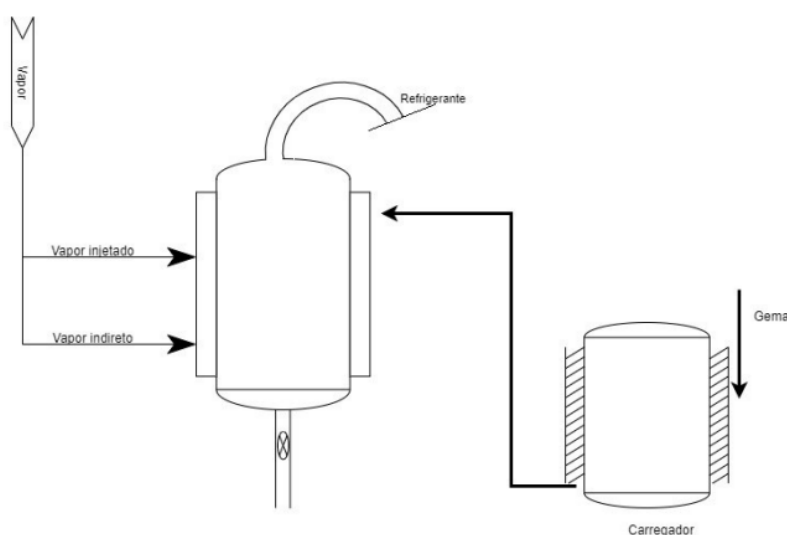


Fig. 24: Esquema de destilador aquecido a vapor indireto com injeção de vapor vivo. Fonte: Soares & Pestana (2023).

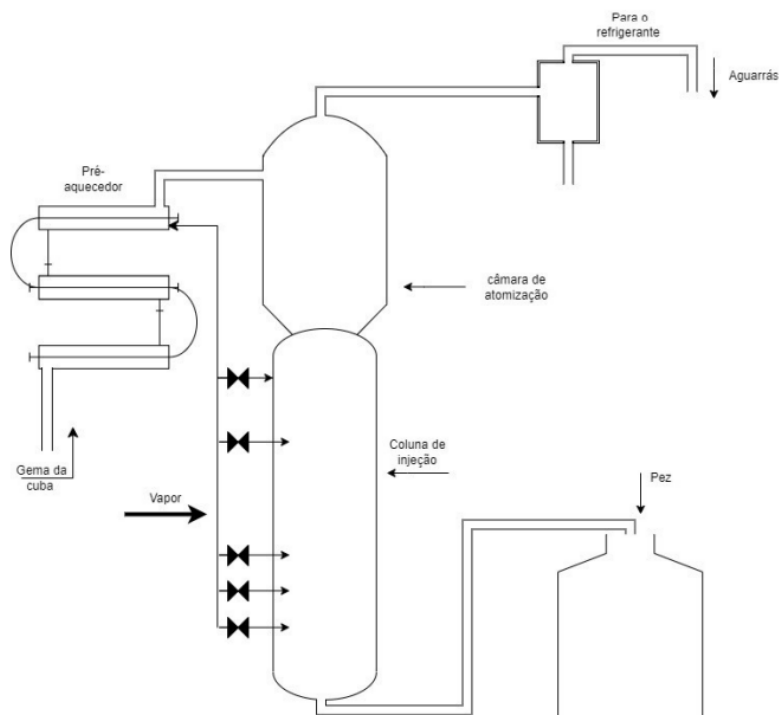


Fig. 25: Esquema de aparelho de destilação contínua a vapor tipo Olustee. Fonte: Soares & Pestana (2023).

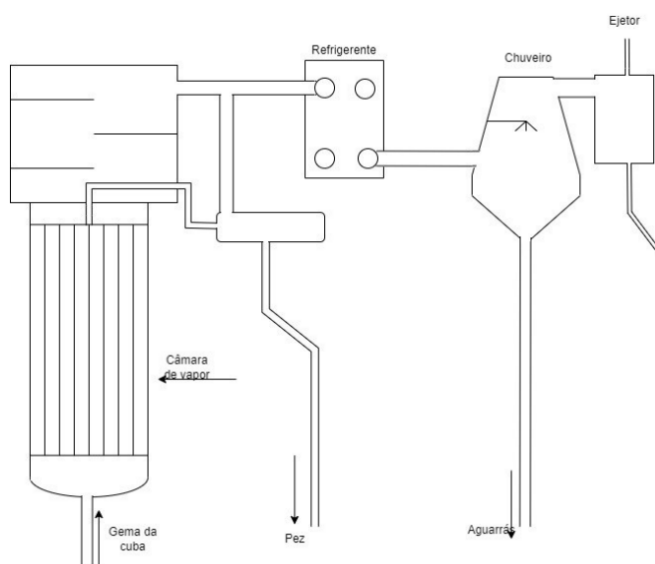


Fig. 26: Esquema de aparelho de destilação contínua no vácuo sem injeção de vapor. Fonte: Soares & Pestana (2023).

1.1.2.5. Destilador contínuo

Neste sistema a resina limpa é bombeada através de um pré-aquecedor, que eleva sua temperatura entre 175°C e 185°C. Depois esta é pulverizada numa câmara, onde o vapor transporta a terebintina para o topo da coluna de destilação, enquanto a colofónia fica depositada na base. Este método, ao contrário do método de Batch, ocorre de forma ininterrupta. É amplamente utilizado, devido a exigir uma quantia de cerca de metade do vapor utilizado no processo descontínuo, mas também pela sua eficiência energética e qualidade dos produtos obtidos (Soares & Pestana, 2023).

1.1.2.6. Alambique tradicional

Durante os estudos não foram encontrados alambiques não industriais projetados especificamente para destilar a resina. Este capítulo trata-se de um estudo acerca de alambiques caseiros, laboratoriais e tradicionais utilizados na produção de bebidas alcoólicas (Figs. 27 a 32), como aguardente e outras destilações artesanais. O objetivo presente é a compreensão dos princípios básicos e o funcionamento destes equipamentos, procurando características que possam ser adaptadas para o processamento da resina, com foco em soluções práticas, acessíveis e eficientes.



Fig. 27: Destilador da olympic distillers. Fonte: Olympicdistiller (s.d.).



Fig. 28: Processo de destilação de resina caseiro. Fonte: Mo's Maxims (2019).

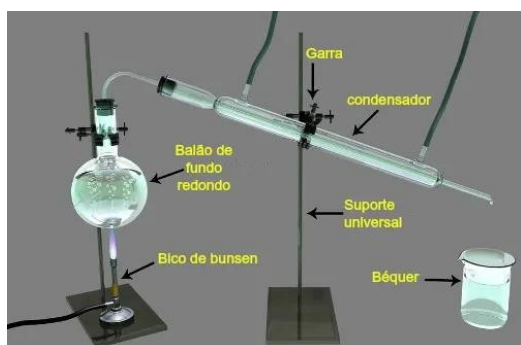


Fig. 29: Destilador óleo essencial/lavanda. Fonte: Alibaba (s.d.).



Fig. 30: Destiladores de cobre. Fonte: Copper Alembic (s.d.).



Fig. 31: Esquema de um destilador de laboratório. Fonte: Alibaba (s.d.).

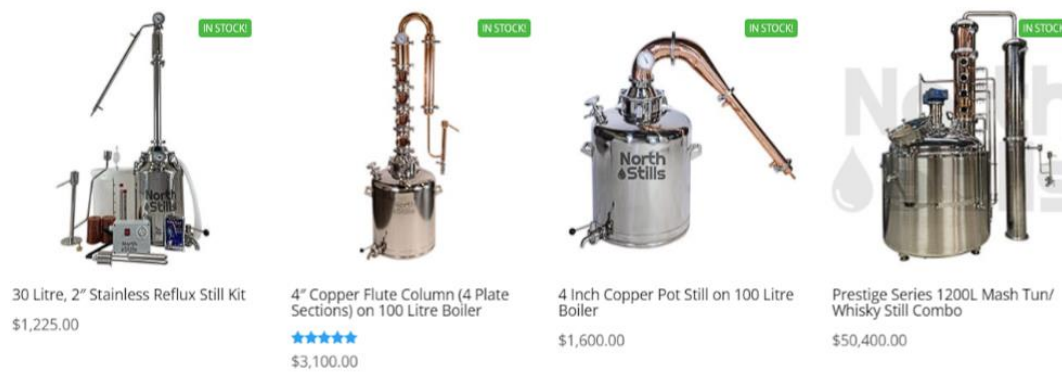


Fig. 32: Conjunto de destiladores de aço inoxidável. Fonte: Northstills (2024).

De acordo com Robert Forbes (1970) um alambique tradicional é composto por três componentes principais:

- Recipiente de aquecimento: Câmara onde o líquido a ser destilado é aquecido. Este aquecimento é controlado para garantir a separação eficiente dos componentes desejados;
- Condensador: Local onde o vapor gerado no recipiente de aquecimento é resfriado, convertendo-o de volta ao estado líquido. Este componente utiliza água ou outro meio de arrefecimento para facilitar o processo;
- Câmara de recolha do destilado: O recipiente final onde o líquido destilado é coletado após ser condensado, assegurando que este fica armazenado de forma adequada.

Os materiais utilizados em alambiques tradicionais têm propriedades que garantem eficácia e pureza no processo:

- Cobre (Fig. 33): Tem uma excelente condução térmica, que permite um aquecimento uniforme. Reage também com compostos de enxofre presentes nos vapores, removendo impurezas e contribuindo para um destilado mais puro. No entanto, é muito caro. (R. Gomes, comunicação pessoal, novembro 11, 2024);



Fig. 33: Alambique de cobre. Fonte: Cardosofilho (s.d.).

- Aço inoxidável (304 ou 316) (Fig. 34): É um material durável e resistente à corrosão. Suporta altas temperaturas e produtos químicos sem comprometer a qualidade do destilado (R. Gomes, comunicação pessoal, novembro 11, 2024);



Fig. 34: Alambique de aço inoxidável. Fonte: Aguinox (s.d.).

- Vidro borossilicato (Fig. 35): Oferece resistência térmica e transparência, oferecendo assim uma visualização direta e melhor controle do processo. É normalmente utilizado em sistemas de menor escala ou em laboratórios (R. Gomes, comunicação pessoal, novembro 11, 2024; Laborquimi, s.d.).



Fig. 35: Alambique de femel. Fonte: Laborquimi (s.d.).

1.1.3. Desafios e considerações para a destilação de resinas

Os alambiques apresentados são projetados para destilar líquidos de baixa densidade não atendendo às necessidades da destilação de resinas. Além disso, as resinas são substâncias viscosas, o que requer um maior controle durante o processo de destilação.

Segundo a comunicação pessoal com Ricardo Gomes (novembro 11, 2024), alguns dos principais desafios incluem:

- Necessidade de temperaturas mais altas, ou seja, a destilação eficaz de resinas exige temperaturas superiores às necessárias para líquidos mais leves, o que pode comprometer a integridade do equipamento e aumentar os custos energéticos;
- Dependendo do material utilizado no alambique, como cobre ou aço inoxidável, podem ocorrer reações químicas indesejadas com os compostos presentes na resina, afetando a qualidade dos subprodutos obtidos;
- Libertação de vapores mais densos e complexos durante o processo, exigindo um sistema de condensação robusto e eficiente para garantir que os vapores sejam adequadamente capturados e transformados em líquido.

Estes desafios ressaltam a necessidade de desenvolver equipamentos específicos ou adaptar os sistemas existentes para atender às exigências técnicas e operacionais da destilação de resinas. A nível de considerações a ter, segundo o Engenheiro Ricardo Gomes, vão desde os materiais dos alambiques, aos controlos, sistemas e manutenção:

Materiais dos alambiques:

- Cobre: Condução térmica eficiente e efeito purificador, reagindo com compostos sulfurados (previne a entrada do mesmo);
- Aço Inoxidável: Resistente a reações químicas e altas temperaturas; recomendado para evitar contaminação;
- Vidro Borossilicato: Ideal para monitorar o processo devido à sua transparência e resistência térmica.

Controlo Térmico

- Necessidade de aquecimento preciso para volatilizar compostos sem degradá-los;
- Recomendado: Termóstato e sistema de controlo que evita choques térmicos.

Sistema de Condensação

- Vapores densos exigem condensadores eficientes (ex. serpentinas de cobre ou aço);
- Uso opcional de resfriador de água externo para manter a temperatura constante.

Manutenção e Limpeza

- Estrutura que facilita a remoção de resíduos de resina, para evitar contaminação.

The image features seven pieces of semi-precious stones, specifically agate and jasper, arranged in a circular pattern around the central text. The stones exhibit various colors and textures: some are dark with light-colored bands, others are solid dark, and one shows prominent concentric rings. The central text is in a bold, red, sans-serif font.

3. Projeto

2. Projeto

Este capítulo apresenta a abordagem adotada ao longo do projeto, iniciando-se com a exploração de diferentes caminhos possíveis para a valorização da resina e seus derivados. Com base na investigação teórica e prática realizada, foram identificadas duas alternativas viáveis, cada uma com potencial para contribuir de forma distinta para o setor resinífero:

- 3.1. Desenvolvimento de um destilador não Industrial
- 3.2. Valorização da raspa de pinheiro

Cada uma destas propostas será analisada, com o objetivo de compreender a sua viabilidade, impacto e grau de aplicabilidade. Após esta análise, justifica-se a escolha da valorização da raspa como objeto principal de estudo.

2.1. Desenvolvimento de um destilador não industrial

2.1.1. Visita à fábrica de destilação Nares

A fábrica de destilação Nares (Fig. 36 e Tabela 3) opera utilizando o processo de destilação Olustee tradicional (destilação descontínua Olustee), anteriormente descrito. É utilizado este método devido à capacidade de processar grandes volumes de resina, no entanto este tem grandes consumos a níveis energéticos.

Durante a visita (Fig. 37), foram apresentados os equipamentos utilizados (Figs. 44 a 51), bem como as etapas envolvidas no processamento industrial. Foi destacado que a maior parte da infraestrutura da fábrica é dedicada à terebintinagem.

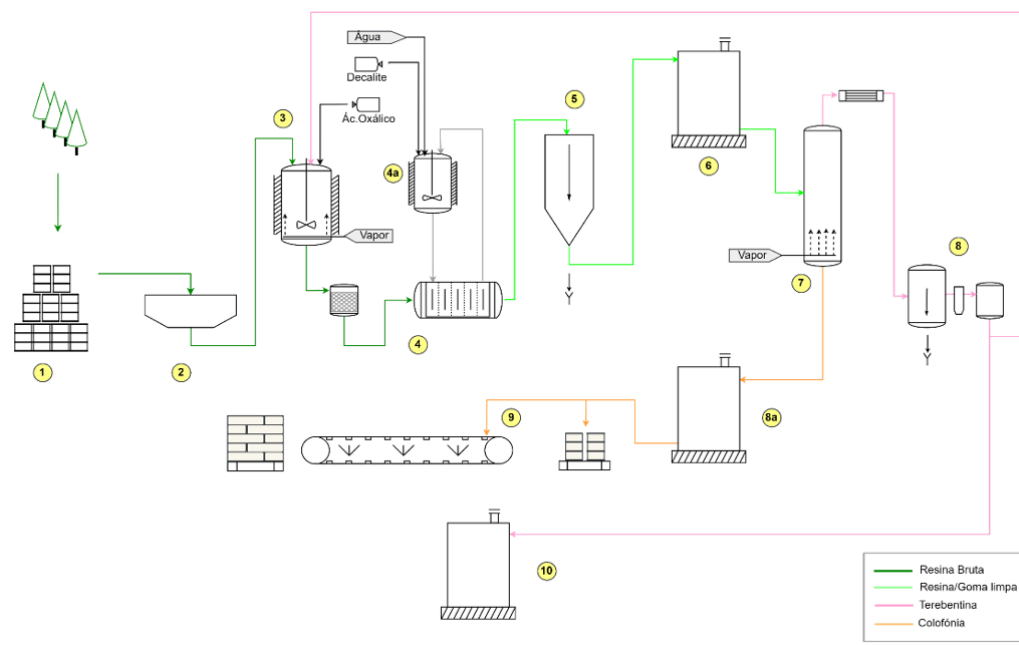


Fig. 36: Esquema da configuração da fábrica de destilação Nares. Fonte: Ricardo Gomes (2025).

Etapa	Entradas	Saídas	Descrição
1	Resina Pinho Bruta	Resina Pinho Bruta	A resina coletada nos pinhais é entregue, embalada em bidões metálicos reutilizáveis. Depois de conferida, quantificada e identificada, é armazenada, em bloco, no parque de matéria-prima.
2	Resina Pinho Bruta	Resina Pinho Bruta	Os bidões de resina são transportados, por empilhador, e despejados para as cubas de receção ('barcas'), onde a resina sofre um ligeiro aquecimento indireto através de água quente (60-80°C) circulante.
3	Resina Pinho Bruta, Ácido Oxálico, Terebentina, vapor	Resina Pinho Bruta, Água	A resina é transferida mecanicamente e doseada gravimetricamente para os misturadores ('Malaxores'). São adicionados: ácido oxálico- como agente quelante para precipitação das impurezas ferrosas; terebentina-para diluição e redução de densidade relativa da resina. A resina é homogeneizada e aquecida, com injeção direta de vapor de água, até 80-90°C (esta etapa é conhecida como 'Malaxagem').
4a	Água Quente, Decalite	Solução Aquosa de Decalite	Prepara-se uma solução aquosa, pouco concentrada, de adjuvante inorgânico de filtração (decalite), para revestimento prévio das placas filtrantes, e promoção de uma maior eficácia na filtração fina da resina.
4	Resina Pinho Bruta, Água, solução aquosa de decalite	Resina de Pinho ou Goma limpa, Água, Impurezas	A resina passa, por gravidade, pelos crivos de cesto, fechados, para remoção das impurezas grosseiras (folhas, cascas, material lenhoso, pedras) da resina. Segue para um filtro horizontal de placas, pré-revestidas com adjuvante de filtração, onde são removidas as impurezas mais finas (areias, terra, precipitados de ferro).
5	Resina de Pinho ou Goma limpa, Água	Resina de Pinho ou Goma limpa	A goma limpa segue para as cubas de decantação, onde permanece por um período não inferior a 6h, de forma a haver uma separação física das fases resina e água (proveniente da condensação do vapor de aquecimento e da solução aquosa do adjuvante de filtração).
6	Resina de Pinho ou Goma limpa	Resina de Pinho ou Goma limpa	A goma limpa, proveniente da decantação, segue para um tanque de armazenamento.
7	Resina de Pinho ou Goma limpa, vapor	Colofónia, Terebentina, Água	A goma limpa é transferida para a coluna de destilação. Decorre um processo físico de separação, por destilação de arrasto de vapor, com patamares definidos de temperatura e tempo de injeção de vapor de água. Na base da coluna é injectado vapor direto que, ao atravessar a resina, eleva a temperatura e arrasta a fração volátil, ficando na coluna a fração mais pesada. A mistura gasosa, composta por terebentina e vapor de água, sai no topo da coluna e segue para um condensador tubular, onde arrefece e passa ao estado líquido.
8	Terebentina, Água, Cloreto Sódio	Terebentina	A mistura líquida condensada segue para um separador do tipo 'florentino', ocorrendo separação gravítica das fases terebentina e água. A terebentina sobrenadante vai sendo transferida para um tanque intermédio, passando por um filtro de sal (cloreto de sódio) que retem alguma humidade residual. A terebentina armazenada no tanque intermédio pode ser reintroduzida no processo na etapa 3.
8a	Colofónia	Colofónia	No final do processo de destilação, a colofónia líquida (fração pesada) é transferida para um tanque de armazenamento e mantida a uma temperatura de 80-100°C.
9	Colofónia	Colofónia	A colofónia sólida embalada assume 2 formas principais: flocos/palhetas, depois de arrefecer e solidificar ao longo de uma tela de floculação; bloco compacto quando embalada diretamente sem arrefecimento prévio.
10	Terebentina	Terebentina	A terebentina vai sendo trasfegada do tanque intermédio para os tanques de armazenamento a granel.

Tabela 3: Descrição numérica do esquema da configuração da fábrica de destilação Nares. Fonte: Ricardo Gomes (2025).



Fig. 37: Visita à fábrica de destilação Nares. Fonte: Imagem do autor (2024).

Foram levantadas algumas preocupações importantes para o projeto de destiladores não industriais.

Uma das principais limitações é o elevado consumo de energia, presente no método de destilação utilizado na fábrica que, segundo o Engenheiro Ricardo Gomes, só seria economicamente viável com volumes maiores, como uma tonelada de resina por ciclo. Foi também destacada a necessidade de desenvolver sistemas eficientes de controlo térmico e condensação para garantir a pureza dos subprodutos.

2.1.2. Processos de destilação de resina

Como mencionado anteriormente, foram apresentados e analisados diversos métodos de destilação da resina. A seguir, são descritos estes sistemas de destilação.

Processo Olustee tradicional (sistema utilizado na fábrica)

Este é um dos métodos mais utilizados na indústria para a destilação de resina, operando através da injeção de vapor de água. A resina é colocada num compartimento, o vapor é injetado e começa a aquecer a resina, iniciando assim a separação dos seus componentes. A substância mais volátil, a terebintina, evapora e passa por um circuito onde separa as partículas de água

antes de seguir para um tubo condensador, onde é resfriada e recolhida em estado líquido. A colofónia, como é menos volátil, fica depositada no compartimento original, liquefazendo-se e sendo recolhida posteriormente. Este processo permite uma extração eficiente, mas requer um controlo rigoroso da temperatura e da pressão para evitar perdas e garantir a qualidade dos subprodutos (R. Gomes, comunicação pessoal, novembro 11, 2024; Soares & Pestana, 2023) (Fig. 38). Nos tópicos seguintes são apresentadas características deste processo.

Parâmetros operacionais:

- Temperatura: Mantida entre 150 e 180°C, com maior permanência a 150°C;
- Sondas de Temperatura: Uma instalada na resina e outra no topo para monitoramento;
- Sonda de Nível: Garante o espaço necessário para a circulação eficiente do vapor;
- Chicane: Dispositivo que impede a colofónia de ser transportada com o vapor;
- Sensor de Pressão: Essencial para manter a segurança do sistema;
- Material de Construção: Preferencialmente aço inoxidável 304, por ser mais económico.

Erros comuns e soluções:

- Excesso de carga: O uso inadequado da sonda de nível pode levar ao enchimento excessivo da câmara de resina, comprometendo o processo;
- Temperatura inadequada: Temperaturas muito altas podem degradar os compostos, enquanto temperaturas fixas não otimizam a extração;
- Fluxo da água de arrefecimento: O resfriamento deve ser contínuo e a temperatura da água precisa ser controlada.

Manutenção do sistema:

- Limpeza do condensador: Impede o acúmulo de resíduos e mantém a eficiência térmica;
- Verificação das juntas: Garante a vedação adequada, evitando vazamentos;
- Purga de condensados: Remove resíduos de condensação que podem interferir na eficiência do sistema;
- Isolamento térmico: Reduz perdas energéticas e melhora o rendimento geral.

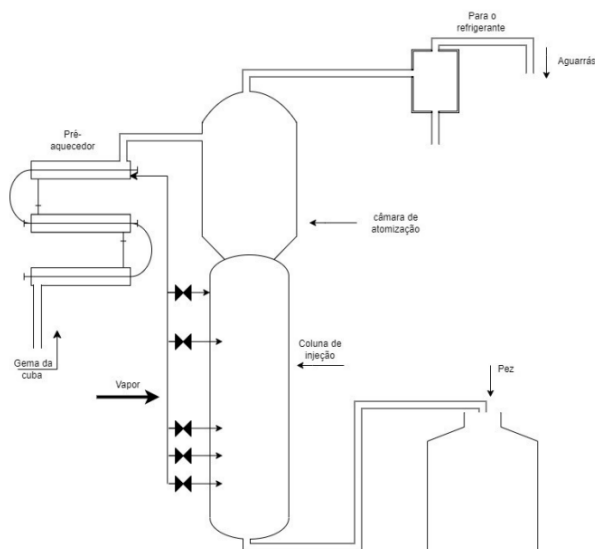


Fig. 38: Esquema de aparelho de destilação contínua a vapor tipo Olustee tradicional. Fonte: Soares & Pestana (2023).

Processo Olustee “chuveiro”

Este processo é uma variação do método tradicional, mantendo o uso de vapor de água para separar os componentes da resina, no entanto otimiza a eficiência da destilação através de um maior contacto entre o vapor e a resina. Neste sistema, o vapor entra pela base do destilador e sobe, enquanto a resina é pulverizada a partir do topo, criando um efeito de "chuveiro". Durante a descida, as pequenas gotas de resina interagem diretamente com o vapor, permitindo uma extração mais eficiente. Esta estrutura permite uma melhor qualidade dos subprodutos, reduzindo perdas e tornando o processo mais eficiente em comparação ao método Olustee tradicional (R. Gomes, comunicação pessoal, novembro 11, 2024; Soares & Pestana, 2023).

Vantagens:

- Maior eficácia: O aumento da área de contacto melhora a extração dos compostos voláteis;
- Produtos de alta qualidade: Obtém-se uma terebintina e colofónia mais puras;
- Redução de perdas: Minimiza o desperdício de resina e seus subprodutos;
- Otimização energética: Uso mais eficiente do vapor reduzindo o consumo energético.

Processo de evaporadores de camada fina/destilação molecular

O funcionamento deste processo ocorre através da distribuição uniforme do líquido sobre uma superfície aquecida. A resina é espalhada de maneira a formar uma camada fina sobre um cilindro rotativo ou numa outra superfície quente. Ao aumentar a área de contacto a vaporização da terebintina torna-se mais eficiente, diminuindo assim o tempo de exposição ao calor minimizando também o risco de degradação térmica. Os vapores gerados vão para um condensador, onde são resfriados e recolhidos. Este método destaca-se pela eficiência energética, menor desperdício de material e melhor preservação da qualidade dos subprodutos extraídos (R. Gomes, comunicação pessoal, novembro 11, 2024; MMCEquipamentos, s.d.; AnalíticaWeb, s.d.) (Fig. 39 e Tabela 4). Vantagens:

- Alta eficiência energética: A rápida transferência de calor reduz o consumo energético;
- Redução de perdas: Minimiza o desperdício de resina e aumenta o rendimento do processo;
- Menor degradação térmica: O tempo de exposição ao calor é reduzido, preservando a qualidade dos compostos mais sensíveis.

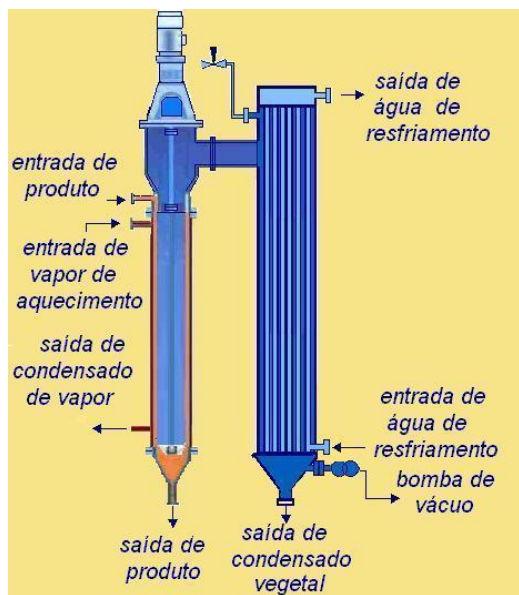


Fig. 39: Esquema de um evaporador de camada fina. Fonte: MMC Equipamentos industriais (s.d.).

Área superficial de evaporação	0.05 m² (DN 60) 0.1 m² (DN 100)
Temperatura máxima	+200 °C na jaqueta com limpadores de PTFE OPÇÃO: +300 °C na jaqueta com limpadores PBI (Polybenzimidazole)
Pressão de operação	0.1 mbar (abs.) à 1 atm
Pressão de operação da jaqueta	Up à +0.5 barG (+0.05 MPa)
Taxa de alimentação	0.1 à 1.5 kg/h (DN 60) 0.3 à 3.0 kg/h (DN 100)
Viscosidade máxima	Até 1.000 mPa.s (com customização)
Velocidade máxima de agitação dos limpadores	DN60: 300rpm (contínuo); 350rpm (Intermitente) DN100: 200 rpm (contínuo), 250rpm (Intermitente)
Selo de agitação	Magnético

Tabela 4: Informações relativas ao evaporador de camada fina AGI. Fonte: Analítica (2025).

Destilação a vácuo

Neste sistema, a pressão interna do destilador é diminuída através de uma bomba de vácuo, o que permite que os compostos voláteis entrem em ebulição a temperaturas reduzidas, geralmente entre 60 e 90°C. Este viabiliza um sistema de aquecimento controlado, evita a degradação térmica de substâncias sensíveis ao calor, garantindo uma maior pureza dos subprodutos extraídos.

O vapor gerado sobe em direção ao condensador, onde de igual forma aos outros sistemas, são resfriados e recolhidos num recipiente distinto. Esse processo destaca-se pela sua eficiência energética, preservação da qualidade dos compostos e maior rendimento na obtenção da terebintina e colofónia (R. Gomes, comunicação pessoal, novembro 11, 2024; Soares & Pestana, 2023) (Fig. 40). Vantagens:

- **Preservação dos compostos:** O aquecimento a baixas temperaturas evita a degradação térmica;
- **Maior pureza:** O controlo preciso da temperatura e da pressão melhora a qualidade dos produtos finais;
- **Eficiência energética:** A menor necessidade de calor reduz o consumo energético em comparação com métodos convencionais;
- **Aumento do rendimento:** Reduz perdas e melhora a recuperação dos compostos desejados.

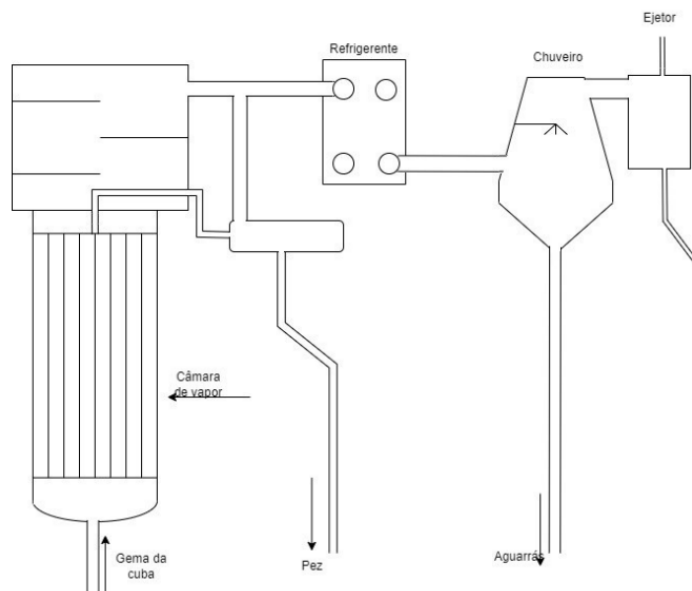


Fig. 40: Esquema de aparelho de destilação contínua a vácuo sem injeção de vapor. Fonte: Soares & Pestana (2023).

Perante esta investigação dos tipos de destiladores, verificou-se que os mais promissores para avançar com o projeto seriam o destilados a vácuo e o destilador por camada fina.

2.1.3. Perfil de pequenos produtores de resina e o seu *output*

Com o objetivo de traçar um perfil de utilizador, foi realizada uma visita, no dia 27 de janeiro de 2025, a um pequeno produtor, Rui Miguel Salgado Da Rosa, que opera numa empresa do setor em Vila Real. Este contacto permitiu obter informações sobre a organização do trabalho, os métodos de extração utilizados.

Durante a visita, foi discutido o impacto de um sistema de destilação não industrial na atividade destes produtores. Rui Miguel Salgado Da Rosa destacou que um destilador seria extremamente útil, pois evitaria deslocações para a venda da resina e permitiria comercializá-la a um valor mais elevado. Além disso, foram fornecidas amostras de resina extraída por método fechado e tradicional, possibilitando testes comparativos para avaliar a qualidade da matéria-prima.

Os pequenos produtores de resina pagam aluguer para utilizar os pinhais e trabalham durante 8 meses por ano, com jornadas de 7 horas diárias para toda a equipe. A extração anual gira em torno de 300 toneladas, com uma média de 1,25 toneladas por dia. A meta ideal é alcançar pelo

menos 1 tonelada diária, o que pode envolver mais de um destilador. Nos 4 meses restantes, o foco está na limpeza da resina, etapa que poderá ser eliminada com a adoção do método fechado (R. Salgado Da Rosa, comunicação pessoal, janeiro 27, 2025).

2.1.4. Primeira projeção do destilador

Segundo as informações recolhidas, quer pelas entrevistas, quer pela investigação, concluíram-se potenciais conceitos e requerimentos para o destilador:

- **Compacidade:** Equipamentos que ocupam pouco espaço e são fáceis de armazenar, sem comprometer a eficiência da destilação. Pode conter um design com uma coluna que permite o vapor passar de forma eficiente sem precisar de um sistema de tubulação longo, reduzindo o espaço ocupado. A ausência de grandes serpentinas contribui para a uma dimensão compacta. Além disso, a estrutura vertical evita ocupar espaço lateral. O formato e a disposição dos componentes ajudam a minimizar a área ocupada no ambiente.
- **Portabilidade/modularidade:** Este modelo (Fig. 41) pode ser desmontado em várias partes, tornando-o ainda mais fácil de embalar e carregar. Isso permite que seja armazenado em espaços pequenos quando não estiver em uso.



Fig. 41: Alambique modular. Fonte: Copperworks (s.d.).

- Facilidade de operação: Projetados para serem intuitivos e de fácil utilização (Fig. 42). O design com coluna fixa e tampa articulada permite fácil acesso ao interior para limpeza e manutenção.



Fig. 42: Alambique de Coluna Rotativa 80 Litros. Fonte: Allcopper (s.d.).

- Utilização de energias renováveis: É essencial integrar sistemas que aproveitam energia solar ou outras fontes limpas (Fig. 43). Idealmente, seria um sistema que permite bombear líquidos usando apenas energia solar, o que reduz significativamente o consumo de eletricidade.



Fig. 43: Kit Bomba Solar 300W para Alambique Seaflo 41mca. Fonte: Leroy Merlin (2025).

- Kits de destilação: Os conjuntos completos facilitam a experiência do utilizador (Fig. 44), ou seja, inclui todos os componentes necessários, como alambique, condensador e acessórios, eliminando a necessidade de compras adicionais.



Fig. 44: Kit de Iniciação à Destilação. Fonte: Copper Alembic.

- Empilhável: Pequeno e fácil de usar, projetado para quem quer aprender destilação caseira sem necessidade de um equipamento grande ou profissional (Fig. 45).



Fig. 45: Kit de Destilaria Moonshine Still 5,5 Litros. Fonte: Worten (s.d.).

Concluindo, o pretendido no destilador é que seja compacto, fácil de transportar, empilhável e fácil de operar. Relativamente à quantidade de resina por ciclo, avaliaram-se parâmetros juntamente com os pequenos produtores mencionados. A meta é processar 1000kg (1 tonelada)

ou 500kg em 7 horas. O tempo por destilação é de aproximadamente 40 minutos, e para a limpeza são necessários aproximadamente 8 minutos. Além disso, foi considerada uma margem de troca de 3 minutos entre cada ciclo, resultando em um total de 51 minutos por ciclo.

Passo 1: Calcular o número de ciclos possíveis em 7 horas O total de minutos disponíveis é de 7 horas, que equivale a 420 minutos. Para calcular o número de ciclos possíveis, dividimos os minutos totais pelo tempo por ciclo: Número de ciclos possíveis = $420 \text{ min} \div 51 \text{ min} \approx 8,24$ ciclos. Portanto, arredondando, podemos realizar 8 ciclos completos.

Passo 2: Determinar a quantidade de resina por ciclo (Tabela 5)

- Para 1000kg em 7 horas: Resina por ciclo = $1000\text{kg} \div 8 \text{ ciclos} \approx 125\text{kg}$ por destilação;
- Para 500kg em 7 horas: Resina por ciclo = $500\text{kg} \div 8 \text{ ciclos} \approx 62,5\text{kg}$ por destilação.

Tabela de Comparação: 1 Tonelada vs. 500 kg		
Meta	Número de Ciclos	Resina por Ciclo
1000 kg	8 ciclos	125 kg
500 kg	8 ciclos	62,5 kg

Tabela 5: Comparação 1 tonelada vs. 500kg. Fonte: Tabela do autor (2025).

Para cumprimento dos objetivos, destilar 500kg é o que mais se aproxima, devido a poder ser mais compacto e de fácil transporte, podendo utilizar 2 ou mais para cumprir a meta diária. De seguida, calculou-se o volume necessário para 62,5kg de resina de pinheiro⁴. A densidade da resina de pinheiro com 20% de terebintina é de $0,974\text{g/cm}^3$ (974kg/m^3) (R. Gomes, comunicação pessoal, novembro 11, 2024). Utilizando a fórmula do volume:

Fórmula: $\text{Volume} = \text{Massa} \div \text{Densidade}$.

Cálculo: $\text{Volume} = 62,5\text{kg} \div 974\text{kg/m}^3 \approx 0,0641 \text{ m}^3 = 64,1 \text{ litros}$.

Portanto, o recipiente deve ter pelo menos 64,1 litros de capacidade.

⁴ Cálculos feitos com recurso a ChatGpt.

Como verificado anteriormente, as melhores opções para o projeto são o destilador a vácuo e o destilador por camada fina. Seguidamente, mostram-se os cálculos realizados para as dimensões de cada um.

Para o destilador com câmara a vácuo, o formato escolhido é cilíndrico para otimizar o aquecimento e facilitar a construção. Utilizando a fórmula do volume de um cilindro, calculou-se o tamanho do recipiente.

Fórmula: $V = \pi \times r^2 \times h$.

Substituindo os valores: $0,0641 = 3,1416 \times (0,2)^2 \times h$. $0,0641 = 3,1416 \times 0,04 \times h$. $0,0641 = 0,1257 \times h$.

Isolando h: $h = 0,0641 \div 0,1257 \approx 0,510 \text{ m} = 51,0\text{cm}$.

Tendo isto em conta, as dimensões do recipiente para câmara de vácuo (Tabela 6) pode ter as seguintes dimensões:

- Diâmetro: 40cm;
- Altura: 51,0cm (aproximado).

Ou, alternativamente:

- Diâmetro 50cm → Altura $\approx 32\text{cm}$;
- Diâmetro 60cm → Altura $\approx 24\text{cm}$;
- Diâmetro 30cm → Altura $\approx 86\text{cm}$.

O método de camada fina espalha a resina sobre uma superfície aquecida, e a espessura da película deve estar entre 0,5mm e 2mm para garantir eficiência térmica, por isso, calcularam-se as suas possíveis dimensões.

Área Necessária para 62,5kg de resina: Fórmula: $\text{Área} = \text{Volume} \div \text{Espessura}$.

Assumindo uma espessura média de 1mm (0,001m): $\text{Área} = 0,0641\text{m}^3 \div 0,001\text{m} = 64,1\text{m}^2$.

Agora, assumimos um tambor cilíndrico rotativo com diâmetro de 50cm (0,5m).

Circunferência do Tambor: $\text{Circunferência} = \pi \times \text{diâmetro} = 3,1416 \times 0,5 = 1,57\text{m}$.

Largura Necessária do Tambor: $\text{Largura} = \text{Área} \div \text{Circunferência}$. $\text{Largura} = 64,1\text{m}^2 \div 1,57\text{m} \approx 40,8\text{m}$.

Ou seja, o tambor teria que ter 40,8 metros de comprimento, o que é inviável. Se reduzirmos o tambor para 5 metros de comprimento, precisaríamos aumentar a espessura da camada para 8,16mm. (Analiticaweb.com.pt,(s.d.) (Tabela 6).

Método	Diâmetro (cm)	Altura (cm)	Largura (m)
Câmara de Vácuo	40	51	0,51
Camada Fina (5 m)	50	N/A	0,00816

Tabela 6: Comparação: destilador a vácuo vs. camada fina. Fonte: Tabela do autor (2025).

Para cumprimento dos objetivos, a destilação a vácuo é a que mais se aproxima, sendo mais compacta e fácil de transportar.

Para o cálculo do volume do recipiente de coleta de terebintina sabemos que:

- 80% da resina destilada vira colofónia;
- 20% é terebintina;
- Cada ciclo destila 62,5kg de resina.

Massa de Terebintina Produzida por Ciclo: $\text{Massa de terebintina} = 62,5\text{kg} \times 0,20 = 12,5\text{kg}$ de terebintina.

Volume de terebintina produzida por ciclo: A densidade da terebintina está entre 0,86 e 0,87 g/cm³. Vamos considerar 0,865 g/cm³.

Fórmula: $\text{Volume} = \text{Massa} \div \text{Densidade}$.

Substituindo os valores: $\text{Volume} = (12,5\text{kg} \times 1000 \text{ g/kg}) \div 0,865 \text{ g/cm}^3 \approx 14,43 \text{ litros}$.

Volume diário (para 500kg de resina destilada): $\text{Massa de terebintina} = 500\text{kg} \times 0,20 = 100\text{kg}$ de terebintina/dia.

Volume diário: $\text{Volume diário} = (100\text{kg} \times 1000 \text{ g/kg}) \div 0,865 \text{ g/cm}^3 \approx 115,6 \text{ litros}$.

Dimensões do recipiente de coleta: Para acomodar 14,43 litros por ciclo, o recipiente pode ter dimensões como:

- Diâmetro 20cm, altura $\approx$ 43cm;
- Diâmetro 25cm, altura $\approx$ 28cm.

Para a coleta diária de 115,6 litros, um recipiente maior pode ter:

- Diâmetro 40cm, altura $\approx$ 23cm;
- Diâmetro 50cm, altura $\approx$ 15cm.

Realizou-se, ainda, um levantamento, dos componentes necessários:

- Câmara de destilação (40cm diâmetro $\times$ 46cm altura);
- Aquecedor (resistência elétrica ou banho de óleo térmico);
- Agitador (opcional, para manter a homogeneidade da resina);
- Bomba de vácuo (para reduzir a pressão interna);
- Manômetro de vácuo (para monitorizar a pressão);
- Válvula de controlo de pressão (para regular o vácuo);
- Condensador tubular (para resfriamento dos vapores);
- Tanque de coleta do destilado (para armazenar a terebintina);
- Separador de líquidos (para separar resíduos);
- Sistema de resfriamento (circulação de água);
- Válvula de drenagem (torneira);
- Parafusos e porcas.

(A. Silva, comunicação pessoal, fevereiro 12, 2025)

Para auxiliar na implementação do seu sistema de destilação de resina, apresenta-se uma tabela detalhada que categoriza os componentes necessários em duas seções: componentes a comprar

e componentes a fabricar. Cada item inclui uma descrição, preço médio ou custo estimado de fabricação, e o tempo necessário para sua produção, quando aplicável. O preço dos componentes a comprar foi visto no Aliexpress e foi acrescentado com um valor de +50% sobre cada produto (A. Silva, comunicação pessoal, fevereiro 12, 2025) (Tabela 7). O valor total foi de 817,50€.

Componente	Preço Original (€)	Preço + 50% (€)
Bomba de Vácuo	150	225
Manómetro de Vácuo	20	30
Válvula de Controle de Pressão	25	37,50
Condensador Tubular	80	120
Resistências Elétricas	60	90
Motor do Agitador	100	150
Torneira para Terebintina	15	22,50
Parafusos e Porcas	25	37,50
Tubos para Sistema de Resfriamento	20	30
Recipiente de Coleta	50	75

Tabela 7: Componentes a comprar. Fonte: Tabela do autor (2025).

Considerando cerca de 50€ por hora em qualquer processo (A. Silva, comunicação pessoal, fevereiro 12, 2025) (Tabela 8). O valor total para a fabricação dos componentes corresponde a 325€.

Componente	Material	Tempo de Fabricação (min)	Custo Hora (€50/h)	Custo Total (€)	Processo
Câmara de Destilação	Aço Inox 304	90	50	75	Corte + Soldagem
Separador de Líquidos	Aço Inox 304	60	50	50	Corte + Soldagem
Estrutura Suporte	Aço Carbono	120	50	100	Corte + Soldagem
Hélice do Agitador	Aço Inox 304	45	50	37,50	Corte CNC
Tanque para Colofónia	Aço Inox 304	75	50	62,50	Corte + Soldagem

Tabela 8: Componentes a fabricar. Fonte: Tabela do autor (2025).

Resumindo todos os componentes, projeta-se o valor de 1.142,50€. O desenvolvimento do destilador não industrial, demonstrou-se ser uma grande oportunidade e possuir bastante potencial neste setor. Este estudo demonstrou, que esta solução seria possível de se realizar. No entanto, três obstáculos principais tornam esta opção inviável dentro do contexto da investigação. Em primeiro lugar, esta opção exige recursos que obrigariam a um investimento inicial significativo. Além disso, envolveria técnicas especializadas, como engenharia de automação, que ultrapassam o conhecimento do autor, dificultando a experiência e a validação dos processos. Por fim, para cumprir os prazos estabelecidos, este projeto exigiria um tempo de desenvolvimento consideravelmente maior do que o disponível, comprometendo a sua execução eficaz. Desta forma, apesar de considerar uma solução promissora a longo prazo, esta abordagem não irá ser prosseguida nesta investigação.

2.2. Valorização da raspa de pinheiro

Durante a visita à fábrica de destilação Nares, foi identificado um subproduto recorrente no processo industrial: a raspa de resina. Este material resulta do acúmulo de resíduos nas zonas de extração e é posteriormente recolhido para aproveitamento limitado na fábrica. Embora não seja considerado um desperdício no sentido estrito, a raspa representa um problema logístico e produtivo. Segundo o Engenheiro Ricardo Gomes,

A raspa é algo que nos traz mais custo e problemas, do que valor. [...]. Tem muita madeira e a resina está já muito oxidada e seca, impactando negativamente nas características do produto final. Além disso, obriga a muito trabalho manual, ocupação de espaço, empate de capital e menor eficiência em algumas etapas do processo (pex. filtração). O seu consumo é minoritário e só se verifica quando não temos necessidade de produzir colofónias com cor clara, algo que começa a ser mais difícil pois o mercado cada vez solicita mais as cores claras (X e WW). Consumimos na etapa da malaxagem e em % muito baixas relativamente à carga de colofónia. (comunicação pessoal, fevereiro 21, 2025)

Sendo assim, trata-se de um material presente em grandes quantidades e com potencial para ser valorizado através de abordagens alternativas.

Tendo em conta os prazos estabelecidos, os recursos disponíveis e a complexidade técnica da outra opção estudada, a valorização da raspa revelou-se como a via mais viável e exequível

dentro desta investigação. A sua abundância (Fig. 46), o baixo valor atual e os desafios associados tornam-na um ponto de partida relevante para o desenvolvimento de soluções que possam ter impacto prático e imediato no setor. A raspa é proveniente da extração tradicional. Esta extração, no entanto, vai-se tornar, futuramente obsoleta, com a evolução para o método fechado (capítulo 2.3.1.2.). Consequentemente, este material deixará de existir. Assim, trata-se de um problema atual de algumas fábricas em Portugal. Através do design, pretende-se contribuir para o escoamento do mesmo e atribuir-lhe valor acrescentado.



Fig. 46: Amontoado de raspa. Fonte: Imagem do autor (2024).

2.3. Abordagem metodológica: *Material Driven Design*

Uma vez selecionada a raspa como foco de intervenção, tornou-se necessário adotar uma metodologia que permitisse compreender e explorar o potencial do material enquanto matéria-prima e ponto de partida projetual. O *Material Driven Design* (MDD) surge neste contexto como um modelo de desenvolvimento centrado no material, que promove um processo de projeto sensível às propriedades intrínsecas da matéria.

O MDD foi proposto por Elvin Karana, Owain Pedgley e Valentina Rognoli (2015) com o objetivo de apoiar designers na integração de materiais emergentes no processo criativo. Esta abordagem defende que o designer deve estabelecer uma relação direta e exploratória com o material, partindo da experimentação tátil, visual e funcional para gerar *insights* que possam orientar decisões formais e conceptuais (Karana et al., 2015).

2.4. Exploração do material

O material em estudo, a raspa (Fig. 47) é um subproduto recolhido no final do processo de extração da resina, proveniente da parte solidificada que adere à madeira ou se acumula nas fases finais do processo. A sua composição é de:

- Fragmentos de madeira;
- Resina parcialmente oxidada;
- Impurezas resultantes da oxidação e contacto com o ar;
- Pequenas pedras ou sujidades do processo de recolha.



Fig. 47: Raspa de pinheiro. Fonte: Imagem do autor (2024).

2.4.1. Estudo inicial

A fase inicial do projeto foi marcada por uma abordagem exploratória, com o objetivo de familiarização com o material e compreender o seu comportamento térmico e mecânico. Esta fase incluiu diversos testes informais realizados, durante um mês, por curiosidade e experimentação, combinando a raspa com vários tipos de resíduos locais e materiais complementares, alguns dos quais são apresentados nas figuras 48 a 51.



Fig. 48: Galeria de testes exploratórios de mistura de raspa com cinzas. Fonte: Imagem do autor (2025).



Fig. 49: Galeria de testes exploratórios de mistura de raspa com borras de café. Fonte: Imagem do autor (2025).



Fig. 50: Galeria de testes exploratórios de mistura de raspa com cera de abelha. Fonte: Imagem do autor (2025).



Fig. 51: Galeria de testes exploratórios de raspa misturada com diversos materiais e experiências a arder. Fonte: Imagem do autor (2025).

Estes ensaios não seguiram um método científico rigoroso, tendo como principal objetivo alimentar a intuição e guiar futuras decisões sobre metodologias e combinações de materiais. Apesar do seu caráter experimental, dois testes destacaram-se e foram mais tarde retomados com maior precisão: o uso de cinzas e de cera de abelha, cujo efeito plástico foi inspirado na investigação de Cristiano Sousa (2015). Para além disso, foram testadas tiragens em diferentes tipos de moldes, sendo os mais relevantes para a investigação os de gesso e silicone.

Contudo, o resultado mais relevante desta fase foi o desenvolvimento do processo base de derretimento da raspa, tanto na sua forma bruta como filtrada, sem cascas de madeira e outras impurezas e sujidade (Figs. 52 a 61). Este processo seria posteriormente aplicado em todos os testes laboratoriais, sendo assim fundamental para a continuidade do projeto.

Relatório de teste: fusão direta da raspa de resina com madeira

Com o objetivo de compreender o comportamento térmico da raspa de pinheiro, constituída por uma mistura de resina endurecida e partículas de madeira, realizou-se um ensaio em três fases, com temperaturas controladas de 120°C, 150°C e 180°C, durante 10 a 15 minutos por etapa. Após a fusão, a amostra foi observada também durante o seu arrefecimento fora do forno. O material utilizado encontra-se detalhado na tabela 9.

Forno elétrico	
Recipiente resistente ao calor	
Papel de forno	
100g de raspa de pinheiro na forma bruta (mistura de resina e madeira)	

Tabela 9: Material utilizado para os testes. Fonte: Tabela do autor.

Procedimento:

1. Pré aquecer o forno a 120°C e manter por 10 minutos;
2. Forrar o recipiente metálico com papel de forno para evitar que a resina cole;
3. Colocar a raspa de resina no recipiente forrado;
4. Inserir o recipiente no forno e manter a temperatura a 120°C por 10 minutos;
5. Aumentar a temperatura gradualmente para 150°C e manter por mais 15 minutos;
6. Subir para 180°C e manter por 15 minutos adicionais.

Fase 1 — 120°C (10 minutos)

Nos primeiros cinco minutos, a resina começou a apresentar sinais de fusão, adquirindo uma cor amarelada e brilhante, acompanhada pela formação de pequenas bolhas na superfície. Durante esse período, a madeira permaneceu inalterada. Aos 10 minutos a situação manteve-se estável, sem alterações adicionais visíveis. A resina continuou a fundir-se lentamente, porém ainda não se observava uma separação evidente dos seus componentes.

Fase 2 — 150°C (15 minutos)

Nos primeiros dois minutos, iniciou-se a libertação de um odor característico da resina. O borbulhar tornou-se mais intenso e a resina começou a concentrar-se no fundo do recipiente. Aos cinco minutos, mais de metade da resina já se encontrava derretida, observando-se uma separação visível entre a fração fundida e os sólidos flutuantes. Depois, aos quinze minutos, a resina apresentava uma coloração amarela no centro e castanha nas extremidades, enquanto a madeira e o material branco permaneciam na superfície.



Fig. 52: Resina derretida com pedaços de madeira no centro. Fonte: Imagem do autor (2025).



Fig. 53: Alterações de cor da resina após 15 minutos a 150°C. Fonte: Imagem do autor (2025).

Fase 3 — 180°C (15 minutos)

Aos dois minutos, a resina já se encontrava completamente derretida. A madeira flutuava na superfície, enquanto o material branco havia desaparecido, possivelmente por volatilização. A coloração predominante foi amarela, com manchas castanhas. Aos sete minutos, a resina começou a cobrir gradualmente as áreas castanhas, fazendo com que a cor geral voltasse a assumir um tom mais amarelado. Pequenos pedaços de madeira continuavam a boiar. Aos dez minutos, o cheiro intensificou-se de forma significativa. Aos quinze minutos, a resina apresentava-se totalmente líquida, exibindo uma coloração castanha uniforme.



Fig. 54: Separação clara entre resina e as impurezas (a flutuar) aos 7 minutos. Fonte: Imagem do autor (2025).



Fig. 55: Estado final da fusão a 180°C. Fonte: Imagem do autor (2025).

Fase 4 — Cronologia da solidificação

Entre 0 e 8 minutos, a resina passou de um estado líquido para uma consistência viscosa, mantendo ainda a coloração castanha. Dos 8 aos 13 minutos, a viscosidade aumentou de forma notória, dificultando qualquer movimento. Entre 13 e 18 minutos, a resina tornou-se extremamente viscosa, apresentando quase nenhuma fluidez. Dos 18 aos 22 minutos, perdeu gradualmente essa viscosidade, tornando-se maleável e fácil de deformar. Por fim, entre 22 e 37 minutos, observou-se um endurecimento progressivo, que culminou na total solidificação do material.



Fig. 56: Estado final do derretimento da raspa. Fonte: Imagem do autor (2025).

A resina iniciou o processo de fusão a 120°C, apresentando-se brilhante e com tonalidade amarelada. A 150°C, verificou-se a separação entre componentes, com a resina líquida a acumular-se no fundo do recipiente. A 180°C, a fusão foi completa, originando uma resina líquida de coloração castanha.

Após a remoção do forno, a resina passou por uma fase viscosa, evoluindo gradualmente até à completa solidificação no intervalo de 37 minutos. O ensaio demonstrou a possibilidade de separação parcial entre a resina e a madeira por meio da fusão térmica. A temperatura de 150°C revelou-se adequada para um derretimento eficaz, sem ocorrência de carbonização acentuada. Já a presença de manchas castanhas a 180°C indicou o início de um processo de degradação térmica. O processo de solidificação rápida fora do forno evidenciou potencial para aplicações que exijam cura acelerada. Após 22 minutos de arrefecimento, verificou-se que o centro ainda mantinha alguma plasticidade, enquanto as bordas se tornaram quebradiças. A textura final deixou de ser pegajosa, acompanhada pelo desaparecimento completo do odor característico.

Relatório de teste: fusão filtrada da raspa de resina com madeira

O procedimento para este teste foi semelhante, sendo adicionado um coador, para as impurezas serem separadas (Tabela 10). O teste serviu para avaliar se a resina pode ser separada da madeira ao escorrer por um coador metálico diretamente no forno, acumulando-se num recipiente resistente ao calor, no caso um molde de silicone colocado por baixo.

Forno elétrico	
Coador	
Recipiente resistente ao calor	
Papel de forno	
100g de raspa de pinheiro na forma bruta (mistura de resina e madeira)	

Tabela 10: Material utilizado para raspa filtrada. Fonte: Tabela do autor.

Procedimento:

1. Pré aquecer o forno a 120°C e manter por 10 minutos;
2. Colocar a raspa de resina no coador;
3. Colocar o coador com a raspa sobre a base de silicone;
4. Inserir o recipiente no forno e manter a temperatura a 120°C por 10 minutos;
5. Aumentar a temperatura gradualmente para 150°C e manter por mais 15 minutos;
6. Subir para 180°C e manter por 15 minutos adicionais.

Fase 1 — 120°C (10 minutos)

Nos primeiros sete minutos, uma pequena quantidade de resina começou a derreter, escorrendo lentamente para o molde de silicone. Não se observaram sinais de madeira misturada à fração derretida. O processo manteve-se lento, mas o início da separação tornou-se visível (Fig. 57).



Fig. 57: Primeiras gotas de resina a atravessar o coador. Fonte: Imagem do autor (2025).

Fase 2 — 150°C (15 minutos)

Aos três minutos, a resina começou a escorrer com maior intensidade para o molde (Fig. 58). Surgiram pequenas partículas castanhas, interpretadas como impurezas, mas sem sinais de grande contaminação. Nesse momento, a resina borbulhava de forma suave. Aos sete minutos,

observou-se a libertação de fumo visível no interior do forno. O coador encontrava-se mal posicionado, o que provocou o transbordamento da resina no molde, sendo necessário reajustar a sua colocação. Aos quinze minutos, o molde encontrava-se quase cheio. A resina apresentava já impurezas castanhas visíveis, enquanto o coador retinha os fragmentos sólidos de maiores dimensões, sobretudo de madeira.



Fig. 58: Raspa derretida a cair do coador. Fonte: Imagem do autor (2025).

Fase 3 — 180°C (15 minutos)

Nos primeiros três minutos, o fluxo de resina aumentou significativamente, acompanhando-se a formação de bolhas. O molde ficou praticamente cheio, com pequenas impurezas castanhas misturadas ao fluxo. Aos oito minutos, o nível de resina no coador diminuiu, e a madeira passou a ser o principal componente retido. As bolhas presentes no molde começaram a desaparecer. Por fim, aos quinze minutos, o fluxo cessou quase por completo, indicando que o processo de separação estava concluído (Figs. 59 e 60).



Fig. 59: Superfície borbulhenta de raspa. Fonte: Imagem do autor (2025).



Fig. 60: Raspa completamente derretida a superfície com metade com bolhas. Fonte: Imagem do autor (2025).

Após este processo, durante o arrefecimento, a resina solidificada adquiriu uma cor castanha translúcida. Foram identificadas duas zonas distintas: uma apresentando bolhas visíveis e outra mais lisa e uniforme. Além disso, a peça foi facilmente removida do molde de silicone, mantendo a forma original (Fig. 61). O coador reteve fragmentos de madeira aderidos, mas a limpeza revelou-se simples, exigindo apenas alguma remoção manual.



Fig. 61: Flor de raspa filtrada. Fonte: Imagem do autor (2025).

Verificou-se que a separação por fusão utilizando coador foi parcialmente eficaz. A maior parte da madeira foi retida, embora algumas impurezas castanhas tenham atravessado o filtro. O molde de silicone revelou-se eficiente na formação e remoção da peça, permitindo que a resina apresentasse boa translucidez — um resultado não observado na técnica com papel de forno. A nível de pontos positivos, houve uma boa extração da resina, uma grande facilidade de desmoldagem e uma limpeza prática do coador.

2.4.2. Estudo científico

Nesta fase, iniciaram-se os testes científicos de moldagem padronizada, utilizando moldes de PLA com alturas distintas (1cm, 3cm e 5cm) (Fig. 62). Todos os testes seguiram o mesmo processo de fusão da raspa de resina previamente descrito, garantindo consistência nos parâmetros térmicos e de tempo.

O objetivo principal foi avaliar a capacidade do material se moldar com precisão, analisando a facilidade de extração dos moldes, a integridade formal das peças e a sua resistência mecânica básica após o arrefecimento. Estes testes procuraram identificar eventuais limitações do material em diferentes espessuras e fornecer dados iniciais para a sua viabilidade em aplicações mais exigentes.



Fig. 62: Moldes PLA utilizados. Fonte: Imagem do autor (2025).

Raspa de resina

Teste 1 — Raspa (100%)

Neste primeiro teste, foi utilizada exclusivamente raspa de resina, sem adição de qualquer outro material. A raspa passou pelo mesmo processo de fusão descrito nos testes preliminares, sendo posteriormente vertida diretamente nos moldes de PLA de 1cm, 3cm e 5cm de altura (Figs. 63 a 66).

Após a solidificação, a mistura tornou-se sólida, embora se revelasse quebradiça, especialmente nas peças mais finas. As superfícies apresentaram um acabamento brilhante, exceto nas áreas que sofreram compressão. A espessura mostrou-se determinante para a resistência final das peças. Resultados:

- Molde de 1 cm: fácil de remover, porém extremamente frágil e propenso a partir-se;
- Molde de 3 cm: remoção mais difícil, mas com maior resistência à quebra;
- Molde de 5 cm: muito difícil de remover, mas apresentando elevada resistência, sendo a peça mais robusta das três.



Fig. 63: Resultado de teste de resistência mecânica teste 1. Fonte: Imagem do autor (2025).

Como esperado, a aumentada espessura contribuiu para uma maior resistência mecânica, sugerindo que este fator é crucial para a durabilidade do material moldado.

Teste 2 — Raspa filtrada (100%)

Neste segundo ensaio, foi utilizada raspa previamente filtrada, seguindo o mesmo método térmico dos testes anteriores. No entanto, devido à maior fluidez da resina filtrada, esta atingiu temperaturas mais elevadas, provocando deformações visíveis nos moldes de PLA. Para evitar danos estruturais graves, foi necessário aguardar entre 5 e 7 minutos antes de verter a mistura nos moldes.

Apesar da fluidez aprimorada, o material revelou-se muito frágil após a solidificação, comprometendo a integridade das peças durante a extração dos moldes (Figs. 64 a 66).



Fig. 64: Peças do teste 2, partidas ao desmoldar. Fonte: Imagem do autor (2025).

Resultados:

- Molde de 1cm – Extremamente frágil, quebrou ao desmoldar. Difícil remoção;
- Molde de 3cm – Também quebrou ao desmoldar. Difícil remoção;
- Molde de 5cm – Única peça que não se partiu por completo, mas ainda apresentou fragilidade estrutural. Remoção difícil.



Fig. 65: Resultado de teste de resistência mecânica teste 2 Fonte: imagem do autor (2025).

Apesar de permitir uma separação mais limpa entre resina e impurezas, a filtragem parece ter comprometido a resistência mecânica do material, especialmente em peças finas. Além disso, as temperaturas elevadas associadas à maior fluidez geraram riscos de deformação dos moldes, o que deverá ser considerado em futuras moldagens.

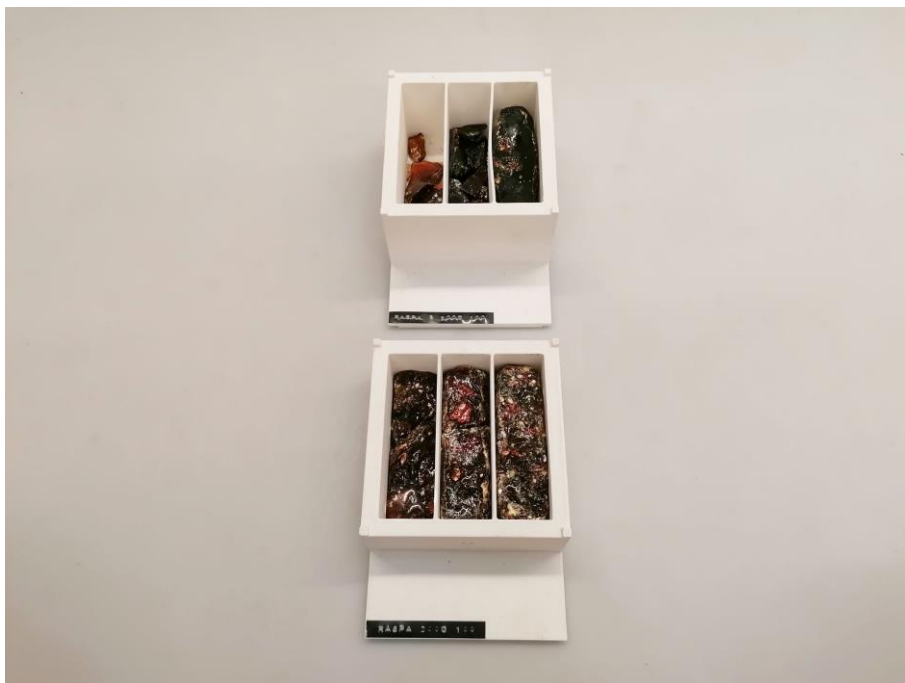


Fig. 66: Testes com raspa: à frente com raspa não filtrada, e atrás com raspa filtrada. Fonte: Imagem do autor (2025).

Após os testes iniciais com raspa pura, verificou-se que a resistência mecânica do material era limitada, especialmente em peças de menor espessura. Com o objetivo de melhorar o desempenho físico e estrutural das peças moldadas, iniciou-se uma nova série de ensaios com adição de outros materiais à base de desperdícios e aditivos naturais.

A escolha dos elementos incorporados nesta fase considerou a disponibilidade de resíduos acessíveis em estabelecimentos locais, preferencialmente com características complementares às da resina. Também se baseou na experiência prévia obtida nos testes preliminares, nos quais algumas misturas, como as que incluíam cinzas, apresentaram resultados promissores. Adicionalmente, foi incorporada cera de abelha, inspirada em estudos anteriores, como a investigação de Cristiano Sousa (2015), devido à sua capacidade de conferir maior plasticidade ao composto.

As misturas foram preparadas com cerca de 250g de raspa e 50g do aditivo selecionado, ajustando-se ligeiramente as proporções consoante a consistência obtida. Em algumas formulações foi utilizada raspa previamente filtrada. Para a moldagem, recorreram-se novamente aos moldes de PLA com alturas de 1cm, 3cm e 5cm, com o objetivo de avaliar a textura do material após a solidificação, a sua facilidade de desmoldagem e a sua resistência mecânica manual.

Mistura de raspa com cinzas

Teste 3 – Mistura de raspa 250g (83,3%) com cinzas 50g (16,7%)

A mistura foi iniciada com a fusão da raspa a 150°C. Após atingir um estado fundido homogêneo, foram adicionados 50g de cinzas. A incorporação foi fácil e resultou numa massa uniforme, que voltou ao forno, agora a 180°C, para atingir maior fluidez e facilitar o enchimento dos moldes (Fig. 67). A mistura foi então vertida nos moldes de PLA de 1cm, 3cm e 5cm (Fig. 68).



Fig. 67: Panela com mistura do teste 3. Fonte: Imagem do autor (2025).

Durante o aquecimento, a mistura manteve-se estável e homogênea. No molde de 5 cm, verificou-se a formação de bolhas de ar, possivelmente devido à dificuldade de escape do ar aprisionado numa massa mais espessa. A cor final das peças apresentou-se cinzenta e escura, com acabamento brilhante nas zonas que não foram pressionadas.



Fig. 68: Mistura despejada nos Moldes teste 3. Fonte: Imagem do autor (2025).

Na figura 69 encontram-se os resultados apresentados nos diferentes moldes:

- Molde de 1cm: Fácil de remover, mas muito frágil e partiu-se com facilidade;
- Molde de 3cm: Remoção simples, resistência ligeiramente superior, mas igualmente frágil;
- Molde de 5cm: Apresentou maior resistência geral, mas zonas com bolhas desfizeram-se facilmente, comprometendo a integridade da peça.



Fig. 69: Resultado de teste de resistência mecânica teste 3. Fonte: Imagem do autor (2025).

A adição de cinzas conferiu uma textura homogênea e facilidade de enchimento do molde. No entanto, a presença de bolhas de ar nas peças mais espessas revelou uma limitação importante para a aplicação estrutural.

Teste 4 – Mistura de raspa 200g (66,7%) com cinzas 100g (33,3%)

Após derreter a raspa até 180°C, as cinzas foram adicionadas. No entanto, esta adição originou uma mistura extremamente espessa e pegajosa, de difícil manipulação (Fig. 70).



Fig. 70: Mistura no final dos primeiros 180°C teste 4. Fonte: Imagem do autor (2025).

Para tentar melhorar a fluidez, a mistura foi novamente ao forno a 180°C durante mais 15 minutos. Mesmo assim, manteve-se pastosa (Fig. 71), sendo necessário retirá-la manualmente e pressioná-la diretamente nos moldes de PLA (Figs. 72 e 73), resultando nas peças da figura 74.



Fig. 71: Mistura no final dos 180°C finais teste 4. Fonte: Imagem do autor (2025).



Fig. 72: Mistura despejada nos Moldes teste 4. Fonte: Imagem do autor (2025).

A mistura apresentou uma textura densa, pouco fluida e difícil de verter (Fig. 70). O enchimento foi realizada manualmente, sem ocorrência de escoamento, devido à elevada viscosidade. A textura final revelou-se áspera e homogênea, com acabamento baço. Observou-se também um aumento significativo da resistência mecânica das peças em comparação com os testes anteriores.

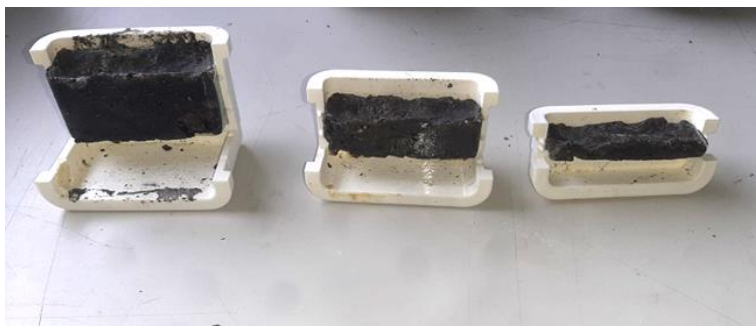


Fig. 73: Mistura após secagem a ser desmoldada teste 4. Fonte: Imagem do autor (2025).



Fig. 74: Mistura após secagem teste 4. Fonte: Imagem do autor (2025).

Na figura 75 encontram-se os resultados apresentados nos diferentes moldes:

- Molde de 1cm: Fácil de remover, continuou frágil, partindo-se com facilidade;
- Molde de 3cm: Mais difícil de remover, mas apresentou maior resistência à quebra que os testes anteriores com raspa pura;
- Molde de 5cm: Muito difícil de remover, com resistência superior a todos os ensaios anteriores.



Fig. 75: Resultado de teste de resistência mecânica teste 4. Fonte: Imagem do autor (2025).

A proporção elevada de cinzas melhorou claramente a resistência do material, mas comprometeu a fluidez da mistura, tornando o enchimento do molde mais difícil. A textura final foi mais rugosa, mas mecanicamente mais robusta, indicando potencial para aplicações onde a resistência seja mais relevante do que o acabamento superficial.

Teste 5 – Mistura de raspa 150g (50%) com cinzas 150g (50%)

A mistura foi preparada com proporções iguais de raspa e cinzas. Após a adição das cinzas à resina derretida, a mistura apresentou-se extremamente espessa e pastosa, começando a solidificar quase de imediato (Fig. 76).



Fig. 76: Mistura espessa teste 5. Fonte: Imagem do autor (2025).

Foi colocada no forno a 180°C durante 15 minutos. No entanto, durante a fase de enchimento, apenas o molde de 5cm conseguiu ser preenchido inicialmente, dado o endurecimento prematuro da massa. Para viabilizar o preenchimento dos moldes restantes, foi necessário levar novamente a mistura ao forno a 180°C por mais 15 minutos. As peças foram formadas parcialmente por vertimento e parcialmente por compressão manual (Fig. 77).



Fig. 77: Mistura desmoldada teste 5. Fonte: Imagem do autor (2025).

Durante a secagem, a mistura endureceu muito rapidamente, dificultando o seu manuseamento. O molde de 1 cm, preenchido por vertimento direto, resultou numa superfície mais brilhante. Já os moldes de 3 cm e 5 cm, moldados manualmente, apresentaram

acabamentos baços e texturas mais rugosas. O material final revelou-se bastante rígido e resistente em comparação com todos os testes anteriores. Resultados (Fig. 78):

- Molde de 1cm: Fácil de desmoldar; mais resistente que em testes anteriores, mas ainda possível de partir com esforço;
- Molde de 3cm: Fácil de desmoldar; exigiu força considerável para se partir;
- Molde de 5cm: Fácil de desmoldar; muito difícil de quebrar, destacando-se como a peça de maior resistência até então.



Fig. 78: Resultado de teste de resistência mecânica teste 5. Fonte: Imagem do autor (2025).

A elevada proporção de cinzas resultou numa mistura robusta, mas de difícil manipulação, exigindo aquecimentos adicionais e trabalho manual para o enchimento do molde. O endurecimento acelerado pode ser vantajoso em contextos que exigem tempos curtos de cura, mas compromete a moldabilidade. Em termos de resistência mecânica, este foi o teste com melhor desempenho estrutural, especialmente na espessura de 5cm.

Teste 6 – Mistura de Raspa 100g (33,3%) com Cinzas 200g (66,7%)

Nesta formulação, uma maior quantidade de cinzas foi adicionada à raspa previamente derretida. Logo após a adição, a mistura tornou-se extremamente seca, farinhenta e sem coesão, dificultando qualquer tentativa de moldagem coesa (Fig. 79).



Fig. 79: Mistura farinhenta teste 6. Fonte: Imagem do autor (2025).

Mesmo após ser submetida ao forno a 180°C durante 15 minutos, o aspeto manteve-se granulado, embora tenha adquirido um leve brilho superficial (Fig. 80).



Fig. 80: Mistura farinhenta teste 6 após os 180°C. Fonte: Imagem do autor (2025).

Quando aquecida, a mistura manteve o seu comportamento como areia solta e precisou ser compactada manualmente dentro dos moldes (Fig. 81). Não se observou fusão homogênea dos materiais, e a textura permaneceu solta, comprometendo fortemente a integridade estrutural das peças obtidas.



Fig. 81: Mistura nos moldes teste 6. Fonte: Imagem do autor (2025).

Na figura 82 encontram-se os resultados apresentados nos diferentes moldes:

- Molde de 1cm: Saiu completamente desfeito; extrema fragilidade;
- Molde de 3cm: Fácil de desmoldar, mas com pouca resistência mecânica;
- Molde de 5cm: Também fácil de desmoldar, mas frágil e pouco coeso.



Fig. 82: Mistura após secagem teste 6. Fonte: Imagem do autor (2025).

O aumento excessivo da proporção de cinzas comprometeu a ligação entre os componentes, resultando numa mistura inviável para aplicações que exijam resistência mecânica. Embora a textura farinhenta facilitasse o enchimento dos moldes, a ausência de coesão inviabilizou o uso prático desta composição. A necessidade de compactação manual evidenciou as limitações físicas da mistura, tornando-a inadequada como material moldável funcional. Os resultados estão representados na tabela 11.

Composição (g)	250g Raspa (83,3%) 50g Cinzas (16,7%)	200g Raspa (66,7%) 100g Cinzas (33,3%)	150g Raspa (50%) 150g Cinzas (50%)	100g Raspa (33,3%) 200g Cinzas (66,7%)
Mistura inicial	Castanha escura, homogênea	Muito pastosa e colante	Espessa e seca	Grãos soltos
Facilidade de mistura	Fácil	Difícil	Difícil	Nula
Plasticidade (quando quente)	Boa, fluida	Alta	Moderada	Nula
Facilidade de moldagem	Fácil de verter	Difícil de verter, precisou de reaquecimento	Amassada nos moldes	Apenas despejada nos moldes
Facilidade de desmoldagem	1cm: Fácil, 3cm: Média, 5cm: Difícil	1cm: Fácil, 3cm: Difícil, 5cm: Muito difícil	1cm: Fácil, 3cm: Média, 5cm: Difícil	Desfeito em todos os moldes
Textura após secagem	Brilhante, algumas bolhas de ar	Brilhante e homogênea	Rugosa e áspera	Farinhenta e frágil
Resistência (quando seco)	Baixa (mais frágil nas bolhas)	Elevada	Elevada	Muito baixa
Foto				

Tabela 11: Comparação dos testes com cinzas. Fonte: Tabela do autor (2025).

O aumento da quantidade de cinzas na mistura contribui para melhorar a resistência do material, mas apenas até certo limite. Quando a proporção de cinzas atinge 50% ou mais, a plasticidade e a fluidez da mistura começam a ser comprometidas, tornando o processo de moldagem mais difícil. Com 66,7% de cinzas, a mistura perde totalmente a coesão, resultando num material frágil e farinhento. Observou-se também que moldes de maior dimensão aumentam a resistência final das peças, mas tornam a desmoldagem mais complicada. Os resultados mais promissores, baseados na resistência mecânica, correspondem ao teste 2 (100g de cinzas) e ao teste 3 (150g de cinzas).

Teste 7 – Mistura de raspa filtrada 200g (66,7%) com cinzas peneiradas 100g (33,3%)

A raspa foi filtrada durante o aquecimento a 150°C, num processo que durou 30 minutos, tempo necessário para que a resina derretesse completamente e os resíduos sólidos fossem separados (Fig. 83).



Fig. 83: Filtragem da raspa. Fonte: Imagem do autor (2025).

Após a filtração, foram incorporadas as cinzas peneiradas (Fig. 84), obtendo-se uma mistura homogênea de coloração castanho-escuro, mais uniforme e coesa do que as composições anteriores com cinzas não filtradas (Fig. 85).



Fig. 84: Peneiração de cinzas. Fonte: Imagem do autor (2025).



Fig. 85: Mistura teste 7. Fonte: Imagem do autor (2025).

Posteriormente, a mistura foi levada ao forno a 180°C por mais 15 minutos, adquirindo boa fluidez inicial, o que facilitou o enchimento parcial dos moldes. No entanto, após poucos minutos começou a engrossar, o que dificultou o preenchimento completo.

Uma nova tentativa de aquecimento a 180°C durante mais 15 minutos foi realizada para melhorar a fluidez, mas a quantidade total da mistura revelou-se insuficiente para preencher os três moldes, o que se deve possivelmente ao facto de a raspa conter uma proporção superior de madeira, resultando em menos resina efetivamente utilizável. A mistura apresentou um acabamento mais homogêneo e brilhante, sem a presença de grumos visíveis. Quando aquecida, mostrava-se ligeiramente pegajosa, mas permanecia fácil de limpar. Na figura 86 encontram-se

os resultados apresentados nos diferentes moldes:

- Molde de 1cm: Fácil de remover; partiu com algum esforço;
- Molde de 3cm: Fácil de remover; não partiu, demonstrando boa resistência mecânica.



Fig. 86: Resultado de teste de resistência mecânica teste 7. Fonte: Imagem do autor (2025).

A utilização de componentes previamente filtrados resultou numa mistura mais consistente, com melhor comportamento térmico e moldabilidade. Apesar da menor quantidade de resina disponível, as peças obtidas apresentaram boa resistência e acabamento visual superior. A composição mostrou-se promissora e poderá ser ajustada em testes futuros com base na proporção exata de resina disponível após a filtração.

Teste 8 – Mistura de raspa filtrada 150g (50%) com cinzas peneiradas 150g (50%)

Devido à insuficiência de material no teste anterior, a proporção de raspa e cinzas foi dobrada para alcançar uma mistura total de 300g. Como nos testes anteriores, a raspa foi derretida e filtrada durante 30 minutos a 150°C, assegurando a separação eficaz entre a resina e a madeira.

Ao adicionar as cinzas peneiradas, a mistura tornou-se de imediato uma pasta castanha extremamente espessa, assemelhando-se a terra húmida. Após uma nova passagem ao forno a 180°C durante mais 15 minutos para tentar melhorar a fluidez, a consistência manteve-se pastosa e farinhenta, sem atingir o estado fluido esperado (Fig. 87). Foi necessário amassar manualmente a mistura para garantir o preenchimento completo dos moldes.



Fig. 87: Mistura teste 8. Fonte: Imagem do autor (2025).

A textura final das peças apresentou-se áspera, rugosa e com aparência mate. Durante o aquecimento, verificou-se novamente uma colagem ligeira da mistura, embora esta permanecesse fácil de limpar das mãos e dos utensílios. Resultados (Fig. 88):

- Molde de 1cm: Fácil de desmoldar, partiu com algum esforço;
- Molde de 3cm: Fácil de desmoldar, não partiu;
- Molde de 5cm: Remoção com média dificuldade, não partiu.



Fig. 88: Resultado de teste de resistência mecânica teste 8. Fonte: Imagem do autor (2025).

Apesar de ter melhorado a resistência final das peças em relação às proporções mais baixas de cinzas, a mistura de alto teor de cinzas filtradas comprometeu significativamente a fluidez e moldabilidade. A textura continua a comportar-se como uma pasta densa, dificultando o enchimento total dos moldes sem intervenção manual. No entanto, as peças resultantes apresentaram boa estabilidade mecânica dentro das proporções testadas (Tabela 12).

Composição (g)	250g Raspa (83,3%) 50g Cinzas (16,7%)	200g Raspa (66,7%) 100g Cinzas (33,3%)	150g Raspa (50%) 150g Cinzas (50%)	100g Raspa (33,3%) 200g Cinzas (66,7%)	200g Raspa F (67%) 100g Cinzas (33%)	150g Raspa F (50%) 150g Cinzas (50%)
Mistura inicial	Castanha escura, homogênea	Muito pastosa e colante	Espessa e seca	Grãos soltos	Castanha, pastosa	Castanha escura, pastosa
Facilidade de mistura	Fácil	Difícil	Difícil	Nula	Fácil	Relativamente fácil
Plasticidade (quando quente)	Boa, fluida	Alta	Moderada	Nula	Moderada	Moderada
Facilidade de moldagem	Fácil de verter	Difícil de verter, precisou de reaquecimento	Amassada nos moldes	Apenas despejada nos moldes	Fácil	Amassada manualmente
Facilidade de desmoldagem	1cm: Fácil, 3cm: Média, 5cm: Difícil	1cm: Fácil, 3cm: Difícil, 5cm: Muito difícil	1cm: Fácil, 3cm: Média, 5cm: Difícil	Todos os moldes desfeitos	Fácil	1cm: Fácil, 3cm: Fácil, 5cm: Média
Textura após secagem	Brilhante, algumas bolhas de ar	Brilhante e homogênea	Rugosa e áspera	Farinhenta e frágil	Brilhante, homogênea e lisa	Áspera
Resistência (quando seco)	Baixa (mais frágil nas bolhas)	Elevada	Elevada	Muito baixa	Elevada	Elevada
Foto						

Tabela 12: Comparação final dos testes com cinzas. Fonte: Tabela do autor (2025).

Os testes com diferentes proporções de cinzas (Fig. 89) permitiram perceber que este aditivo contribui para o aumento da resistência mecânica da raspa, especialmente quando usado em quantidades moderadas (33% a 50%). No entanto, proporções elevadas (66%) tornaram a mistura excessivamente seca e difícil de moldar. A filtragem das cinzas ajudou a obter um aspeto mais limpo e homogêneo, sendo vantajosa para o acabamento final. De forma geral, a incorporação de cinzas demonstrou ser uma alternativa viável para reforçar o material, desde que respeitado o equilíbrio entre fluidez e compacidade.



Fig. 89: Testes com cinzas: à frente com raspa não filtrada e cinzas não peneiradas, e atrás com raspa filtrada e cinzas peneiradas. Fonte: Imagem do autor (2025).

Mistura de raspa com serrim

Teste 9 – raspa 250g (83,3%) + serrim 50g (16,7%)

Após o aquecimento da raspa a 150°C, foram adicionados 50g de serrim. A mistura mostrou-se fácil de envolver, adquirindo uma textura castanha homogênea, semelhante a mousse (Fig. 90).



Fig. 90: Mistura teste 9. Fonte: Imagem do autor (2025).

A seguir, foi levada ao forno a 180°C por 15 minutos para continuar o processo de fusão. Ao verter nos moldes, manteve uma fluidez adequada, preenchendo facilmente os moldes de 1cm, 3cm e parte do molde de 5cm. A limitação na quantidade preenchida deveu-se, possivelmente, ao menor teor de resina na raspa, que continha aglomerados sólidos visíveis. Após a secagem, o material adquiriu uma cor castanha. As áreas não pressionadas apresentaram acabamento brilhante, enquanto as zonas em contacto com o molde ficaram com um aspeto mais baço (Fig. 91).



Fig. 91: Mistura após secagem teste 9. Fonte: Imagem do autor (2025).

Resultados:

- Moldes de 1cm – Fácil de desmoldar, partiu com algum esforço;
- Moldes de 1cm – Fácil de desmoldar, partiu com algum esforço;
- Molde de 5cm (incompleto) – Fácil de desmoldar, não partiu.

A mistura revelou-se homogênea e facilmente moldável, com boa fluidez e uma textura visualmente apelativa. As peças moldadas apresentaram resistência mecânica razoável, especialmente nas espessuras maiores, sendo esta uma mistura equilibrada entre coesão e maleabilidade.

Teste 10 – Raspa 200g (66,7%) + Serrim 100g (33,3%)

Após o aquecimento da raspa a 150°C, foram adicionados 100g de serrim. Ao contrário do teste anterior, a mistura resultante apresentou uma textura extremamente farinhenta, evidenciando que as proporções de gramagem atuam de forma distinta no comportamento físico do serrim, em comparação com as cinzas (Fig. 92).



Fig. 92: Mistura teste 10. Fonte: Imagem do autor (2025).

A mistura foi levada ao forno a 180°C por 15 minutos com o objetivo de melhorar a fluidez. No entanto, manteve-se seca e granulada, sem apresentar grandes alterações em termos de consistência (Fig. 93).



Fig. 93: Mistura após os 180°C teste 10. Fonte: Imagem do autor (2025).

Durante a colocação nos moldes, foi necessário pressionar a massa manualmente para preencher adequadamente cada volume, dada a sua baixa coesão (Fig. 94).



Fig. 94: Mistura após secagem teste 10. Fonte: Imagem do autor (2025).

Resultados:

- Molde de 1cm – Muito frágil, desfez-se com facilidade. Remoção simples;
- Molde de 3cm – Estrutura resistente à quebra. Fácil de desmoldar;
- Molde de 5cm – Comportamento semelhante ao de 3cm: não partiu e foi facilmente removido.

A mistura tornou-se excessivamente farinhenta, resultando em menor coesão interna. Embora as peças mais espessas não tenham partido, a fraca ligação entre os elementos foi evidente, principalmente nas camadas mais finas, que se mostraram extremamente frágeis. Este comportamento evidencia que há um limite funcional na incorporação do serrim, sendo que valores acima de 30% comprometem a integridade do material. Estes testes sugerem que o serrim pode ser um aditivo viável, desde que utilizado com moderação, proporcionando melhorias na textura e aparência, sem comprometer a resistência estrutural.

Teste 11 – 275g de raspa (91,6%) + 25g de serrim (8,33%)

Para este teste, foi utilizada uma proporção de 275g de raspa com 25g de serrim. Devido à maior quantidade de raspa, o tempo de aquecimento a 150°C foi estendido para 30 minutos, de forma a garantir a fusão completa da resina presente no material. Após este aquecimento, o serrim foi incorporado, originando uma mistura inicialmente amarelada que rapidamente assumiu uma coloração castanha homogênea. A mistura foi facilmente envolvida e encaminhada para nova fase de aquecimento a 180°C durante 15 minutos (Fig. 95). No final deste processo, a mistura apresentou boa fluidez e foi vertida sem dificuldade nos moldes de PLA.



Fig. 95: Mistura após os 180°C teste 11. Fonte: Imagem do autor (2025).

Durante a secagem, notou-se uma superfície ligeiramente pegajosa ao toque, mas com acabamento visual uniforme (Fig. 96).



Fig. 96: Mistura nos moldes teste 11. Fonte: Imagem do autor (2025).

Na figura 97 encontram-se os resultados apresentados nos diferentes moldes:

- Molde de 1cm – Fácil de remover e partir;
- Molde de 3cm – Remoção com dificuldade média, não parte;
- Molde de 5cm – Remoção com dificuldade média, não parte.



Fig. 97: Resultado de teste de resistência mecânica teste 11. Fonte: Imagem do autor (2025).

A incorporação de apenas 8,33% de serrim resultou numa mistura bem equilibrada, fácil de envolver e com boa fluidez para moldagem. O aumento do tempo de aquecimento inicial foi fundamental para garantir a fusão total da resina, o que favoreceu a homogeneização com o

aditivo. A mistura apresentou uma textura consistente e um acabamento ligeiramente pegajoso ao toque, mas visualmente uniforme.

Os resultados revelaram uma boa resistência mecânica, especialmente nas peças de maior espessura (3 cm e 5 cm), que se mantiveram íntegras após a desmoldagem. Este teste demonstrou que, em proporções mais reduzidas, o serrim pode ser um aditivo promissor, aumentando a resistência do material sem comprometer a sua moldabilidade.

Teste 12 – 225g de Raspa (75%) + 75g de Serrim (25%)

Assim como no teste anterior, a raspa apresentou dificuldade em derreter totalmente nos primeiros 15 minutos de forno, sendo necessário prolongar o aquecimento a 150°C para um total de 30 minutos. Após esse período, o serrim foi adicionado, formando uma mistura castanho-escuro com textura húmida e granulada, semelhante a terra molhada (Fig. 98). A mistura foi de fácil envolvimento e manteve-se coesa.



Fig. 98: Mistura teste 12. Fonte: Imagem do autor (2025).

Em seguida, foi novamente levada ao forno a 180°C durante 15 minutos. Ao final do tempo, a mistura manteve-se espessa e pastosa, sem alcançar um estado fluido (Fig. 99).



Fig. 99: Mistura após os 180°C teste 12. Fonte: Imagem do autor (2025).

Na fase de colocação nos moldes, a mistura não escorreu, tendo sido necessário aplicar pressão manual para preenchê-los corretamente (Fig. 100).



Fig. 100: Mistura nos moldes teste 12. Fonte: Imagem do autor (2025).

Após a solidificação, as peças apresentaram textura áspera e um cheiro residual a resina, mantendo-se coesas e resistentes, especialmente nas espessuras maiores. Na figura 101 encontram-se os resultados apresentados nos diferentes moldes:

- Molde de 1 cm – Fácil de remover, partiu com facilidade;
- Molde de 3 cm – Remoção com dificuldade média, difícil de partir;
- Molde de 5 cm – Remoção difícil, difícil de partir.



Fig. 101: Resultado de teste de resistência mecânica teste 12. Fonte: Imagem do autor (2025).

A mistura com 25% de serrim revelou uma consistência mais densa e húmida, dificultando o processo de vertimento e exigindo amassamento manual para preenchimento dos moldes. O aumento do tempo de aquecimento a 150°C foi novamente necessário para garantir a fusão completa da respa, demonstrando a necessidade de ajustar este parâmetro em função da quantidade e qualidade da matéria-prima utilizada.

Apesar da textura áspera e da fluidez limitada, os resultados mostraram uma resistência mecânica superior, especialmente nos moldes de 3 cm e 5 cm, que se mantiveram estruturalmente íntegros após a desmoldagem. A coloração escura e o odor da resina mantiveram-se, sendo características consistentes com os testes anteriores. Esta proporção demonstrou ser eficaz para alcançar maior robustez, embora com menor facilidade de enchimento do molde.

Teste 13 – 200g de raspa Filtrada (400g totais) (80%) + 100g de serrim (20%)

Diferente dos testes anteriores, neste caso apenas a quantidade de raspa filtrada foi aumentada, mantendo o serrim em 100g, com o objetivo de garantir volume suficiente para o enchimento completo dos moldes, sem alterar proporcionalmente os restantes componentes.

A mistura foi submetida a um aquecimento inicial a 150°C durante 30 minutos, garantindo a fusão completa da raspa filtrada. Após esse período, o serrim foi adicionado, sendo facilmente envolvido na mistura, que assumiu uma textura homogênea, semelhante a terra húmida. Em seguida, a mistura foi levada ao forno a 180°C por mais 15 minutos com o objetivo de aumentar a fluidez, o que facilitou o preenchimento dos moldes sem necessidade de pressão manual (Fig. 102).



Fig. 102: Mistura após secagem teste 13. Fonte: Imagem do autor (2025).

Resultados:

- Molde de 1 cm – Fácil de desmoldar, quebra com algum esforço;
- Molde de 3 cm – Fácil de desmoldar, não parte;
- Molde de 5 cm – Fácil de desmoldar, não parte.

Aumentar a quantidade de raspa filtrada, mantendo a proporção de serrim mais baixa, revelou-se uma estratégia eficaz para melhorar o desempenho do material. A mistura obteve boa fluidez após o aquecimento a 180°C, permitindo o preenchimento dos moldes com facilidade e sem necessidade de compactação manual. As peças resultantes apresentaram boa resistência mecânica, especialmente nos moldes de 3 cm e 5 cm, onde não se verificou quebra. Este

resultado sugere que proporções mais elevadas de raspa em relação ao serrim favorecem a coesão e durabilidade do material final, mesmo mantendo uma boa moldabilidade (Tabela 13).

Composição (g)	275g Raspa (91,7%) 25g Serrim (8,3%)	250g Raspa (83,3%) 50g Serrim (16,7%)	225g Raspa (75%) 75g Serrim (25%)	200g Raspa (66,7%) 100g Serrim (33,3%)	200g Raspa F 100g Serrim
Mistura inicial	Castanha clara, homogênea	Castanha clara, homogênea	Castanha escura, granulada	Muito farinhenta	Castanha escura, homogênea
Facilidade de mistura	Fácil	Fácil	Fácil	Difícil	Difícil
Plasticidade (quando quente)	Alta	Alta	Moderada	Baixa	Alta
Facilidade de moldagem	Fácil de verter	Fácil de verter	Amassada nos moldes	Amassada nos moldes	Fácil de verter
Facilidade de desmoldagem	1cm: Fácil, 3cm: Média, 5cm: Média	Todos os moldes: Fácil	1cm: Fácil, 3cm: Média, 5cm: Difícil	1cm: Muito fácil, 3cm: Fácil, 5cm: Fácil	1cm: Fácil, 3cm: Fácil, 5cm: Fácil
Textura após secagem	Pegajosa	Brilhante e homogênea	Rugosa e áspera	Rugosa e frágil	Lisa e homogênea
Resistência (quando seco)	Moderada	Elevada	Elevada	Baixa	Elevada
Foto					

Tabela 13: Comparação dos testes com serrim. Fonte: Tabela do autor (2025).

Os testes realizados com serrim demonstraram que este aditivo tem potencial para melhorar significativamente a resistência mecânica das peças produzidas com base em raspa de pinheiro, desde que sejam observadas proporções adequadas. As misturas com menores quantidades de serrim (entre 8% e 25%) apresentaram os melhores resultados, tanto em termos de fluidez durante o processo como de resistência à quebra após a solidificação.

À medida que a proporção de serrim aumentava, observou-se uma tendência para a mistura se tornar mais farinhenta e seca, exigindo maior esforço de compactação manual nos moldes e resultando em peças mais frágeis, especialmente nos moldes de menor espessura. Por outro lado, a utilização de raspa filtrada em conjunto com proporções controladas de serrim (como no

teste 13) resultou em peças de excelente qualidade, com bom acabamento e elevada resistência, sem comprometer a moldabilidade.

Estes resultados indicam que o serrim pode ser um reforço eficaz na composição do material desenvolvido, desde que aplicado em proporções equilibradas, funcionando melhor quando associado a raspa de pinheiro com elevada presença de resina e boa fluidez (Fig. 103).



Fig. 103: Testes com serrim: à frente com raspa não filtrada, e atrás com raspa filtrada. Fonte: Imagem do autor (2025).

Mistura de raspa com cera de abelha

Teste 14 – 250g de raspa Filtrada (500g totais) (83%) + 50g de cera de Abelha (17%)

A raspa foi derretida e filtrada durante 40 minutos a 150°C. No final deste tempo, foi adicionada a cera de abelha, que derreteu quase de imediato e se incorporou facilmente na mistura. A mistura manteve-se bastante fluida, com uma consistência semelhante à da raspa filtrada isolada (Fig. 104).



Fig. 104: Mistura teste 14. Fonte: Imagem do autor (2025).

Devido à elevada temperatura e fluidez, os moldes de PLA sofreram ligeiras deformações (Fig. 105). Foi necessário aguardar entre 5 e 7 minutos antes de verter a mistura, para evitar danos aos mesmos.

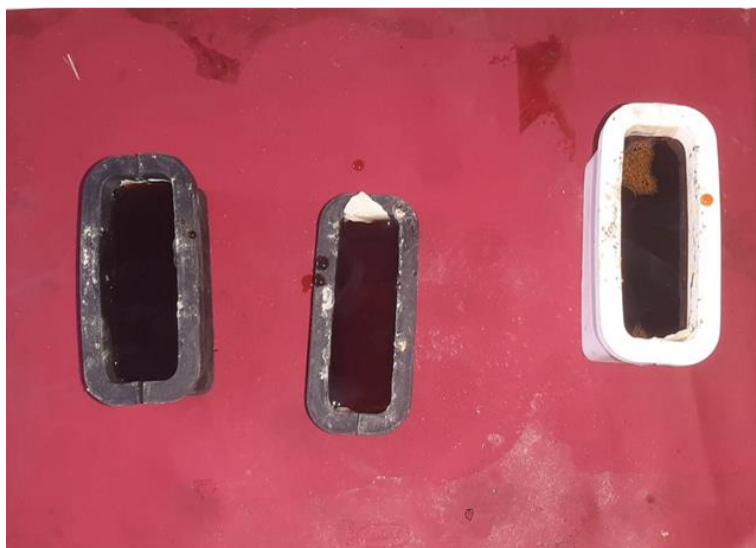


Fig. 105: Mistura nos moldes teste 14. Fonte: Imagem do autor (2025).

A mistura apresentou uma boa fluidez, coloração semelhante à colofónia pura e superfície lisa nas zonas em contacto com o molde. No entanto, revelou-se bastante frágil após a secagem (Fig. 106), e os moldes de PLA sofreram alguma deformação devido à temperatura elevada.



Fig. 106: Mistura após secagem a ser desmoldada teste 14. Fonte: Imagem do autor (2025).

Resultados:

- Molde de 1cm – Difícil de remover, partiu ao desmoldar;
- Molde de 3cm – Difícil de remover, comportamento semelhante ao anterior;
- Molde de 5cm – Remoção com dificuldade média, mais resistente, mas ainda frágil.

A adição da cera de abelha reduziu a viscosidade da mistura e manteve uma boa fluidez. No entanto, não se verificou melhoria significativa na resistência mecânica; pelo contrário, as peças mostraram-se até mais frágeis em alguns casos. A elevada temperatura da mistura comprometeu os moldes de PLA, indicando que este material deve ser evitado com esta combinação. A mistura mostrou-se interessante em termos de manipulação, mas limitada em robustez.

Teste 15 – Raspa filtrada 200g (400g totais) (67%) + cera de abelha 100g (33%)

A raspa foi aquecida a 150°C durante 40 minutos até estar completamente derretida. A cera de abelha foi adicionada durante esse tempo, começando por derreter imediatamente e integrando-se rapidamente na mistura. O resultado foi uma fusão homogénea, bastante fluida (Fig. 107), mas com temperatura elevada, o que voltou a provocar ligeiras deformações nos moldes em PLA.



Fig. 107: Mistura teste 15. Fonte: Imagem do autor (2025).

A mistura, ao ser vertida, apresentava um aspeto límpido e fluido. Após a secagem, escureceu ligeiramente, adquirindo um tom castanho-claro (Fig. 108). A textura ficou homogénea, com superfície lisa nas zonas de contacto com o molde, e sem viscosidade (Fig. 109).



Fig. 108: Mistura nos moldes teste 15. Fonte: Imagem do autor (2025).



Fig. 109: Mistura após secagem teste 15. Fonte: Imagem do autor (2025).

Na figura 110 encontram-se os resultados apresentados nos diferentes moldes:

- Molde de 1cm – Difícil de remover, partiu ao desmoldar;
- Molde de 3cm – Difícil de remover, partiu ao desmoldar;
- Molde de 5cm – Difícil de remover, resistência média; não partiu, mas ainda frágil.



Fig. 110: Resultado de teste de resistência mecânica teste 15. Fonte: Imagem do autor (2025).

O aumento da proporção de cera para 33% não trouxe melhorias significativas à resistência mecânica do material. A mistura continuou frágil, especialmente nas espessuras menores. Embora tenha perdido a característica pegajosa, a extração dos moldes foi dificultada pela forte aderência, sendo este um fator limitante para a produção em moldes de PLA.

Teste 16 – Raspa filtrada 150g (300g totais) (50%) + cera de abelha 150g (50%)

A raspa foi derretida a 150°C durante 40 minutos. Após este tempo, a cera foi adicionada, mas vários pedaços não se fundiram de imediato, sendo necessário um aquecimento adicional de 20 minutos. A mistura tornou-se bastante fluida e homogênea, semelhante à da raspa filtrada isolada. Devido à elevada temperatura da mistura, o molde de 5cm deformou-se, inviabilizando a sua utilização. As restantes peças foram deixadas a secar durante cerca de 15 horas. A mistura apresentou uma coloração castanha semelhante a caramelo. A textura ficou seca ao toque, com aparência homogênea e sem viscosidade. As superfícies em contacto com o molde ficaram lisas. Na figura 111 encontram-se os resultados apresentados nos diferentes moldes:

- Molde de 1cm – Fácil de remover, quebrou com algum esforço;
- Molde de 3cm – Remoção moderadamente fácil, não partiu;
- Molde de 5cm – Não foi possível utilizar devido à deformação do molde.

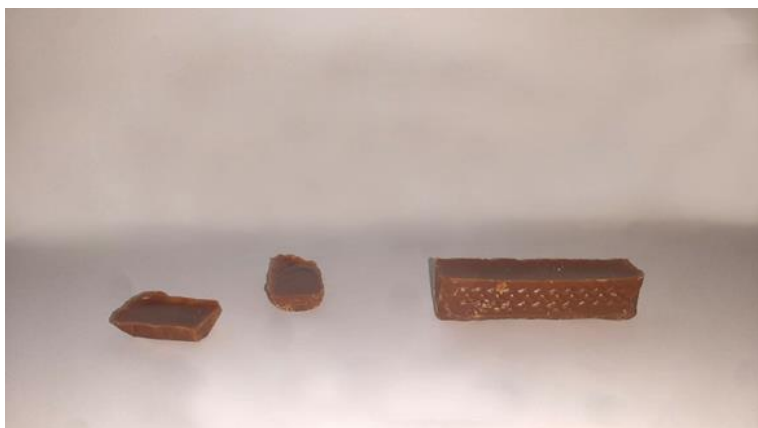


Fig. 111. Resultado de teste de resistência mecânica teste 16. Fonte: Imagem do autor (2025).

O aumento da proporção de cera para 50% resultou numa mistura altamente fluida e fácil de manusear. O tempo de fusão necessário aumentou, demonstrando que grandes quantidades de cera requerem mais tempo de forno. A resistência da peça de 3cm foi ligeiramente superior à observada em testes anteriores, mantendo uma boa textura e facilidade de desmoldagem. Contudo, a temperatura elevada continua a limitar o uso de moldes em PLA, sendo necessário considerar alternativas para evitar deformações.

Teste 17 – Raspa filtrada 100g (33%) (200g totais) + cera de abelha 200g (66%)

A raspa foi derretida a 150°C durante 40 minutos. De seguida, adicionou-se a cera, que inicialmente não derreteu por completo, mantendo blocos sólidos na mistura (Fig. 112).



Fig. 112: Cera antes de derreter na raspa filtrada teste 17. Fonte: Imagem do autor (2025).

Foi necessário um aquecimento adicional a 180°C durante 15 minutos para garantir uma fusão completa. Após este período, a mistura tornou-se totalmente fluida e homogênea, semelhante à colofónia filtrada isolada (Fig. 113).



Fig. 113: Mistura teste 17. Fonte: Imagem do autor (2025).

Para evitar deformações nos moldes em PLA, aguardou-se cerca de 10 minutos antes de verter a mistura. Esta apresentou boa fluidez, coloração acastanhada semelhante a caramelo e textura homogênea. Após a secagem, não ficou pegajosa ao toque. O tempo de secagem foi de aproximadamente 1 hora à temperatura ambiente (Fig. 114).



Fig. 114: Mistura após secagem teste 17. Fonte: Imagem do autor (2025).

Resultados (Fig. 115):

- Molde de 1cm – Muito fácil de remover. Dobrou com o esforço, mas não partiu;
- Molde de 3cm – Muito fácil de remover. Dobrou com o esforço, mas não partiu;
- Molde de 5cm – Muito fácil de remover. Dobrou com o esforço, mas não partiu.



Fig. 115: Resultado de teste de resistência mecânica teste 17. Fonte: Imagem do autor (2025).

A mistura com 66% de cera de abelha demonstrou o melhor desempenho em termos de flexibilidade entre todos os testes realizados com este aditivo. Após a fusão completa, o material apresentou uma textura homogênea, fluidez ideal e facilidade no enchimento dos moldes. As peças obtidas revelaram um comportamento mais plástico, sendo capazes de dobrar com o esforço sem se partirem, o que representa um avanço significativo em relação aos testes anteriores, onde a fragilidade era evidente. Além disso, o material revelou-se fácil de desmoldar e não apresentou características pegajosas após a secagem, indicando o seu potencial para aplicações que exijam resistência e maleabilidade. Os resultados dos testes estão presentes na tabela 14.

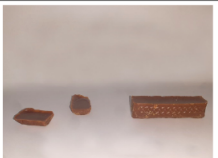
Composição (g)	250g Raspa (83%) 50g Cera (17%)	200g Raspa (67%) 100g Cera (33%)	150g Raspa (50%) 150g Cera (50%)	100g Raspa (33%) 200g Cera (66%)
Mistura inicial	Avermelhada	Avermelhada	Avermelhada	Avermelhada
Facilidade de mistura	Fácil	Fácil	Fácil	Fácil
Plasticidade (quando quente)	Elevada	Elevada	Elevada	Muito Elevada
Facilidade de moldagem	Fácil de verter	Fácil de verter	Fácil de verter	Fácil de verter
Facilidade de desmoldagem	Difícil (1cm e 3cm), Média (5cm)	Difícil	Fácil	Muito fácil
Textura após secagem	Seca, translúcida, pouco pegajosa	Homogênea, seca, acastanhada	Homogênea, seca, acastanhada	Homogênea, seca, acastanhada
Resistência (quando seco)	Baixa	Baixa	Moderada	Elevada (flexível/dobração)
Foto				

Tabela 14: Comparação dos testes com cera de abelha. Fonte: Tabela do autor (2025).

Os testes com adição de cera de abelha revelaram-se especialmente pertinentes no que diz respeito à modificação das propriedades mecânicas da raspa filtrada. À medida que a proporção de cera aumentava, observou-se uma transição gradual de um comportamento mais quebradiço para um comportamento mais plástico e flexível. Apesar de os primeiros testes, com 17% e 33%

de cera, não apresentarem melhorias significativas na resistência, os resultados tornaram-se mais promissores com a proporção de 50% e, especialmente, de 66%, onde as peças foram capazes de dobrar sem se partir.

A mistura manteve sempre uma boa fluidez e uma textura homogênea, facilitando o enchimento dos moldes. No entanto, a elevada temperatura de fusão necessária continuou a apresentar riscos para os moldes de PLA, sendo necessário gerir os tempos de arrefecimento antes do enchimento. Além disso, o uso de cera eliminou a viscosidade característica da resina pura, conferindo um acabamento mais seco e agradável ao toque. No geral, a cera de abelha mostrou-se um aditivo eficaz para conferir maior flexibilidade e melhorar o manuseamento do material, sendo uma opção promissora para formulações futuras com maior foco em propriedades plásticas (Fig. 116).



Fig. 116: Testes com cera de abelha: raspa filtrada. Fonte: Imagem do autor (2025).

Mistura de raspa com fibras de papel

Teste 18 – Raspa Filtrada 282,6g (94,2%) (565,2g totais) + Fibras de Papel 17,4g (5,8%)

Neste teste, primeiramente preparou-se o material. Cortou-se o papel kraft em pequenos bocados (Fig. 117) e picou-se num liquidificador até fazer algodão (Fig. 118).



Fig. 117: Sacos de farinha. Fonte: Imagem do autor (2025).



Fig. 118: Papel ralado no liquidificador. Fonte: Imagem do autor (2025).

A preparação iniciou-se com a fusão e filtração da raspa durante 40 minutos a 150°C. Em seguida, foram adicionadas fibras de papel trituradas. Estas foram incorporadas facilmente, formando uma massa com textura fibrosa, lembrando madeira húmida picada. A mistura foi levada novamente ao forno a 180°C durante 15 minutos, tornando-se um pouco mais fluida, mas notoriamente pegajosa (Fig. 119).



Fig. 119: Mistura teste 12. Fonte: Imagem do autor (2025).

Durante a colocação nos moldes, foi necessário pressionar manualmente a massa. A elevada temperatura atingida causou ligeira deformação no molde de PLA de 5cm. Resultando nas peças da figura 120.



Fig. 120: Mistura após secagem teste 18. Fonte: Imagem do autor (2025).

Na figura 121 encontram-se os resultados apresentados nos diferentes moldes:

- Molde 1cm – Muito fácil de desmoldar; partiu com esforço, revelando boa resistência à quebra. Apresentou uma plasticidade superior às misturas com cinzas e serrim;
- Molde 3cm – Muito fácil de desmoldar; não partiu;
- Molde 5cm – Fácil de desmoldar; não partiu.



Fig. 121: Resultado de teste de resistência mecânica teste 18. Fonte: Imagem do autor (2025).

A combinação de fibras de papel com raspa filtrada resultou numa mistura com excelente comportamento mecânico (Fig. 122), destacando-se pela elevada resistência à quebra e uma plasticidade superior às observadas nas misturas com cinzas ou serrim. A textura final foi áspera nas zonas expostas ao ar e lisa nas zonas moldadas. A viscosidade durante a manipulação e o ligeiro impacto nos moldes PLA revelam a necessidade de ajustes no controlo de temperatura. Os resultados dos testes estão presentes na tabela 15.

Composição (g)	470g Raspa (78%) 30g Fibras de papel (22%)
Mistura inicial	Mistura com muita “pelagem”, aspeto de madeira humedecida
Facilidade de mistura	Fácil
Plasticidade (quando quente)	Elevada
Facilidade de moldagem	Amassada / preencheu bem
Facilidade de desmoldagem	1cm: Muito fácil / 3cm: Muito fácil / 5cm: Fácil
Textura após secagem	Áspera (zonas expostas), lisa (contacto)
Resistência (quando seco)	Muito elevada
Foto	

Tabela 15: Teste de fibras de papel. Fonte: Tabela do autor (2025).

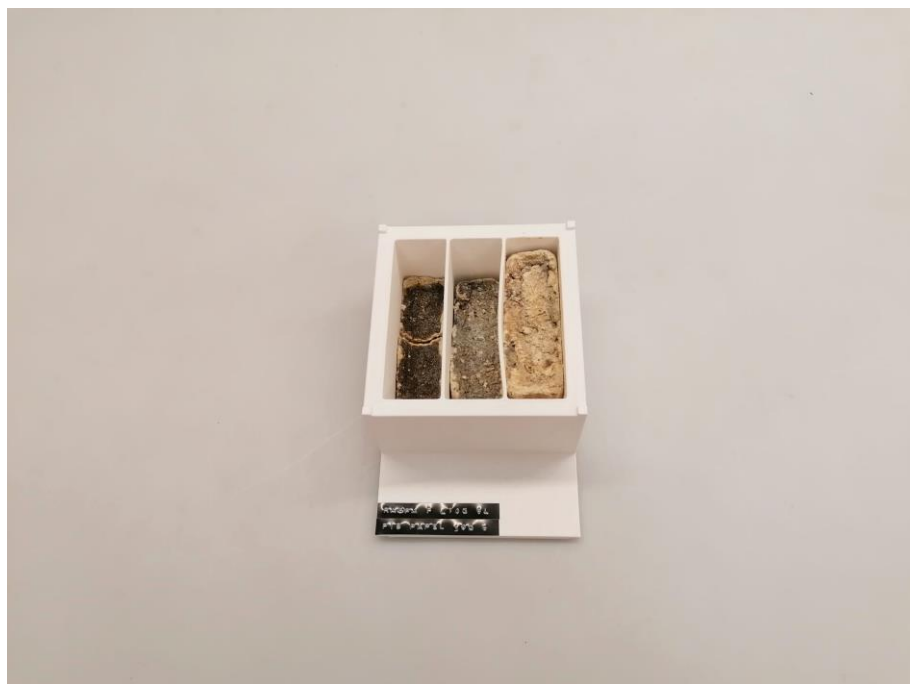


Fig. 122: Teste com fibras de papel: raspa filtrada. Fonte: Imagem do autor (2025).

Após a realização de dezassete testes com diversas combinações de raspa de pinheiro e aditivos foram observadas tendências relevantes no comportamento dos materiais, tanto a nível estrutural como estético e funcional.

As fibras de papel revelaram-se as mais eficazes em termos de resistência estrutural, embora com menor aceitação visual. O serrim, por sua vez, destacou-se pela sua estética natural e rigidez satisfatória, tornando-se uma das soluções mais equilibradas. Já as cinzas, apesar de menos atrativas do ponto de vista visual, demonstraram ser úteis na coesão e consistência do material, contribuindo para uma maior dureza e estabilidade.

A raspa de pinheiro filtrada, utilizada isoladamente, apresentou-se como o material com melhor aspeto visual, devido à sua translucidez e acabamento limpo, mas revelou-se muito frágil. A cera de abelha teve um papel essencial ao eliminar a viscosidade típica da resina e, em concentrações elevadas, forneceu plasticidade, permitindo flexibilidade e maior resistência à fratura.

Com base nas observações anteriores, foi realizada uma sessão de partilha e validação com um grupo composto por 12 pessoas, entre elas a equipa de orientação e colegas diretamente envolvidos no acompanhamento do projeto. Por se tratar de um grupo com conhecimento aprofundado sobre o percurso da investigação, a sua opinião foi considerada fundamental para orientar a decisão final. Foi apresentado ao grupo os materiais resultantes dos testes com explicações sobre o processo, proporções e resultados obtidos. Foram analisados fatores como a estética visual, a resistência mecânica e a facilidade de moldagem e desmoldagem.

Após a avaliação coletiva, três formulações foram destacadas como as mais promissoras, tendo em conta o equilíbrio entre propriedades técnicas e preferência visual:

- Teste 2 – Raspa filtrada (100%): apesar da sua fragilidade, foi valorizada pela estética e fluidez (Fig. 65);
- Teste 4 – Raspa 66,7% + Cinzas 33,3%: apresentou boa consistência e resistência (Fig. 75);
- Teste 11 – Raspa 91,6% + Serrim 8,33%: reconhecida pela estética natural e moderada resistência (Fig. 97).

2.4.3. Testes em maior escala

Nesta fase, foram testadas as três formulações previamente selecionadas: colofónia filtrada, raspa com cinzas e colofónia com serrim (nesta mistura, optou-se por utilizar raspa filtrada, por forma a garantir uma maior homogeneidade e melhor integração do aditivo). Agora aplicadas em moldes de maior dimensão e geometrias distintas (formas circulares e paralelepípedicas), com alturas de 2cm a 5cm e com 10cm de diâmetro e 10cm por 10cm de lado (Fig. 123). O objetivo foi avaliar a facilidade de desmoldagem, o comportamento visual e estrutural das peças, bem como o desempenho mecânico em situações práticas.

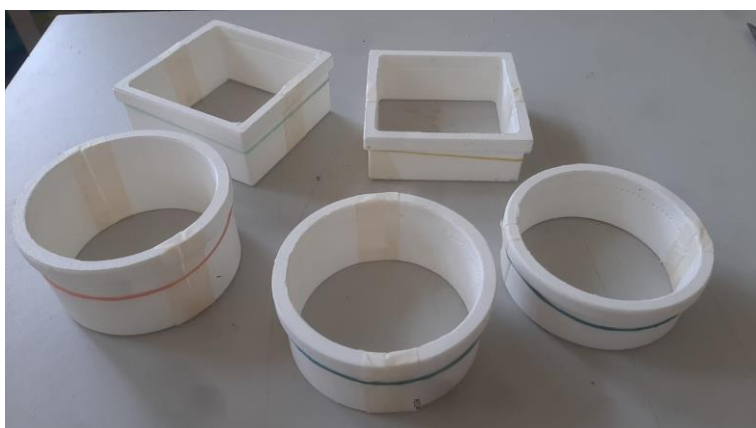


Fig. 123: Moldes geométricos de PLA. Fonte: Imagem do autor (2025).

Durante o enchimento dos moldes (Fig. 124), houve diversas observações em relação ao comportamento do material, nomeadamente a formação de bolhas de ar, fenómeno mais frequente nas misturas (Fig. 125). No entanto, estas bolhas puderam ser eliminadas com sucesso através da aplicação controlada de chama direta, melhorando a qualidade superficial da peça final (Fig. 126).



Fig. 124: Vertimento dentro do molde paralelepípedo. Fonte: Imagem do autor (2025).



Fig. 125: Remoção de bolhas na mistura de cinzas. Fonte: imagem do autor (2025).



Fig. 126: Remoção de bolhas na raspa filtrada. Fonte: Imagem do autor (2025).

Os moldes de formato circular confirmaram-se mais eficazes no momento da desmoldagem das peças, apresentando menor resistência ao desmolde e menos danos nas arestas (Fig. 127). Já os moldes de base paralelepípedica evidenciaram uma maior tendência para fragilidade nas extremidades, especialmente com a mistura de colofónia filtrada, que revelou novamente a sua elevada fragilidade (Fig. 128). Em alguns casos, foi possível "reparar" pequenas fraturas através do uso localizado de calor, fundindo novamente as partes partidas. Da mesma forma, o uso de fogo na fase final foi eficaz para conferir brilho à superfície, que normalmente fica baça após contacto com o molde. As peças resultantes estão presentes nas figuras 129 e 130.



Fig. 127: Remoção da raspa filtrada do molde circular. Fonte: Imagem do autor (2025).



Fig. 128: Remoção da raspa filtrada do molde paralelepípedo. Fonte: Imagem do autor (2025).

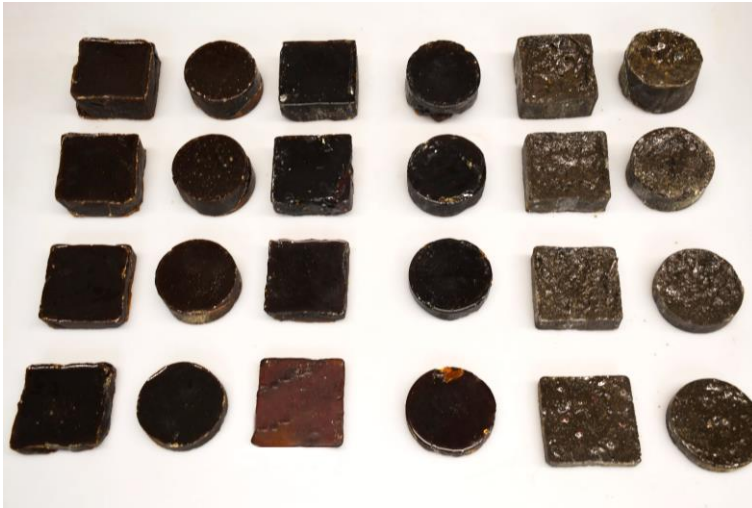


Fig. 129: Peças desmoldadas. Fonte: Imagem do autor (2025).

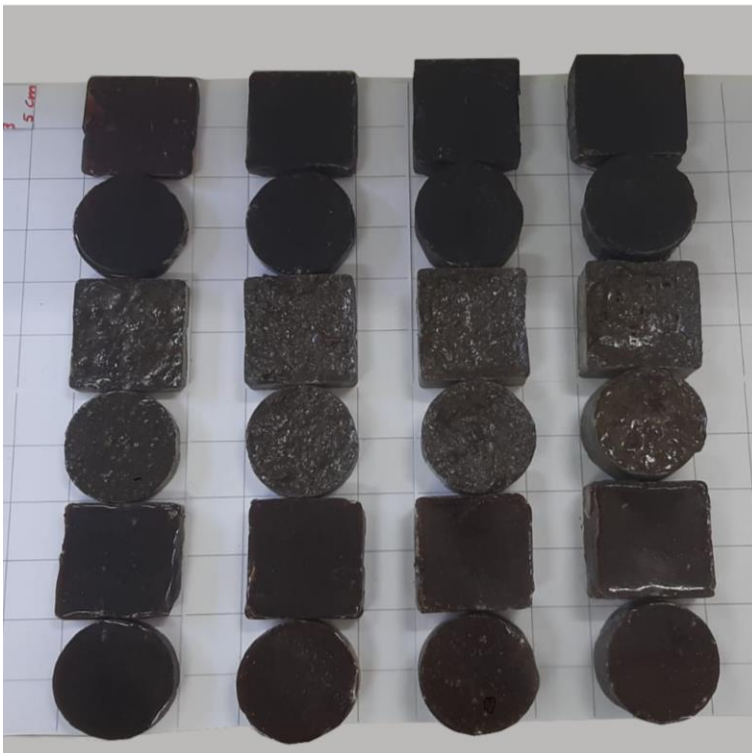


Fig. 130: Peças desmoldadas na grelha de medição. Fonte: Imagem do autor (2025).

Relativamente à resistência mecânica, a maior escala dos corpos de prova teve um impacto positivo no desempenho estrutural das peças. Verificou-se um aumento significativo da resistência à quebra, especialmente nas misturas com aditivos (cinzas e serrim). Como esperado, peças de maior altura apresentaram maior rigidez. Foi realizado um ensaio de queda livre, a uma altura de 1,10 metros. Como resultado apenas as peças de raspa filtrada é que sofreram fratura,

confirmando novamente o seu comportamento mais frágil. As restantes mantiveram-se íntegras, validando o potencial destas misturas para aplicações que exijam maior resistência física (Figs. 131 a 133).

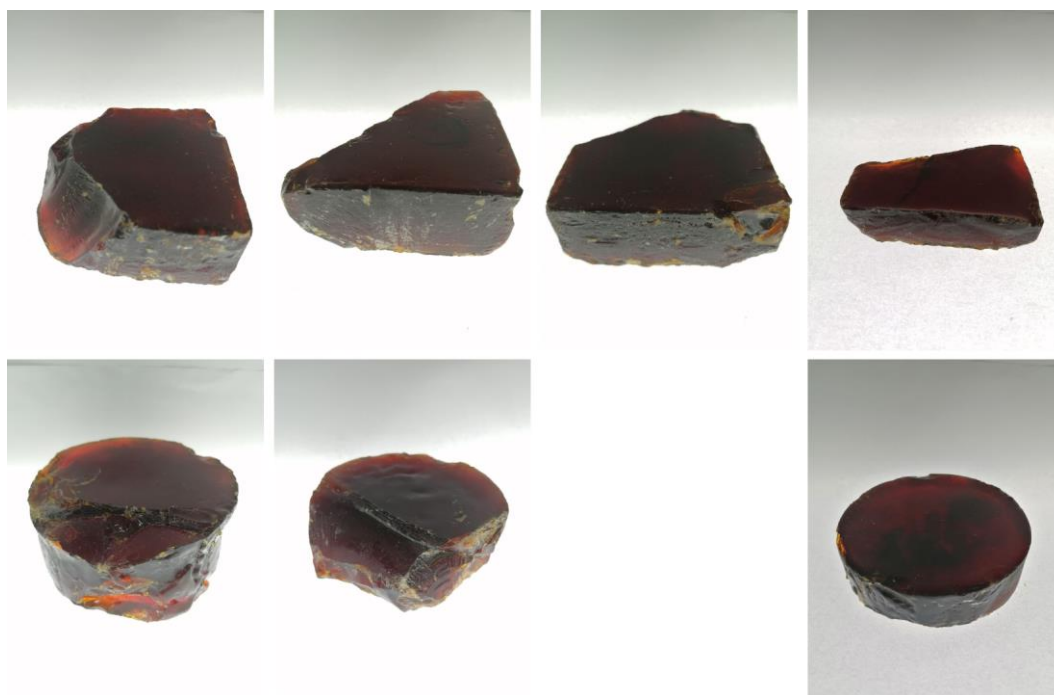


Fig. 131: Fotos das peças de raspa filtrada (após queda). Fonte: Imagem do autor (2025).

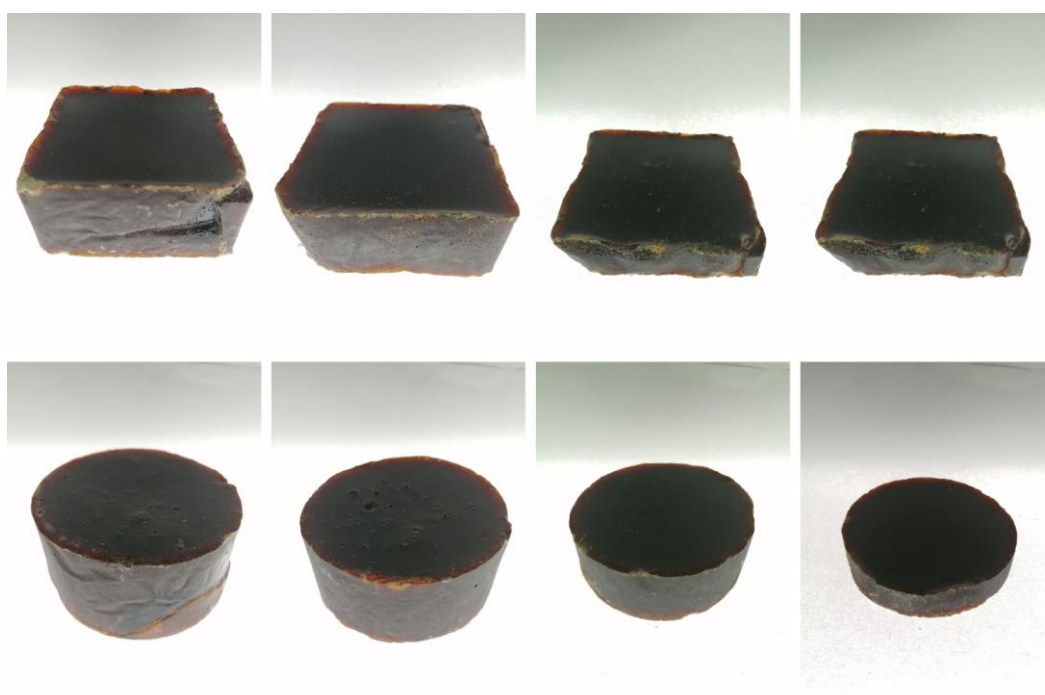


Fig. 132: Fotos das peças de mistura de serrim (após queda). Fonte: Imagem do autor (2025).

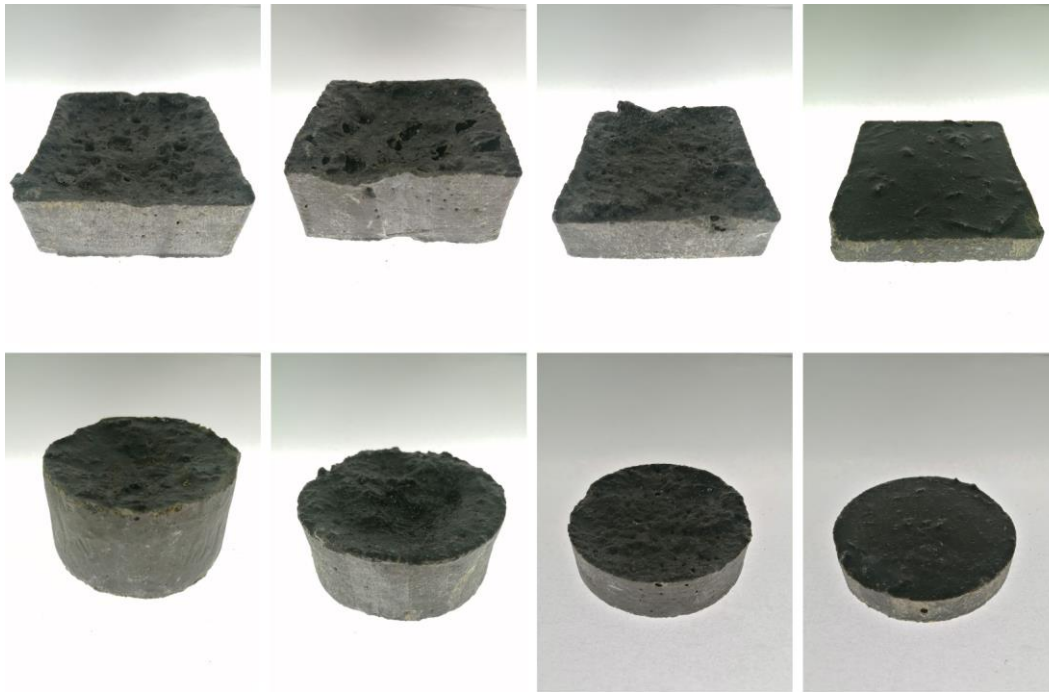


Fig. 133: Fotos das peças de mistura de cinzas (após queda). Fonte: Imagem do autor (2025).

Além disso, foi realizado um teste de corte, com o objetivo de analisar não só a resistência à incisão, como também a integridade das peças durante o processo. Foram selecionadas as três amostras (cinzas, serrim e a raspa filtrada pura) com 5cm de altura (por serem as mais robustas entre todas), sendo todas elas submetidas a corte parcial, numa máquina de serra vertical (Figs. 134 e 135).



Fig. 134: Máquina de serra vertical. Fonte: Imagem do autor (2025).



Fig. 135: Execução do teste de corte parcial. Fonte: Imagem da autoria de Catarina Silva (2025).

A amostra de cinzas foi cortada sem qualquer dificuldade, apresentando boa coesão e um corte limpo, bem como a amostra de serrim, que teve igualmente um bom desempenho, revelando estabilidade estrutural e resistência ao corte. No entanto, a amostra de raspa filtrada demonstrou novamente a sua fragilidade estrutural, partindo-se à medida que o corte foi executado, o que impediu a sua separação controlada (Figs. 136 e 137).



Fig. 136: Provetes com altura de 5cm a serem cortados. Fonte: Imagem do autor (2025).



Fig. 137: Resultado do corte nas amostras de 5cm de altura. Fonte: Imagem do autor (2025).

Dado o bom desempenho das duas primeiras formulações, foi realizada uma segunda fase do teste com as versões mais finas (2cm de altura) dessas mesmas amostras. Apesar da espessura reduzida, ambas as peças, de cinzas e de serrim, foram cortadas com facilidade e sem quebras estruturais, permitindo inclusive observar a textura e composição interna dos materiais após a secção (Fig. 138).



Fig. 138: Resultado do corte nas amostras de 2cm de misturas. Fonte: Imagem do autor (2025).

Os testes de corte (Fig. 139) permitiram verificar a reação das misturas sob esforço mecânico linear. As amostras de cinzas e serrim apresentaram um bom desempenho, sendo facilmente

cortadas com equipamento elétrico, tanto nas espessuras mais grossas como nas mais finas. No entanto, a amostra de colofónia filtrada demonstrou grande fragilidade, partindo-se facilmente durante o processo de corte. Estes resultados reforçam a ideia de que misturas com aditivos como cinzas ou serrim aumentam significativamente a resistência mecânica da raspa, tornando o material mais adequado para processos de fabrico que incluam cortes.



Fig. 139: Resultado dos testes de corte. Fonte: Imagem do autor (2025).

Com o objetivo de analisar o comportamento superficial das misturas seleccionadas perante o acabamento por abrasão, foi realizado um teste de lixamento utilizando uma rebarbadora (Fig. 140). O ensaio recorreu a três diferentes calibres de lixa (P80, P120 e P240) para analisar de que forma os materiais reagem à fricção mecânica, prevendo-se que com a elevação da temperatura gerada pelo atrito pudesse originar fusão parcial provocando aderência na lixa. Para cada calibre de lixa foi testado em provetes intocados, evitando assim interferências de ensaios anteriores.



Fig. 140: Rebarbadora + provetes. Fonte: Imagem do autor (2025).

Os testes foram realizados com vários calibres de lixas. Primeiramente, realizou-se com a lixa P80, nos vários testes de raspas fundidos com as outras matérias, previamente mencionados. Na amostra de cinzas (Fig. 141), o material começou a derreter rapidamente com a fricção, agarrando-se à lixa e deteriorando-a. A superfície ficou irregular, com resíduos castanhos sobrepostos e marcas da cor do material (Fig. 142).



Fig. 141: Lixa P80 e amostra de cinzas (antes do teste). Fonte: Imagem do autor (2025).



Fig. 142: Lixa P80 e amostra de cinzas (após o teste). Fonte: Imagem do autor (2025).

O comportamento na amostra de serrim (Fig. 143) foi semelhante ao da amostra de cinzas, mas com maior uniformidade. A superfície ficou próxima de plana, embora com arranhões brancos visíveis (Fig. 144).



Fig. 143: Amostra de serrim (antes do teste). Fonte: Imagem do autor (2025).



Fig. 144: Lixa P80 e amostra de serrim (após o teste). Fonte: Imagem do autor (2025).

A abrasão demorou mais tempo a ficar quente na amostra de colofónia (Fig. 145). Em vez de fundir, a superfície formou fios finos (Fig. 146) e apresentou também arranhões brancos. O acabamento ficou relativamente plano (Fig. 147).



Fig. 145: Amostra de colofónia (antes do teste). Fonte: Imagem do autor (2025).



Fig. 146: Fios gerados teste de P80. Fonte: Imagem do autor (2025).



Fig. 147: Lixa P80 e amostra de colofónia (após o teste). Fonte: Imagem do autor (2025).

Seguiu-se para a lixa P120, igualmente com os vários testes. A abrasão foi mais lenta na amostra de cinzas com a lixa P120 (Fig. 148), mas após aquecimento começou igualmente a fundir o material, afetando a lixa. A superfície não ficou totalmente plana, com sinais de deformação e arranhões leves (Fig. 149).



Fig. 148: Lixa P120 e amostra de cinzas (antes do teste). Fonte: Imagem do autor (2025).



Fig. 149: Lixa P120 e amostra de cinzas (após o teste). Fonte: Imagem do autor (2025).

Na amostra de serrim o lixamento provocou libertação de pequenos fios derretidos. A base ficou mais regular e com menor presença de arranhões do que com a lixa P80 (Fig. 150).



Fig. 150: Lixa P120 e amostra de serrim (após o teste). Fonte: Imagem do autor (2025).

Já na de colofónia, a abrasão tornou a superfície baça mais brilhante e, com o calor, surgiram também fios derretidos (Fig. 151). Ficaram marcas brancas leves, com superfície próxima do plano (Fig. 152).



Fig. 151: Fios gerados teste de P120. Fonte: Imagem do autor (2025).



Fig. 152: Lixa P120 e amostra de colofónia (após o teste). Fonte: Imagem do autor (2025).

Por último, experimentou-se a lixa P240, que permitiu o lixamento sem fusão significativa na amostra de cinzas (Fig. 153), proporcionando uma superfície mais brilhante e uniforme, com poucos arranhões (Fig. 154).



Fig. 153: Lixa P240 e amostra de cinzas (antes do teste). Fonte: Imagem do autor (2025).



Fig. 154: Lixa P240 e amostra de cinzas (após o teste). Fonte: Imagem do autor (2025).

Mais uma vez, com uma reação semelhante à anterior, a amostra de serrim permitiu o lixamento, embora com maior tendência a aquecer (Fig. 155). A superfície ficou mais lisa, com bom acabamento visual (Fig. 156).



Fig. 155: Lixa P240 e amostra de serrim (antes do teste). Fonte: Imagem do autor (2025).



Fig. 156: Lixa P240 e amostra de serrim (após o teste). Fonte: Imagem do autor (2025).

Na amostra de colofónia (Fig. 157) a abrasão foi mais controlada, sendo a que demorou mais tempo a aquecer. Produziu poucos fios derretidos e apresentou um bom acabamento visual, embora tenha perdido alguma transparência em certas zonas (Figs. 158 e 159).



Fig. 157: Lixa P240 e amostra de colofónia (antes do teste). Fonte: Imagem do autor (2025).



Fig. 158: Lixa P240 e amostra de colofónia (após o teste). Fonte: Imagem do autor (2025).



Fig. 159: Zonas menos transparentes. Fonte: Imagem do autor (2025).

Concluindo, os testes de lixamento (Fig. 160) evidenciaram um comportamento térmico relevante das misturas ao serem submetidas à fricção. Nas lixas mais abrasivas (P80 e P120), tanto as amostras de cinzas como as de serrim começaram a derreter, aderindo à lixa e dificultando o acabamento. A colofónia apresentou um melhor comportamento térmico, resistindo mais tempo ao calor, embora também tenha formado pequenos fios com o atrito. Com a lixa P240, todos os materiais responderam melhor: o lixamento foi possível sem fusão significativa, e as superfícies ficaram mais lisas. As zonas mais baças foram eliminadas em todos os casos, mas observou-se perda de transparência em certas zonas lixadas na amostra de colofónia. Estes ensaios mostraram que o lixamento é possível, sobretudo com granulações mais finas, e pode ser uma etapa viável no acabamento final das peças, embora com limitações quanto à deformação térmica.



Fig. 160: Resultados dos testes de lixamento (cinzas, serrim e colofónia). Fonte: Imagem do autor (2025).

Os resultados obtidos foram posteriormente apresentados ao grupo de orientação, composto pelos orientadores e colegas da mesma linha de investigação (Fig. 161). Esta partilha permitiu validar as observações feitas nesta fase e reforçou a confiança na viabilidade prática das misturas testadas.



Fig. 161: Reunião de discussão de resultados, a 11 de abril. Fonte: Imagem da autoria de Catarina Silva (2025).

2.4.4. Testes de peças em moldes de silicone

Com o objetivo de avaliar o comportamento dos materiais, foram produzidas peças com recurso a moldes de silicone comprados, com o objetivo de testar o material em diferentes contextos de aplicação e verificar a sua resposta em geometrias mais delicadas. O silicone foi o material escolhido por ser considerado o mais indicado para este tipo de processo (Sousa, 2015), além da experiência prévia adquirida em testes informais.

Foram produzidas jarras com diferentes formatos e alturas: três maiores, nos formatos A (30cm de altura), B e C (ambos com 20cm) (Fig. 162), e quatro mais pequenas, os formatos D, E, F e G, com cerca de 10cm de altura (Fig. 163).



Fig. 162: Formato A, B e C. Fonte: Imagem do autor (2025).



Fig. 163: Formato D, E, F e G. Fonte: Imagem do autor (2025).

Para este conjunto foi preparada uma mistura com cerca de 3kg de material, que permitiu preencher os três moldes maiores e dois dos pequenos (D e G). Durante o enchimento, observou-se que o material, por ser denso, não fluía com facilidade dentro dos moldes e empurrava o contramolde contra as paredes internas. Embora os moldes tenham sido totalmente preenchidos, a posição de secagem, aliada à formação de bolhas de ar, provocou zonas de recuo do material, especialmente nas partes superiores das peças, onde a gravidade puxava o líquido para baixo e criava cavidades visíveis após a secagem (Fig. 164). Na fase de remoção, apenas o molde de formato C ofereceu maior resistência, devido a saliências formadas no interior da peça durante a secagem (Fig. 165).



Fig. 164: Cavidades formadas após secagem. Fonte: Imagem do autor (2025).



Fig. 165: Saliências da peça C. Fonte: Imagem do autor (2025).

Todas as peças, tanto as de maior como as de menor dimensão, apresentaram inicialmente uma certa viscosidade superficial, além de um acabamento brilhante e uma cor acastanhada esverdeada (Fig. 166).



Fig. 166: Peças do 1º conjunto. Fonte: Imagem do autor (2025).

Com base nesses resultados, foram feitos dois ajustes ao processo. Por um lado, os contramoldes passaram a ser preenchidos com gesso (Fig. 167), tornando-os mais pesados e estáveis para evitar que se deslocassem ou deformassem com a pressão do material. Por outro lado, introduziu-se uma nova fórmula na mistura, reduzindo a percentagem de raspa filtrada para 50% e adicionando cerca de 17% de cera de abelha, com o objetivo de eliminar a viscosidade observada nas peças anteriores. (como verificado no capítulo 3.4.2).

A peça de formato A foi moldada em duas metades. A primeira metade foi vertida com arames a sair da face interior, permitindo uma futura ligação com a segunda metade. Após a secagem da primeira parte, esta foi removida do molde e, em seguida, foi colocada sobre o material ainda líquido da segunda metade. Como esperado, o líquido subiu ligeiramente devido à sobreposição da metade seca, e a sua temperatura quente provocou uma leve deformação na face da peça já solidificada. Ainda assim, as duas metades uniram-se e a peça manteve-se estável, embora com marcas visíveis de sobreposição.

A peça de formato C saiu corretamente moldada e reta, sendo apenas necessário submergir o molde em água para facilitar a remoção do contramolde. As peças de menor escala apresentaram resultados positivos, à exceção da de formato G, em que a mistura não foi devidamente homogeneizada, fazendo com que cinzas não dissolvidas descessem para o fundo do molde e afetassem o acabamento final. Já a peça de formato D voltou a apresentar falhas na parte superior, devido à sua geometria mais complexa.

Com a nova formulação, a viscosidade foi praticamente eliminada nas peças pequenas, embora nas peças maiores ainda se notasse, não compensando assim o gasto do material (Figs. 168 e 169).



Fig. 167: Preenchimento do contramolde com gesso. Fonte: Imagem da autoria de Tomás Afonso (2025).



Fig. 168: Peças pequenas. Fonte: Imagem do autor (2025).



Fig. 169: Peças grandes. Fonte: Imagem do autor (2025).

2.4.5. Testes de peças em moldes de gesso

Iniciou-se uma nova etapa focada na aplicação das misturas em formas de maior dimensão, com geometrias mais próximas de possíveis aplicações reais. Como referido previamente, no capítulo 3.3, a abordagem adotada foi o *Material Driven Design*. Ao estar em contacto com o material, através dos testes exploratórios realizados, procurou-se avançar com peças formalmente advindas das propriedades do mesmo. A primeira peça foi modelada digitalmente e impressa em 3D, enquanto a segunda foi reaproveitada a partir de um objeto existente. Para ambas, foram criados moldes de gesso, uma escolha sustentada pelos testes exploratórios realizados anteriormente, onde se verificou que este material permitia uma desmoldagem eficaz, ao contrário do PLA, que demonstrou deformações em temperaturas elevadas. Embora o silicone fosse o material mais indicado para este fim, (Sousa, 2015), a sua utilização foi excluída por implicar custos significativamente mais elevados na sua produção artesanal.

A opção por formas arredondadas deveu-se também aos bons resultados observados nos testes com moldes cilíndricos, em que a desmoldagem se revelou mais fácil e o risco de fraturas nos cantos significativamente reduzido. Esta fase durou cerca de 3 meses a ser realizada. Foram utilizadas duas formas distintas. Primeiramente, uma peça de perfil fino e estrutura aberta (Formato H, Fig. 170), concebida para avaliar a resistência do material sob maior tensão estrutural e em zonas de menor espessura, além de possuir decalques para testar a sua gravura na peça. E, além disso, uma peça mais compacta, mas com cavidade interna (Formato I, Fig. 171),

que permitiu testar o comportamento do material em formas mais estáveis e com volume significativo.



Fig. 170: Formato H. Fonte: Imagem do autor (2025).



Fig. 171: Formato I. Fonte: Imagem do autor (2025).

Inicialmente, foi necessário ajustar a espessura das peças-modelo, com base nos testes anteriores, especialmente nos realizados com colofónia, que demonstraram maior fragilidade. A peça semelhante a um vaso foi adaptada para atingir 3cm de espessura, enquanto a peça com forma de fruteira ficou com cerca de 2cm. Para tal, utilizou-se barro, tendo de se amassar, cortar em lastras e colocar no interior das peças, de modo a criar uma espessura uniforme e adequada à posterior moldagem (Fig. 172).



Fig. 172: Sequência de imagens captadas durante o processo com barro. Fonte: Imagem da autoria de Catarina Silva (2025).

Nesta segunda fase, procedeu-se à preparação dos moldes em gesso. Após posicionar a peça com a espessura já ajustada, foi construída uma caixa de contenção em redor da mesma, dentro da qual se verteu a primeira porção de gesso até próximo do topo. Esta opção visou facilitar posteriormente a criação do contramolde, evitando que o molde inicial cobrisse completamente a peça.

Após a secagem do gesso, foram realizados decalques na parte superior do molde, com o objetivo de criar zonas de encaixe para o contramolde, garantindo o seu correto posicionamento. Em seguida, com os encaixes já definidos, preparou-se uma nova solução de gesso, que foi vertida até ao topo da peça, formando o contramolde.

Uma vez endurecido, o conjunto do molde foi cuidadosamente raspado, de modo a garantir a sua uniformidade e assegurar que as bases assentassem corretamente numa superfície plana. Finalmente, foi perfurado um orifício com recurso a berbequim, tanto na base do molde como

no contramolde. Estes orifícios permitem a introdução de ar comprimido, facilitando a desmoldagem das peças através da libertação da pressão interna e da separação mais eficaz entre o molde e o material fundido (Fig. 173).



Fig. 173: Sequência de imagens captadas durante a fase de criação do molde. Fonte: Imagem da autoria de Catarina Silva (2025).

Antes da aplicação do material fundido, todos os moldes de gesso passaram pelo mesmo processo de preparação. Antes de cada teste, cada molde foi colocado debaixo de água durante pelo menos uma hora, com o objetivo de garantir que o gesso ficasse frio, o que ajuda a um arrefecimento mais eficaz da peça, bem como facilita a desmoldagem.

Após a imersão, realizou-se uma vedação dos orifícios de entrada de ar localizados nas zonas internas do molde (onde o material seria vertido). Para este processo, foram utilizadas folhas de papel kraft reaproveitadas, que se revelaram eficazes por impedirem o escoamento do material vertido, além de manterem a entrada do ar (pela parte exterior). Desta forma permitiu,

posteriormente, a utilização da pistola de ar comprimido para facilitar a remoção da peça, soprando pelo lado externo do molde sem comprometer a integridade da forma (Fig. 174).



Fig. 174: Molde com papel kraft. Fonte: Imagem do autor (2025).

Testes no formato H

Esta nova fase teve início com a experimentação com a Formato H (Fig. 170). Por ser a primeira tentativa com este molde, existia uma incerteza quanto à quantidade exata de material necessária para enchê-lo, decidindo-se testar com um volume superior de material, de forma a garantir que este fosse completamente preenchido. Após a secagem, a peça final apresentou cerca de 1,5kg, o que forneceu uma referência útil para calcular as quantidades necessárias para as experiências seguintes. Além do molde em si, outras melhorias no processo foram implementadas nesta fase. Passou-se a utilizar uma placa de indução, porque se revelou mais eficiente no processo de fusão da raspa. Outra alteração significativa foi a filtragem posterior ao aquecimento: ao invés de filtrar a raspa antes do aquecimento (como feito nos testes anteriores), decidiu-se aquecer toda a mistura num único recipiente até esta se tornar líquida e, só depois, passá-la pelo coador. Esta alteração tornou o processo mais ágil e funcional, especialmente em volumes maiores.

Teste 1 — Raspa filtrada

Estes teste seguiu o mesmo processo de preparação adotado no capítulo 6.4.2, teste 2, com exceção de duas melhorias operacionais já mencionadas: o uso de uma placa de indução, e a realização da filtragem apenas após a fusão da raspa.

Após estar totalmente líquida e filtrada, a resina foi vertida diretamente para o molde de gesso previamente preparado (Figs. 175 e 176), permanecendo a secar durante aproximadamente 24 horas. A peça foi então desenhada com o auxílio de uma pistola de ar comprimido, saindo com relativa facilidade e mantendo a forma pretendida. No entanto, observaram-se aberturas em torno da peça (Fig. 177), que não correspondem a uma fratura tradicional, mas sim a uma falha de homogeneidade do material durante o processo de arrefecimento. A peça ficou ligeiramente colante ao tato, embora menos do que as peças moldadas em PLA.

Após uma semana, verificou-se que a peça se abriu completamente, provavelmente devido à tensão contínua exercida, causada pela abertura da peça (Fig. 178), estando também fragilizada graças às fissuras, além da do próprio material. Este comportamento revelou os limites estruturais da colofónia filtrada quando aplicada em geometrias abertas e sujeitas a tensão contínua.



Fig. 175: Teste 1 a ser vertido. Fonte: Imagem da autoria de Catarina Silva (2025).



Fig. 176: Molde a transbordar. Fonte: Imagem do autor (2025).



Fig. 177: Conjunto de fotos do teste 1 (Formato H de raspa filtrada fissurada). Fonte: Imagem do autor (2025).



Fig. 178: Teste 1 (espalmado). Fonte: Imagem do autor (2025).

Teste 2 — Raspa Filtrada e serrim

Nesta mistura foi utilizada a fórmula do capítulo 6.4.2, teste 11, incluindo também as melhorias introduzidas no processo, nomeadamente o uso da placa de indução e a filtragem posterior à fusão completa.

A mistura foi vertida no molde de gesso e deixada a secar. Após apenas cerca de 3 horas, a peça foi desenformada com sucesso com o auxílio de ar comprimido, obtendo a forma pretendida. A peça apresentou uma coloração mais castanha e menos brilhante em relação ao expectável, para além disso ficou menos pegajosa ao tato.

Inicialmente, demonstrou-se resistente e coesa. Contudo, passados alguns dias, observou-se que a peça não mantinha a sua forma: encontrava-se visivelmente espalmada, resultado da tensão contínua da peça. Esta tendência manteve-se ao longo do tempo, mesmo após 2 meses. A peça foi colocada sobre diferentes superfícies, adaptando-se gradualmente à forma do apoio subjacente (Fig. 179). Na possibilidade de poder ter sido algum erro foi recriada a experiência, no entanto a peça resultante apresenta também uma certa plasticidade, ainda que não tanto quanto a primeira, demonstrando que esta característica é do material (Fig. 180).

Apesar de não ser o foco principal desta investigação, esta característica poderá eventualmente ser explorada como uma vantagem. A capacidade do material de se adaptar a diferentes superfícies pode permitir a simplificação de moldes, facilitar o armazenamento de peças (devido à sua compressibilidade) ou até permitir a criação de objetos versáteis, que assumam diferentes formas conforme a necessidade ou gosto do utilizador.



Fig. 179: Teste 2 (deformada). Fonte: Imagem da autoria de Catarina Silva (2025).



Fig. 180: Teste 2 (menos plástica). Fonte: Imagem do autor (2025).

Teste 3 — Raspa Filtrada e cinzas (33,5%/33%)

No terceiro teste, a peça foi produzida utilizando uma mistura de cinzas com raspa filtrada. Testou-se cerca de metade da proporção de raspa, inferior à que tinha sido utilizada anteriormente (33,5% em vez dos 67%, presentes no teste 7 do capítulo 6.4.2), reduzindo assim a quantidade do componente ligante.

Após 24 horas de secagem, a peça foi removida do molde sem dificuldades, estando com a forma pretendida e estável à primeira vista. No entanto, já nesta fase foi possível ouvir pequenos estalos no seu interior, devido a tensões internas não visíveis externamente. Duas semanas depois, surgiu uma pequena rachadura na superfície da peça, acompanhada de novos ruídos. Na terceira semana, a peça encontrava-se completamente fissurada, acabando por se partir (Figs. 181 e 182).

Conclui-se que a baixa proporção de raspa, essencial como agente de ligação, comprometeu a coesão do material, tornando-o mais frágil e sujeito a ruturas ao longo do tempo, principalmente em geometrias abertas e com tensão constante.



Fig. 181: Teste 3 (partida). Fonte: Imagem do autor (2025).



Fig. 182: Fotos de detalhe do teste 3 (partido). Fonte: Imagem do autor (2025).

Teste 4 — Raspa Filtrada e cinzas

Este teste seguiu a formulação previamente apresentada no teste 7 do capítulo 6.4.2., utilizando a proporção de 33% de cinzas com 67% de raspa filtrada. Foram aplicados os mesmos métodos atualizados dos testes anteriores (utilização de placa de indução e filtração posterior à fusão). A quantidade preparada excedeu ligeiramente o necessário, permitindo o fabrico de duas peças: uma com o volume completo do molde e outra de menor dimensão, utilizando o excedente.

Na peça com volume total (Fig. 183), após 24 horas de secagem, a remoção ocorreu sem dificuldades, revelando uma forma estável e bem definida. A estrutura apresentou-se resistente, rígida, rugosa com uma coloração acinzentada, com aparência semelhante à de pedra. A superfície não ficou colante. No entanto, registaram-se algumas deformações superficiais

provocadas por bolhas internas, um fenómeno já observado anteriormente nos testes com cinzas.



Fig. 183: Teste 4. Fonte: Imagem do autor (2025).

Com a mistura restante, foi feita uma segunda peça, de menor altura e com volume reduzido (Fig. 184). Esta foi desmoldada após apenas 3 horas. Apesar do menor tempo de secagem, a peça revelou-se igualmente sólida, estável e rugosa. No entanto, apresentou uma coloração ligeiramente mais acastanhada, mas também não ficou colante.



Fig. 184: Peça de volume reduzido do teste 4. Fonte: Imagem do autor (2025).

Teste 5 — Raspa filtrada com cinzas de grão maior

Neste teste foram utilizadas cinzas com grão mais grosso, diferentes das utilizadas nos testes anteriores, que tinham sido peneiradas para obter uma textura fina (capítulo 6.4.2). A raspa foi derretida com o método já adotado nesta fase do projeto, sendo depois misturada com as cinzas. Desde o início, observou-se que os grãos maiores tinham dificuldade em se incorporar de forma homogénea, acumulando-se no fundo do recipiente durante o envolvimento.

A mistura foi então vertida para o molde e deixada a secar durante aproximadamente 3 horas. Após este tempo, foi realizada a desmoldagem com recurso à pistola de ar comprimido, saindo com a forma pretendida (Fig. 185). Contudo, no transporte da peça, esta sofreu um impacto accidental partindo-se parcialmente (Fig. 186), revelando uma menor resistência comparativamente às peças produzidas com cinzas finas.

Apesar da quebra, a peça manteve-se com a mesma forma, para além de mostrar estabilidade estrutural. A sua coloração revelou tons mais acastanhados, e foi possível identificar visualmente a acumulação dos grãos maiores no centro da peça. A superfície apresentou-se rugosa apenas no centro, menos homogênea, e a sua viscosidade verificou-se superior à observada nos testes com cinzas peneiradas. A resistência global revelou-se mais fraca, sugerindo que a granulometria das cinzas tem um impacto direto na coesão do material final.

Em suma, este teste demonstrou que o uso de cinzas com grão maior, embora viável em termos de formato, compromete a integridade e a homogeneidade da peça, sendo uma solução menos eficaz em comparação com as misturas realizadas com cinzas peneiradas.



Fig. 185: Galeria de fotos do teste 5. Imagem da autoria de Catarina Silva (2025).

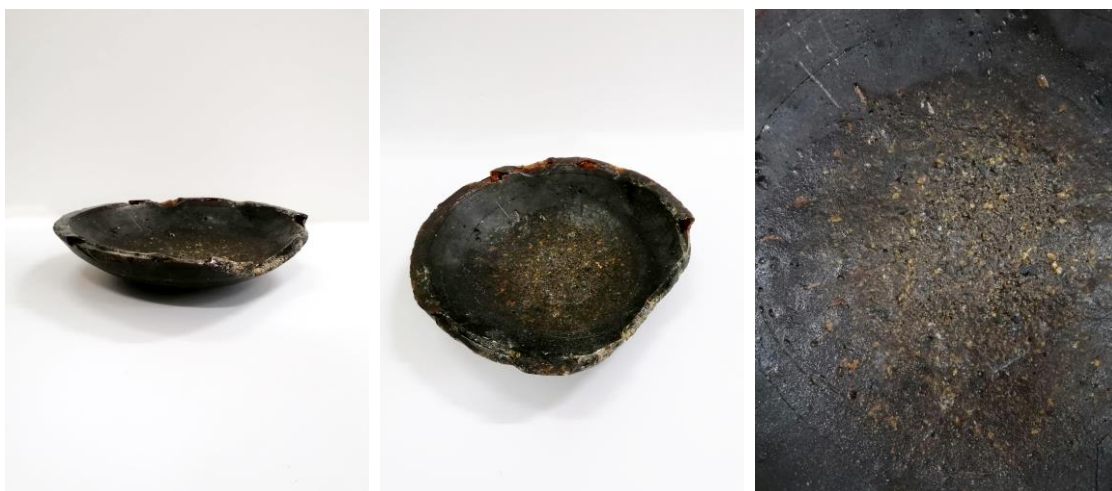


Fig. 186: Galeria de fotos do teste 5 (partido). Fonte: Imagem do autor (2025).

Durante o processo de desenvolvimento das peças, surgiu a hipótese do uso de algumas fibras para aumentar o reforço mecânico. Com isso, foi iniciada uma fase experimental paralela, na qual se testou a incorporação de fibras a algumas das misturas previamente analisadas.

Teste 6 — Raspa filtrada com serragem

A preparação do material seguiu o mesmo procedimento adotado nos testes anteriores, incluindo o uso de placa de indução e filtragem após a fusão da raspa. A mistura foi vertida para o molde e deixada a secar durante 24 horas.

No momento da desmoldagem, a peça apresentou-se com a forma pretendida, revelando uma boa estabilidade. A coloração ficou acastanhada, mas a peça demonstrou um comportamento interessante à luz, permitindo a sua passagem de forma semelhante à colofónia pura, conferindo-lhe um tom avermelhado quando contra a mesma (Fig. 187). A superfície verificou-se um pouco pegajosa ao toque. No entanto, passado uma semana, a peça abriu-se ligeiramente, demonstrando que o material tinha alguma plasticidade, ainda que inferior ao de serrim (Fig. 188).



Fig. 187: Teste 6 contra a luz. Fonte: Imagem da autoria de Catarina Silva (2025).



Fig. 188: Teste 6 deformado (2025).

Teste 7 – Raspa filtrada com algodão

Neste teste, foram adicionados 10g de algodão desfeito à mistura de raspa previamente filtrada. O processo de preparação seguiu os mesmos procedimentos já estabelecidos, recorrendo à placa de indução para fusão da raspa e posterior filtragem. O algodão, após ser desfeito, foi introduzido na mistura líquida, mantendo-se fácil de envolver, embora com a formação de alguns grumos.

Durante a colocação no molde, observou-se que a quantidade aparente de líquido parecia inferior ao habitual, uma vez que o algodão absorveu parte da resina (Fig. 189). No entanto, ao aplicar o contramolde, o algodão foi espalmado, o que forçou o líquido a redistribuir-se, permitindo preencher corretamente a cavidade.

A peça foi deixada a secar durante cerca de 3 horas. Após esse tempo, foi desmoldada com facilidade e manteve a forma pretendida. A superfície apresentou-se lisa e ligeiramente colante.

A adição do algodão contribuiu para um aumento da resistência inicial da peça, especialmente em comparação com a colofónia pura (Fig. 190). Contudo, ao fim de uma semana, verificou-se que a peça começou a deformar-se gradualmente. Quando colocada sobre uma peça mais estável, acabou por assumir o seu formato, revelando uma certa plasticidade no comportamento do material ao longo do tempo.



Fig. 189: Mistura do teste 7. Fonte: Imagem da autoria de Catarina Silva (2025).



Fig. 190: Teste 7. Fonte: Imagem da autoria de Catarina Silva (2025).

Teste 8 – Raspa filtrada com serragem e serrim

Neste teste foi realizada uma combinação de dois subprodutos do processamento da madeira: serragem e serrim. Foram utilizados 60g de cada, totalizando 120g de aditivo, correspondente a aproximadamente 8% da mistura. A raspa utilizada foi previamente filtrada, seguindo o mesmo processo descrito nos testes anteriores.

Após o aquecimento e fusão da raspa, os materiais foram adicionados à mistura líquida, envolvendo-se com relativa facilidade. A textura resultante ficou homogênea, embora com leve presença de partículas visíveis. A mistura foi então vertida para o molde e deixada a secar durante cerca de 3 horas. Ao ser desmoldada, a peça apresentou-se com a forma correta, superfície lisa e ligeiramente pegajosa ao toque. No entanto, ao longo das semanas acabou por se deformar (Fig. 191).



Fig. 191: Teste 8. Fonte: Imagem do autor (2025).

Teste 9 – Raspa filtrada com algodão e cinzas

Neste teste, foi realizada uma mistura entre (995g) raspa filtrada, (495g) cinzas e (10g) algodão. O processo iniciou-se com a fusão da raspa filtrada, seguindo os mesmos procedimentos previamente estabelecidos. Em seguida, as cinzas foram adicionadas, formando uma base homogênea semelhante aos testes anteriores. Por fim, foi incorporado o algodão desfeito, que absorveu parte do líquido, resultando inicialmente numa mistura menos fluida.

Durante o processo de moldagem, o contramolde ajudou a espalhar e comprimir o algodão, que ao ser esmagado, libertou parte do líquido previamente absorvido, facilitando a distribuição da mistura no interior do molde. A peça foi deixada a secar por 24 horas antes da sua remoção.

Ao ser desmoldada, a peça manteve a forma pretendida, com coloração cinzenta e a presença de várias manchas brancas, visualmente semelhantes a bolor, derivadas de uma reação entre o algodão e as cinzas. A superfície ficou áspera, tal como nas misturas com cinzas, e o material parecia mais rijo. Apesar de estar um pouco pegajoso, manteve-se estável ao longo do tempo, sem apresentar sinais de deformação ou quebra (Fig. 192).



Fig. 192: Teste 8. Fonte: Imagem do autor (2025).

Teste 10 – Raspa filtrada com cinzas e fibras de sisal

Para este teste, foi preparada uma mistura utilizando (995g) raspa filtrada e (491g) cinzas e (14 g) de fibras de sisal. Após a fusão e homogeneização da raspa, as fibras foram incorporadas manualmente. No entanto, o processo de mistura revelou-se difícil, uma vez que o material começou a agarrar-se às fibras, exigindo o uso de duas facas para separar e distribuir uniformemente o sisal.

A mistura foi então vertida no molde e deixada a secar durante 24 horas. No momento da remoção, a peça manteve a forma pretendida e apresentou um aspeto semelhante ao do teste com algodão (Teste 9): zonas com manchas brancas visíveis, baixa viscosidade aparente e uma resistência média, embora sem grande destaque. A superfície verificou-se áspera e o material não apresentou sinais de colagem nem deformações estruturais, mantendo-se estável com o tempo (Fig. 193).



Fig. 193: Teste 10. Fonte: Imagem do autor (2025).

Testes no formato I

Após os ensaios realizados com o formato H, os testes práticos continuaram agora com o formato I, apresentando um formato mais compacto e vertical, semelhante a um vaso. Esta nova fase teve como objetivo compreender o comportamento das misturas num contexto de inclinação mais vertical, uma maior concentração de material e paredes mais espessas.

Teste 11 – Raspa filtrada (Colofónia)

Neste primeiro ensaio com o molde do formato I, foi utilizado a raspa filtrada, seguindo o mesmo procedimento já estabelecido nos testes anteriores. A mistura foi vertida no molde e deixada a repousar durante 24 horas. A peça foi removida com relativa facilidade, mas, devido à elevada temperatura da colofónia durante o enchimento, o contramolde sofreu com uma quebra parcial (Fig. 194) (reparado após o teste), que impactou a forma da base da peça, a qual ficou inclinada em vez de reta (demonstrando a necessidade de esperar cerca de 15 min de arrefecimento). Apesar disso, o resto da peça manteve-se bem moldado.

Apresentou algumas fissuras e zonas que se quebraram ao toque, demonstrando, mais uma vez, a elevada fragilidade do material. O interior da peça ficou pegajoso, enquanto a parte exterior ficou mais seca e lisa. Apesar da fragilidade, a estrutura geral da peça manteve-se estável ao longo do tempo e sem novas quebras (Fig. 195).



Fig. 194: Contramolde partido. Fonte: Imagem do autor (2025).



Fig. 195: Teste 11. Fonte: Imagem da autoria de Catarina Silva (2025).

Teste 12 – Raspa filtrada com serrim

Foi utilizada a mistura de raspa filtrada com serrim, seguindo exatamente os mesmos procedimentos aplicados nos testes anteriores. Após a fusão e preparação do material, este foi vertido no molde e deixado a repousar durante 24 horas.

A peça foi facilmente removida, mantendo-se bem moldada e com a forma pretendida. Ambas as superfícies, interior e exterior, estavam sem viscosidade. A peça ficou semelhante ao observado no teste equivalente do capítulo 6.4.2, com tonalidade castanha avermelhada e lisa (diferente dos testes realizados no formato H). O interior apresentou algumas marcas de bolhas de ar, mas mesmo assim, a peça revelou-se bastante resistente.

Diferente das peças produzidas com esta mistura no molde do formato H, esta não demonstrou qualquer sinal de deformação ao longo do tempo (Fig. 196). Este comportamento é atribuído à geometria mais compacta e fechada do formato I, que reduz significativamente a tensão exercida sobre as paredes da peça após a solidificação.



Fig. 196: Teste 12. Fonte: Imagem do autor (2025).

Teste 13 – Raspa filtrada com cinzas

O teste com a mistura de raspa filtrada e cinzas foi realizado segundo os mesmos procedimentos utilizados nas peças anteriores. Após a preparação da mistura e o enchimento do molde tipo vaso, a peça foi deixada a repousar durante 24 horas antes da remoção.

A peça foi fácil de desmoldar (Fig. 197), mantendo a forma pretendida. O aspeto ficou semelhante ao do teste equivalente à do formato H, apresentando cor acinzentada, semelhante a pedra, no entanto a principal diferença é que neste teste as superfícies, interior e exterior, ficaram lisas, ao contrário do outro em que eram ásperas. Este teste ficou com algumas marcas internas causadas por bolhas de ar, que eram esperadas devido à mistura destes materiais (anteriormente já descrita), mas estas não comprometeram a resistência da peça. Ao longo do tempo, a peça manteve-se estável, sem sinais de rachaduras ou deformações (Fig. 198).



Fig. 197: Teste 13 dentro do molde. Fonte: Imagem do autor (2025).



Fig. 198: Teste 13. Fonte: Imagem da autoria de Catarina Silva (2025).

Teste 14 — Variação na Espessura

Além da peça principal com espessura padrão, foi realizado um ensaio adicional com um novo molde da mesma peça, mas com uma espessura reduzida, semelhante à utilizada no formato H. O objetivo era perceber como a mistura de cinzas se comportaria numa estrutura mais fina, sujeita, teoricamente, a maiores tensões.

O processo de preparação e moldagem foi igual ao teste anterior. Após 24 horas, a peça foi retirada com sucesso, com o formato pretendido (Fig. 199). Apesar da redução na espessura, a peça demonstrou boa resistência e estabilidade, confirmando o potencial da mistura de cinzas mesmo em aplicações com paredes mais finas no formato I. Ainda assim, revelou-se mais frágil em comparação com a versão de espessura superior (Fig. 200).



Fig. 199: Teste 14. Fonte: Imagem do autor (2025).



Fig. 200: Teste 13 e teste 14. Fonte: Imagem do autor (2025).

Fazer peças em moldes de gesso auxiliou a validar o comportamento dos materiais em situações próximas de um produto final. Observou-se que formas mais compactas e bem estruturadas, como o formato I, apresentaram melhor desempenho geral, resistindo mais facilmente a tensões internas e mantendo a estabilidade ao longo do tempo. Já estruturas mais abertas, formato H, mostraram maior suscetibilidade a deformações e ruptura. Outro fator relevante foi o tempo de secagem: desmoldagens realizadas após 24 horas revelaram-se mais eficazes do que as feitas após apenas 3 horas, promovendo uma solidificação mais completa e resultados mais consistentes. A plasticidade apresentada por determinadas misturas, como as que continham serrim ou de algodão, destacou-se como uma propriedade com potencial de exploração futura, permitindo que as peças se ajustem a diferentes formas ou usos. No entanto, essas formulações demonstraram menor rigidez estrutural. Por fim, a mistura com cinzas mostrou-se particularmente equilibrada, aliando estabilidade, resistência e boa moldabilidade, sem deformações significativas ao longo do tempo tornando-a uma das opções mais promissoras dentro das testadas.

Nesta fase, foram realizados testes voltados para o acabamento da superfície, com o objetivo de explorar o potencial estético e funcional das misturas. Estes testes procuraram avaliar como os materiais respondem à inserção de padrões ou alterações na superfície, seja durante ou após a moldagem, permitindo assim expandir as possibilidades de aplicação e personalização dos artefatos. Executou-se um teste de decalque, com o objetivo de criar padrões na superfície, através da aplicação de uma folha durante a moldagem, com a intenção de deixar a sua marca na peça final.

Foi preparada uma mistura de raspa filtrada com cinzas de granulometria fina (mais que a habitual). No entanto, estas cinzas, que estavam disponíveis na faculdade, tinham passado por um processo no qual foi extraído o potássio, comprometendo a consistência ideal da mistura. A folha foi colocada na base do molde, e sobre ela foi despejada a mistura ainda quente. Após a secagem, a peça foi removida com sucesso, mantendo a folha incorporada na sua face inferior. Esta poderia ser retirada, mas optou-se por deixá-la na peça para observação. Ainda assim, com o passar da semana, a peça apresentou sinais de deformação, comportamento semelhante ao dos testes de serrim, o que se atribui à formulação incorreta inicial como também ao uso de cinzas mais finas (Fig. 201).



Fig. 201: Peça do teste 1 de decalque. Fonte: Imagem do autor (2025).

O teste foi repetido, desta vez com as proporções corrigidas. Desta vez, a mistura foi vertida diretamente no molde e, só depois, a folha foi colocada sobre a superfície superior. No entanto, o molde não foi corretamente vedado, permitindo a entrada de ar. Como consequência, a peça acabou por quebrar em volta ao ser retirada. Apesar disso, o decalque foi bem-sucedido: a folha permaneceu posicionada corretamente e, após a sua remoção (Fig. 202), ficou visível a marca impressa na superfície da peça (Fig. 203). Esta segunda peça, após 2 semanas, sofreu deformações ligeiras.



Fig. 202: Folha a ser removida. Fonte: Imagem da autoria de Catarina Silva (2025).



Fig. 203. Peça do teste 2 de decalque. Fonte: Imagem do autor (2025).

O teste confirmou a viabilidade da técnica de impressão por decalque durante a moldagem, sendo possível incorporar ou simplesmente transferir a textura para a peça final. De seguida, fez-se um teste com projeção de jato de areia, de forma a analisar o comportamento superficial das peças quando submetidas a este jato, técnica habitualmente utilizada para limpar, desgastar ou criar texturas em superfícies (Fig. 204). Este teste foi realizado no INEGI (Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial), com o apoio técnico do Professor Jorge Lino. Foram utilizadas duas peças já produzidas: uma de cinzas (formato H) e uma de serrim (formato I).



Fig. 204: Câmara de jato de areia. Fonte: Imagem da autoria de Catarina Silva (2025).

A peça de cinzas foi a primeira a ser testada, tendo ocorrido um erro inicial: o jato de areia, preparado para metais, foi aplicado a curta distância, com elevada pressão, o que resultou na abertura de um buraco na zona central da peça. O teste foi repetido com maior distância de

aplicação. Com este ajuste, o impacto foi significativamente menor e limitou-se a uma ligeira alteração da coloração na área atingida, tornando-a um pouco mais clara (Fig. 205). Não se verificaram alterações táteis relevantes.



Fig. 205: Resultado do jato de areia, peça de cinzas. Fonte: Imagem do autor (2025).

A aplicação na peça de serrim já foi realizada com a distância de segurança definida. A peça, que inicialmente apresentava uma superfície lisa, passou a apresentar uma textura mais rugosa na área atingida, além de ter adquirido um tom mais claro. O jato de areia revelou-se eficaz neste caso como método de modificação da superfície, proporcionando um contraste visível entre as zonas tratadas e não tratadas (Fig. 206).



Fig. 206: Resultado do jato de areia, peça de serrim. Fonte: Imagem do autor (2025).

O jato de areia revelou-se uma técnica agressiva para peças, exigindo um maior controlo da distância e da pressão. No entanto, quando a uma distância controlada, a intervenção fica bem-sucedida, permitindo alterar a textura e o aspeto visual sem comprometer a integridade da estrutura.

Por último, gravaram-se a laser duas peças para verificar a reação do material, tanto em termos de precisão como de impacto físico sobre a superfície. Foi utilizado o equipamento LaserPecker (Fig. 207), com potência baixa, e o teste foi realizado com o apoio técnico do Professor Jorge Lino na FEUP. As peças utilizadas foram as mesmas do teste anterior. Em ambas foi testada a gravação de uma figura de folha, para avaliar o comportamento da superfície em diferentes áreas e geometrias.

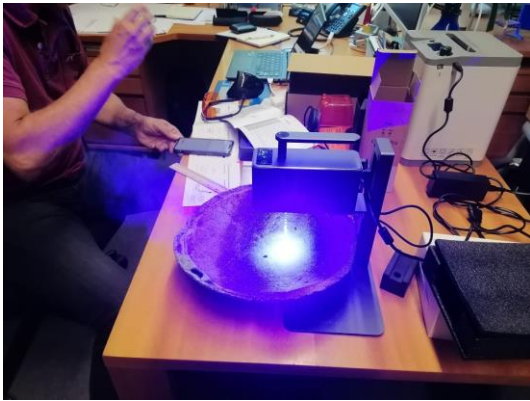


Fig. 207: LaserPecker em funcionamento. Fonte: Imagem do autor (2025).

Na peça de cinzas foram realizadas duas marcações: uma folha pequena na parte superior e outra maior na parte inferior da peça (Fig. 208). Ambas as figuras foram gravadas com sucesso e de forma rápida. A marcação menor ficou mais visível, devido à área plana onde foi executada, enquanto a maior, realizada numa superfície mais curva, apresentou menor nitidez, embora ainda reconhecível. O material respondeu bem ao laser, sem sinais de carbonização ou danos estruturais.



Fig. 208: Resultado da marcação do laser na peça de cinzas. Fonte: Imagem do autor (2025).

Na peça de serrim, em contrapartida, ao utilizar a mesma potência que na peça de cinzas, a superfície começou a derreter levemente, o que comprometeu a nitidez da gravação. Foi necessário ajustar a potência para valores mais baixos e alterar o tipo de traçado, até se obter uma marcação satisfatória. Após essa calibração, o desenho da folha foi gravado com sucesso, embora o material tenha demonstrado maior sensibilidade ao calor do laser (Fig. 209).



Fig. 209: Resultado da marcação do laser na peça de serrim. Fonte: Imagem do autor (2025).

Concluindo, a técnica de marcação a laser mostrou-se eficaz em ambas as peças, com destaque para a facilidade e nitidez na peça de cinzas. No entanto, a peça de serrim exigiu ajustes mais rigorosos para evitar deformações por calor. A gravação revelou-se uma ferramenta útil para personalização visual, embora dependa da composição e estabilidade térmica de cada mistura.

Os resultados obtidos foram novamente apresentados ao grupo de orientação (Fig. 210). Nessa reunião, ficou decidido que a mistura mais promissora é a composta por cinzas, por se revelar mais estável (apesar de outras misturas com alguma deformação apresentarem também um grande potencial). As peças com cinzas (Fig. 211) demonstraram ainda maior resistência, melhor resposta a técnicas de fabricação e acabamento, além de serem esteticamente atrativas. A nível conceptual, as cinzas estabelecem uma forte ligação com o problema inicial dos incêndios, reforçando a pertinência da sua utilização. Além disso, quanto aos materiais utilizados para os moldes, o gesso foi a melhor opção, em detrimento do PLA e do silicone, visto ser acessível, de fácil execução, e permitir uma desmoldagem eficaz para o propósito da investigação.



Fig. 210: Reunião de discussão, a 6 e 13 de junho. Fonte: Imagem da autoria de Catarina Silva (2025).



Fig. 211: Vasos de cinzas. Fonte: Imagem do autor (2025).

2.4.6. Desenvolvimento da peça final

Como concluído anteriormente, os moldes de gesso mostraram-se a solução mais adequada, pela acessibilidade e pela estabilidade que conferem às peças. Seguindo a lógica defendida por Sennett (2008), a progressão da escala permitiu consolidar o saber-fazer do processo, testando o material em formatos maiores e mais próximos de aplicações reais.

A peça final foi desenvolvida a partir de um vaso existente, através de um molde de gesso (Fig. 212), reunindo as aprendizagens dos ensaios anteriores (Fig. 213). A escolha desta tipologia prende-se tanto pela simplicidade geométrica, que facilita a leitura do material, como pelo valor simbólico associado à contenção e preservação.

Produzida com a mistura de cinzas, a peça assume também uma dimensão crítica e regenerativa: transforma um resíduo ligado à destruição dos incêndios florestais em matéria-prima para criar algo novo, revelando o potencial do design para dar novos significados e usos a materiais negligenciados (Figs. 214 a 217).

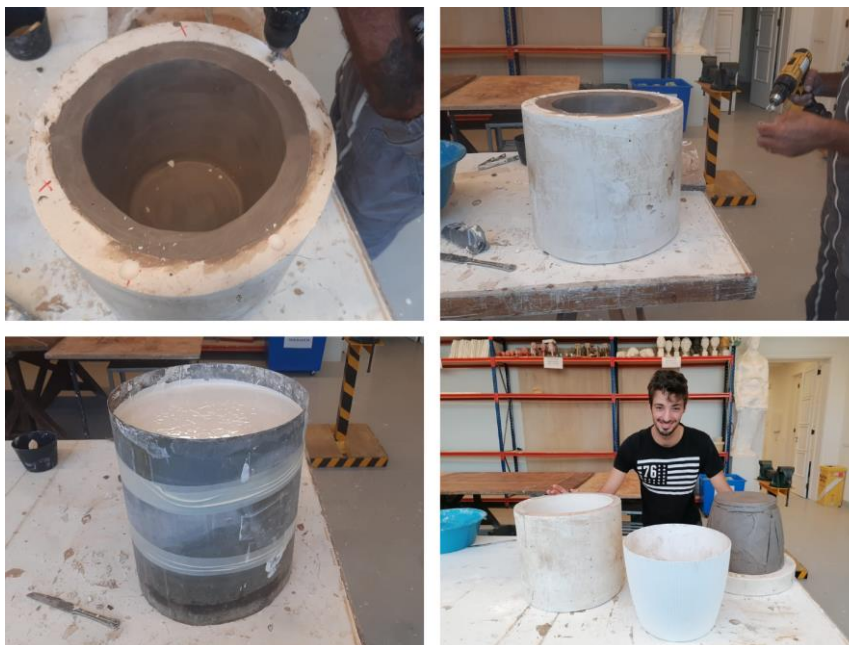


Fig. 212: Desenvolvimento do molde para a peça final. Fonte: Imagem da autoria de Catarina Silva (2025).



Fig. 213: Desmoldagem e acabamento sobre a peça final. Fonte: Imagem da autoria de Catarina Silva (2025).



Fig. 214: Peça final (31,5 x 25 cm). Fonte: Imagem do autor (2025).



Fig. 215: Detalhes da peça final. Fonte: Imagem do autor (2025).



Fig. 216: Peças de cinzas. Fonte: Imagem do autor (2025).



Fig. 217: Autor com a peça final. Fonte: Imagem da autoria de Catarina Silva (2025).



4. Análise dos resultados

3. Análise dos resultados

Os artefactos desenvolvidos representam a consolidação material e conceptual da investigação, resultado de um processo baseado na experimentação contínua, na adaptação técnica e na reflexão crítica em torno da raspa de pinheiro enquanto matéria-prima de design. A progressão das experiências, desde provetes de pequena escala até peças maiores e mais complexas, permitiu validar as potencialidades e limitações do material, revelando comportamentos distintos em função das fusões com outros materiais, geometrias e métodos de moldagem. Esta passagem da pequena para a maior escala traduz também o que Richard Sennett (2008) defende sobre o desenvolvimento do saber-fazer, que se constrói gradualmente através da prática repetida e do confronto com novos desafios.

O percurso experimental foi estruturado de forma iterativa, começando com testes simples em moldes de pequena dimensão e evoluindo para formatos mais próximos de aplicações reais, como jarras, taças e vasos. Esta progressão segue a lógica do *Material Driven Design* (Karana et al., 2015), que valoriza o envolvimento direto com o material, permitindo que a sua resposta sensorial e técnica oriente as escolhas projetuais. Através dessa interação prática, foi possível compreender de forma mais profunda as propriedades da raspa e das suas misturas, enquanto a evolução para peças de maior escala revelou incompatibilidades e fragilidades que só se tornaram visíveis em superfícies mais amplas. Este processo confirma a importância da experimentação contínua como meio de construção de conhecimento, central no domínio do *know-how* (Frayling, 1993).

Do ponto de vista técnico, a escolha dos moldes revelou-se determinante. O silicone, apesar de ser mais indicado para os moldes, torna-se dispendioso. Por isso, o gesso destacou-se pela acessibilidade e capacidade de ser produzido pelo próprio investigador. As variações geométricas dos moldes de gesso permitiram observar como a estabilidade depende da espessura e da distribuição das forças na peça. Neste sentido, as formas arredondadas revelaram-se mais favoráveis para a desmoldagem, enquanto as peças mais verticais demonstraram maior resistência, por estarem menos sujeitas a tensões constantes. Além disso, os tempos longos de secagem mostraram-se essenciais, confirmando melhores resultados quando prolongados para 24h em comparação com tentativas de apenas 3h.

A nível material, destacou-se a formulação com cinzas, que apresentou resultados mais consistentes em termos de resistência e estabilidade. No entanto, a plasticidade observada em algumas misturas, apesar de inicialmente interpretada como limitação, revelou-se também uma

propriedade interessante, que abre espaço para explorações futuras pela sua capacidade de adaptação.

Formalmente, as peças apresentam uma coerência estética que oscila entre a organicidade natural do material e a manipulação controlada dos processos de moldagem. As tonalidades acastanhadas e esverdeadas, bem como os padrões criados pelas bolhas ou fibras, reforçam a singularidade de cada peça. A prática experimental adotada está alinhada com a perspectiva de Archer (1995), que entende o design como atividade sistemática e produtora de conhecimento partilhável, e ecoa as ideias de Papanek (1971), ao encarar o design como uma atividade responsável e comprometida com os recursos disponíveis. Mais do que a obtenção de peças finais, este percurso evidenciou como o design pode ser um agente de valorização crítica de um subproduto negligenciado. A experimentação, enquanto prática de investigação, permitiu construir conhecimento sobre o material, sobre as técnicas e sobre os limites e oportunidades do processo. Neste sentido, os resultados alcançados não encerram a exploração, mas abrem caminho para novas hipóteses e aprofundamentos futuros.

The image features five pieces of stone against a white background. In the top left is a triangular piece of reddish-brown agate with a dark, wavy band. In the top right is a dark, textured stone with a lighter grey base. In the middle right is a rectangular piece of dark stone with a lighter grey base and some small holes. In the bottom left is a dark, elongated piece of stone. In the bottom right is a large, irregular piece of agate with a dark, wavy band and a lighter, translucent top. The text "5. Conclusões" is centered in the middle of the image.

5. Conclusões

4. Conclusões

4.1. Resposta à questão

A investigação desenvolvida procurou compreender de que forma o design pode contribuir para a valorização da raspa de pinheiro, um subproduto abundante, negligenciado e sem mercado, resultante da atividade resinífera. O percurso não se limitou a procurar uma solução formal, mas a explorar criticamente as potencialidades do material, articulando o fazer manual, a experimentação empírica e a reflexão projetual. Além disso, a presente investigação deu origem, durante o seu desenvolvimento, a um artigo submetido para a Ergotrip.

A questão inicial surgiu da hipótese de desenvolver um destilador não industrial, mas a pesquisa no terreno e a aproximação às fábricas de destilação revelaram a problemática da raspa de pinheiro, abrindo caminho para uma exploração igualmente relevante e exequível dentro do tempo proposto para a investigação. Assim, demonstrou-se que o design pode atuar não apenas como solucionador técnico, mas como mediador técnico e crítico entre os recursos locais, os processos produtivos e os desafios ambientais.

Os artefactos resultantes refletem esta abordagem, materializando um percurso de experimentação progressiva, desde provetes até peças de maior escala, em que a prática foi essencial para a construção de conhecimento. Tal como defendem Frayling (1993) e Archer (1995), o design é simultaneamente prática investigativa e atividade produtora de conhecimento partilhável. De igual modo, Papanek (1971) sustenta que o design deve ser responsável e atento ao contexto social e ecológico, enquanto Sennett (2008) relembra que o saber-fazer se constrói na repetição, no erro e no gradual domínio das técnicas.

As peças em cinzas destacaram-se como mais promissoras pela sua estabilidade e resistência, enquanto as geometrias arredondadas e verticais se mostraram mais eficazes na desmoldagem e na resistência a tensões. Mais do que objetos funcionais, os resultados revelam o potencial do design como ferramenta de valorização crítica, transformando um resíduo em matéria-prima e sensibilizando para a importância de práticas sustentáveis e circulares.

4.2. Limitações ao estudo

Apesar dos avanços alcançados, a investigação apresenta algumas limitações. Em primeiro lugar, os ensaios foram realizados em contexto laboratorial e em pequena escala, o que não permite ainda garantir a sua replicabilidade através de processos industriais ou semi-industriais. Em segundo lugar, a composição da raspa pode variar de acordo com a origem e o processo de resinagem, o que influencia o seu comportamento durante a moldagem. Embora se tenham testado variações com fibras e aditivos como a cera de abelha, o leque de formulações exploradas ainda é restrito, deixando em aberto a necessidade de uma caracterização química e mecânica mais profunda do material.

Outra limitação prende-se com as condições de trabalho. À data do processo de investigação, os espaços da faculdade não dispunham de todos os recursos necessários para garantir uma manipulação totalmente segura do material, o que condicionou parte do processo. Acresce que, quando derretida, a raspa liberta gases potencialmente tóxicos, exigindo sistemas de ventilação adequados e cuidados acrescidos de segurança. Estas limitações reforçam a importância de futuras investigações decorrerem em ambientes laboratoriais equipados e preparados para lidar com este tipo de material.

4.3. Desenvolvimentos futuros

4.3.1. Desenvolvimento futuros próprios

O presente trabalho não representa um fim, mas o início de uma exploração mais alargada. Entre os próximos passos, destaca-se o aprofundamento da experimentação com a raspa, testando diferentes proporções, misturas e processos de secagem, bem como a introdução de acabamentos adicionais. Igualmente relevante, será expandir a escala das peças, explorando moldes maiores e tipologias mais complexas, mantendo a lógica de produção acessível e de baixo custo.

4.3.2. Propostas em aberto

Para além da continuidade prática, o material pode ser explorado em diferentes contextos de aplicação. Do ponto de vista utilitário, abre possibilidades para pequenos artefactos domésticos

ou elementos decorativos, preservando a identidade natural do material. No campo experimental, poderá integrar-se em revestimentos, superfícies arquitetônicas ou até instalações artísticas que comuniquem a urgência da valorização dos subprodutos florestais.

A nível científico, futuros estudos poderiam focar-se na caracterização química da raspa e na análise comparativa com outros resíduos, permitindo perceber a sua resistência a longo prazo, a estabilidade em ambientes húmidos e a eventual biodegradabilidade controlada. Poderá ainda ser pertinente integrar metodologias participativas, envolvendo comunidades locais e pequenos produtores, criando um sistema colaborativo de valorização do subproduto.

Em síntese, a investigação demonstrou que o design tem a capacidade de atuar como agente de mediação entre resíduos e práticas sustentáveis, transformando a raspa de pinheiro numa oportunidade crítica, experimental e projetual. Mais do que objetos concretos, a investigação propõe um caminho aberto de exploração, em que a prática do design se afirma como um contributo real para a regeneração material e ecológica.

Bibliografia e sitiografia

Agro Portal. (2021). *Portugal foi o segundo país da UE mais afetado por fogos florestais em 2020 – Bruxelas*. Consultado a 16 de junho de 2025 em <https://www.agroportal.pt/portugal-foi-o-segundo-pais-da-ue-mais-afetado-por-fogos-florestais-em-2020-bruxelas/>

Analiticaweb.com.pt. (s.d.). *Evaporador de camada fina*. Consultado a 16 de junho de 2025 em <https://www.analiticaweb.com.br/p.php?Bid=p642c21592e3db&produto=evaporador-de-camada-fina->

Arquivo da memória. (s.d.). *Resina*. Consultado a 16 de junho de 2025 em <https://www.memoria.cm-sardoal.pt/resina/>

Centro Pinus. (2021). *Relatório Nacional 2021: Fileira do Pinho*. Consultado a 16 de junho de 2025 em <https://www.centropinus.org/pages/rn21>

Centro Pinus. (2024). *Atualização anual dos indicadores da fileira do pinho*. Consultado a 16 de junho de 2025 em <https://www.centropinus.org/news/atualizacao-anual-dos-indicadores-da-fileira-do-pinho>

Confederação empresarial de Portugal (2024): *Incêndios: uma questão económica*. Consultado a 16 de junho de 2025 em https://cip.org.pt/incendios-uma-questao-economica/?utm_source=chatgpt.com&doing_wp_cron=1749753206.0615570545196533203125

Dercol. (2013). *Qualidade da colofónia*.

Duarte, C. (2016). *Evolução do setor da resinagem em Portugal FLORESTAIS*.

Esquerda.net. (2017). *Floresta: De onde vimos, para onde vamos, o que fazer?*. Consultado a 16 de junho de 2025 em <https://www.esquerda.net/artigo/floresta-de-onde-vimos-para-onde-vamos-o-que-fazer/49469>

Essência Química. (2014a). *Aguarras*.

Essência Química. (2014b). *Ficha técnica da colofónia*.

Fiates, J. (2010). *Separação dos principais componentes da terebintina em uma coluna de destilação piloto*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26162.68807>

Florestas.pt. (2020). *Pinheiro-bravo: a conífera mais abundante em Portugal*. Consultado a 16 de junho de 2025 em <https://florestas.pt/conhecer/pinheiro-bravo-a-conifera-mais-abundante-em-portugal/>

Forbes, R. J. (1970). *A Short History of the Art of Distillation: From the Beginnings Up to the Death of Cellier Blumenthal*. White Mule Press.

Gestão agrupada (2022). *Valorizar a floresta para inverter o abandono*. Consultado a 16 de junho de 2025 em <https://florestas.pt/valorizar/gestao-agrupada-valorizar-a-floresta-para-inverter-o-abandono/>

Governo de Portugal (2023). *Menos incêndios, menos área ardida e zero*. Consultado a 16 de junho de 2025 em <https://www.portugal.gov.pt/pt/gc23/comunicacao/noticia?i=menos-incendios-menos-area-ardida-e-zero-vitimas>

Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF). (2024). *Plano de prevenção e combate a incêndios florestais*. Consultado a 16 de junho de 2025 em <https://www.icnf.pt/api/file/doc/b4470d783c2916d0>

Karana, E., Pedgley, O., & Rognoli, V. (2015). *Material Driven Design (MDD): A Method to Design for Material Experiences*. *International Journal of Design*, 9(2), 35–54. <https://www.ijdesign.org/index.php/IJDesign/article/view/2086>

Labor Quimi. (s.d.). *Alambique de Femel*. Consultado a 16 de junho de 2025 em <https://www.laborquimi.com.br/alambique-femel>

Lopes, C. (2008). *Caraterização de resinas naturais e seus derivados por análise multivariada*.

Lorena, S. (s.d.). *Resinas*. Consultado a 16 de junho de 2025 em <https://www.infoescola.com/compostos-quimicos/resinas/>

mmc. (s.d.). *Evaporador de película agitada SCRAPEVAP® SÉRIE SV THIN FILM EVAPORATOR*. Consultado a 16 de junho de 2025 em <https://mmcequipamentos.com.br/evap%20sup%20raspada.htm>

Martin, B., & Hanington, B. (2012). *Universal Methods of Design: 100 Ways to Research Complex Problems, Develop Innovative Ideas, and Design Effective Solutions*. Rockport Publishers.

Mo's Maxims. (2019). *Distilling crude turpentine from sap*. Consultado a 16 de junho de 2025

em <https://www.youtube.com/watch?v=-DuGfrila3c>

Nogueira, A. (2005). *AGUARDENTE DE CANA*.

Norman, D. A. (2004). *Emotional Design: Why We Love (or Hate) Everyday Things*. Basic Books.

Papanek, V. (1971). *Design for the Real World: Human Ecology and Social Change*. Pantheon Books.

PEFC Portugal. (s.d.). *Porque é importante cuidar da floresta*. Consultado a 16 de junho de 2025 em <https://www.pefc.pt/o-que-fazemos/porque-e-importante-cuidar-da-floresta/a-floresta-portuguesa>

Pinus Blogspot. (2017). *Resinagem: Novidades e renovações*. Consultado a 16 de junho de 2025 em <https://resinadepinus.blogspot.com/2017/08/resinagem-novidades-e-renovacoes.html>

Resipinus. (s.d.-a). *Resinagem em Portugal e no mundo*. Consultado a 16 de junho de 2025 em <https://www.resipinus.pt/resinagem/resinagem-em-portugal-e-no-mundo/>

Resipinus. (s.d.-b). *Valores históricos da resina bruta em Portugal*. Consultado a 16 de junho de 2025 em <https://www.resipinus.pt>

Resipinus. (2018). *Resina e Resinagem em Portugal*. Consultado a 16 de junho de 2025 em <https://www.resipinus.pt/wp-content/uploads/2018/02/Resinagem-em-Portugal-Cadaval.pdf>

Rtp.pt (2025). Área ardida corresponde a 3% do território nacional. Governo afasta ter falhado na prevenção. Consultado a 26 de agosto de 2025 em https://www.rtp.pt/noticias/pais/area-ardida-corresponde-a-3-do-territorio-nacional-governo-afasta-ter-falhado-na-prevencao_n1679212

Sennett, R. (2008). *The craftsman* (1st ed.). Yale University Press. New Haven & London.

SAPO Sol. (2022). *Negligência é a causa mais vezes determinada*. Consultado a 16 de junho de 2025 em <https://sol.sapo.pt/2022/06/18/negligencia-e-a-causa-mais-vezes-determinada/>

Smart Agro. (2020). *Materiais disponíveis para resinagem*. Consultado a 16 de junho de 2025 em <https://cointer.institutoidv.org/smart/2020/pdvagro/uploads/2790.pdf>

Soares, A., & Pestana, M. (2023). Destilação de Misturas Multicomponentes: O Procesamento de Gema de Pinheiro em Pez e Agarrás. *Silva Lusitana*, 31(1), 81–96.
<https://doi.org/10.1051/silu/20233101081>

Sousa, C. (2015). *Resina e Design. Contributo para o aumento da extração da resina do pinheiro*.

wikiHow. (s.d.). *Como Construir um Destilador*. Consultado a 16 de junho de 2025 em <https://pt.wikihow.com/Construir-um-Destilador#Refer.C3.AAncias>

Bibliografia de imagens e tabelas

Fig. 2: Gráfico com área ardida total em Portugal ao longo dos anos. Fonte: Governo de Portugal (2023). Consultado a 06 de julho de 2025 em <https://www.portugal.gov.pt/pt/gc23/comunicacao/noticia?i=menos-incendios-menos-area-ardida-e-zero-vitimas>

Fig. 3: Gráfico das percentagens dos diferentes tipos de incêndios em Portugal desde 2001-2021. Fonte: sol.sapo.pt. Consultado a 05 de julho de 2025 em <https://www.pefc.pt/o-que-fazemos/porque-e-importante-cuidar-da-floresta/a-floresta-portuguesa>

Fig. 4: Gráfico do preço médio da resina bruta ao longo dos anos. Fonte: Resipinus (217). Consultado a 06 de julho de 2025 em <https://www.resipinus.pt/resinagem/resinagem-em-portugal-e-no-mundo/>

Fig. 7: ctborracha. Medidor de qualidade da colofónia através da cor. Consultado a 06 de julho de 2025 em <https://www.ctborracha.com/borracha-sintese-historica/materias-primas/agentes-de-viscosidade/tipos-agentes-de-viscosidade/resina-de-colofonia/>

Fig. 9: Esquema do processo desde a extração da resina na transformação noutros produtos derivados. Fonte: Resipinus (2017). Consultado a 06 de julho de 2025 em <https://www.resipinus.pt/resinagem/colofonia/>

Fig. 10: Púcaro cerâmico a coletar resina. Fonte: Alpengummi. (s.d.). Consultado a 06 de julho de 2025 em <https://www.alpengummi.at/en/blog/the-handcraft-of-resin-extraction-the-pecherei/>

Fig. 11: Saco plástico preso à árvore cheio de resina. Fonte: Casa das ciências (s.d.). Consultado a 06 de julho de 2025 em <https://www.casadasciencias.org/imagem/5896>

Fig. 12: Balde metálico a coletar resina. Fonte: Alamy (s.d.). Consultado a 06 de julho de 2025 em <https://www.alamy.com/diagonal-cuts-in-the-pine-tree-trunk-with-a-bucket-below-to-collect-resin-image612920106.html>

Fig. 13: Frascos de vidro ou plástico a coletarem resina por método fechado. Consultado a 06 de julho de 2025 em <https://stock.adobe.com/images/extraction-of-natural-resin-from-pine-tree-trunks/121374113>

Fig. 14: Galeria de diversos púcaros (metálicos, plásticos e cerâmicos). Consultado a 06 de julho de 2025 em <https://www.dreamstime.com/photos-images/pine-resin-extraction.html>

Fig. 18: Esquema da fase de terebintinagem. Fonte: Silva-Lusitana (2023).

Fig. 23: Esquema de destilador aquecido a fogo direto com adição de água. Fonte: Soares & Pestana (2023).

Fig. 24: Esquema de destilador aquecido a vapor indireto com injeção de vapor vivo. Fonte: Soares & Pestana (2023).

Fig. 25: Esquema de aparelho de destilação contínua a vapor tipo Olustee. Fonte: Soares & Pestana (2023).

Fig. 26: Esquema de aparelho de destilação contínua no vácuo sem injeção de vapor. Fonte: Soares & Pestana (2023).

Fig. 27: Destilador da olympic distillers. Fonte: Olympicdistiller (s.d.). Consultado a 06 de julho de 2025 em <https://www.olympicdistillers.com/>

Fig. 28: Processo de destilação de resina caseiro. Fonte: Mo's Maxims (2019). Consultado a 06 de julho de 2025 em <https://www.youtube.com/watch?v=-DuGfrila3c>

Fig. 29: Destilador óleo essencial/lavanda. Fonte: Alibaba (s.d.). Consultado a 06 de julho de 2025 em <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/destilacao-simples.htm>

Fig. 30: Destiladores de cobre. Fonte: Copper Alembic (s.d.). Consultado a 06 de julho de 2025 em <https://www.copper-alembic.com/en/>

Fig. 31: Esquema de um destilador de laboratório. Fonte: portugueseAlibaba. Consultado a 06 de julho de 2025 em <https://portuguese.alibaba.com/product-detail/150L-home-essential-oil-distiller-lavender-60789302138.html>

Fig. 32: Conjunto de destiladores de aço inoxidável. Fonte: Northstills (2024). Consultado a 06 de julho de 2025 em <https://www.northstills.com/>

Fig. 33: Alambique de cobre. Fonte: Cardosofilho (s.d.). Consultado a 06 de julho de 2025 em <https://www.cardosofilho.com/alambique-cobre-5-litros>

Fig. 34: Alambique de aço inoxidável. Fonte: Aguinox (s.d.). Consultado a 06 de julho de 2025 em <https://www.aguinox.online/inicio/270-1258-alambique-inox-simples-50-a-300l.html>

Fig. 35: Alambique de femel. Fonte: Laborquimi (s.d.). Consultado a 06 de julho de 2025 em <https://www.laborquimi.com.br/alambique-femel>

Fig. 38: Esquema de aparelho de destilação contínua a vapor tipo Olustee. Fonte: Soares & Pestana (2023).

Fig. 39: Esquema de um evaporador de Camada Fina. Fonte: MMC Equipamentos industriais (s.d.). Consultado a 06 de julho de 2025 em <https://mmcequipamentos.com.br/evap%20sup%20raspada.htm>

Tabela 4: Informações relativas ao evaporador de camada fina AGI (2025). Fonte: Analítica. Consultado a 06 de julho de 2025 em <https://www.analiticaweb.com.br/p.php?Bid=p642c21592e3db&produto=evaporador-de-camada-fina->

Fig. 40: Esquema de aparelho de destilação contínua a vácuo sem injeção de vapor. Fonte: Soares & Pestana (2023).

Fig. 41: Alambique modular. Fonte: Copperworks (s.d.). Consultado a 06 de julho de 2025 em <https://copperworks.pt/en/product/alambique-modular-coluna-de-valvulas-40l/?v=fc9fdf084e29>

Fig. 42: Alambique de Coluna Rotativa 80 Litros. Fonte: Allcopper (s.d.). Consultado a 06 de julho de 2025 em <https://allcopper.pt/pt/inicio/318-alambique-com-coluna-rotativa-80-litros.html>

Fig. 43: Kit Bomba Solar 300W para Alambique Seaflo 41mca. Fonte: Leroy Merlin (2025). Consultado a 06 de julho de 2025 em https://www.leroymerlin.com.br/kit-bomba-solar-300w-para-alambique-seaflo-41mca_1572205741

Fig. 44: Kit de Iniciação à Destilação. Fonte: Copper Alembic. Consultado a 06 de julho de 2025 em <https://www.copper-alembic.com/pt/kits-de-iniciacao-a-destilacao/>

Fig. 45: Kit de Destilaria Moonshine Still 5,5 Litros. Fonte: Worten (s.d.). Consultado a 06 de julho de 2025 em <https://www.worten.pt/produtos/kit-de-destilaria-moonshine-still-5-5-litros-kit-de-destilacao-de-uisque-com-bomba-de-agua-vevor-mrkean-0840281554492>

Anexos

1. Resumo IJUP 2025

Resumo aceite para apresentação de Poster no IJUP 2025.

Contribution of design to the valorization of the waste of pine resin

Simão Afonso¹; Rui Mendonça²; Cláudia Lima³

Faculty of Fine Arts, University of Porto, Porto, Portugal¹; University of Trás-os-Montes and Alto Douro, Vila Real, Portugal²; ID+, Research Institute for Design, Media and Culture, Lusófona University of Porto, Porto, Portugal³

Background & Aim: This study focuses on the recovery of resin scraping, a by-product resulting from the resin extraction process, often considered waste. The scrape is formed when, after collecting the resin, some fragments remain attached to the tree and dry out. This waste, composed of resin oxidized with impurities and mixed with pine scrap, is later removed by the resiners. However, they currently have little or no commercial application. **Methods:** An exploratory study was carried out on the life path of the resin, focusing on its most valuable by-products: colophony and turpentine. The investigation included direct observation, interviews with small producers and a visit to the Nares distillation factory, in Pombal, Portugal. During this visit, it was found that there was a substantial volume of scraping without a defined destination or significant use. **Results:** From the perspective of the use of the scraping and its recovery, exploratory tests are being carried out within the scope of this study, evaluating different formulations, dimensions of specimens and mixtures with other materials, in order to determine the best conditions for their reuse.

Conclusions: An underutilized potential of this material is suggested. It is considered that resin scraping can be reused as a raw material in product design projects, which allow its valorization and integration in new application contexts.

Keywords: Design, Pine Resin Scrap, Waste

CONTRIBUTION OF DESIGN TO THE VALORIZATION OF THE WASTE OF PINE RESIN

INTRODUCTION
This research has as its starting point the problem of negligence in forest management, one of the main causes of forest fires in Portugal. Focusing on resin, a material from pine forests, one of the predominant forests in the country, the project seeks to involve an underused natural resource and, at the same time, promote its sustainable exploitation. Portugal was once the second largest exporter of resin, but the practice of resin is currently in decline. In this context, resin scrap was identified, a by-product of resin extraction composed of solidified resin with impurities and fragments of pine bark. Its consumption is residual due to poor visual quality, making it increasingly difficult to integrate, in a market reality that requires resin with increasingly high quality standards.

AIM
To investigate the potential of pine resin scrap as a material through product design, with a focus on its valorization and accessible reuse.

METHODS
The experimentation focused on exploring the potential of resin scrap combined with residual additives such as ash, sawdust, paper waste and beeswax.
Phase 1 - Initial Testing
The mixtures were made with about 250 g of resin and 50 g of additive, adjusting the proportions according to the consistency obtained. The filtered scrap was used twice due to the presence of impurities (50%). PLA molds with heights of 1 cm, 3 cm and 5 cm were used to test texture, moldability and resistance.
Phase 2 - Scale and shapes
After group analysis (12 people), the most promising materials were tested in larger, cylindrical and parallelepiped molds, to evaluate the strength and behavior in the demolding.

RESULTS
Several combinations between resin scrap and waste materials, such as paper fibers, sawdust, ashes and beeswax, were tested. The proportion varied empirically, seeking a balance between moldability, resistance and appearance.

Paper fibers proved to be the most effective in structural strength, although the visual result was not very appealing to most of the group. The sawdust stood out for its natural aesthetics and good performance in terms of rigidity. Ashes, on the other hand, although less visually appreciated, showed relevant benefits in terms of consistency and reinforcement of the material. The filtered resin scrap, due to its transparency and clean appearance, was considered the most aesthetically attractive, although extremely fragile. Beeswax, in turn, contributed to removing the stickiness present in most mixtures and, in higher concentrations, gave plasticity to the material, allowing it to bend instead of breaking. The specimens were tested in molds of different shapes (circular and parallelepiped) and heights (2 cm to 5 cm) to evaluate the behavior of the material in the unmolding phase and verify variations in resistance according to the scale. It was observed that circular molds facilitate unmolding, while molds with edges cause weaknesses in the corners. In tests with larger parts, the material seems to gain some strength, which paves the way for future larger-scale applications. These results are still preliminary and will continue to be validated with further tests.

CONCLUSION
Tests show that resin scrap has the potential to be applied in the area of design, particularly when residual additives are added. The paper fibers stood out for their strength, the sawdust for the balance between rigidity and aesthetics, and the ashes for their structural reinforcement. The beeswax improved the texture, and the filtered resin was the most visually appealing, although fragile. The work continues with larger-scale testing and exploration of possible practical applications.

AUTORS
Síndia Afonso
up0220820@up.pt
Rui Mendonça
rui.mendonca@up.pt
Cláudia Lima
claudia.lima@up.pt
FACULDADE DE BELAS ARTES
FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

U.PORTO



2. Ergotrip 2025

Artigo científico submetido para a 11ª edição da Ergotrip.

Contributos do design para a valorização da raspa de pinheiro

Design contributions to the valorization of resin pine scrap!

Simão Afonso¹✉, Rui Mendonça^{2,3}, Cláudia Lima^{3,4}

¹ Faculdade de Belas Artes, Universidade do Porto, Porto, Portugal, tinkers202@gmail.com

² Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal

³ ID+: Instituto de Investigação em Design, Media e Cultura, Faculdade de Belas Artes, Universidade do Porto

⁴ Universidade Lusófona, Porto, Portugal

Resumo

O presente artigo apresenta uma abordagem experimental de design orientada para a valorização da raspa de pinheiro, um subproduto subvalorizado da indústria resinífera portuguesa. Associado à extração tradicional de resina, este resíduo acumula-se nas fábricas por não cumprir os padrões exigidos pelo mercado atual, contribuindo para o desperdício industrial. A investigação parte do problema dos incêndios florestais em Portugal, agravados pelo abandono das florestas e pela substituição de espécies autóctones por monoculturas de crescimento rápido. Neste contexto, o design surge como ferramenta crítica e transformadora, com o objetivo de explorar novas possibilidades de aplicação da raspa de pinheiro enquanto material. Através de uma metodologia centrada no Material Driven Design, complementada por práticas de investigação através do design e validação colaborativa, foram realizados testes com diferentes misturas (cinza, cera e serrim), analisando propriedades físicas, táteis e estéticas. Os resultados indicam que a mistura com cinza apresenta maior estabilidade, resistência e potencial de aplicação. O artigo sublinha a importância do design enquanto agente de mudança social e ecológica, promovendo a circularidade de recursos locais e a consciencialização crítica sobre os mesmos.

Palavras-chave design sustentável; raspa de pinheiro; resíduos florestais; economia circular.

Abstract

This article presents an experimental design approach oriented toward the valorization of resin pine scrap, an undervalued byproduct of the Portuguese resin industry. Associated with the traditional extraction of resin, this residue accumulates in factories because it does not meet the standards required by the current market, contributing to industrial waste. The research stems from the problem of forest fires in Portugal, exacerbated by the abandonment of forests and

the replacement of native species with fast-growing monocultures. In this context, design emerges as a critical and transformative tool, aiming to explore new possibilities for applying resin pine scrap as a material. Through a methodology centered on Material Driven Design, complemented by research-through-design practices and collaborative validation, tests were carried out with different mixtures (ash, wax, and sawdust), analyzing physical, tactile, and aesthetic properties. The results indicate that the mixture with ash presents greater stability, resistance, and application potential. The article highlights the importance of design as an agent of social and ecological change, promoting the circularity of local resources and critical awareness of them.

Keywords sustainable design; forest fires; pine residue; forest waste; circular economy

1. Introdução

Portugal enfrenta, há décadas, um problema estrutural relacionado com os incêndios florestais. Entre os principais fatores responsáveis por este cenário estão o abandono dos territórios rurais, a escassa gestão ativa das áreas florestais e a substituição de espécies autóctones, como o pinheiro-bravo (*Pinus pinaster*), por monoculturas de crescimento rápido, como o eucalipto (*Eucalyptus globulus*) (Respinus, 2018; Centro Pinus, 2021; ICNF, 2024). Estes fatores refletem-se em dados preocupantes: em 2020, Portugal foi o segundo país da União Europeia mais afetado por fogos florestais (Agroportal, 2021), e, apesar dos avanços recentes na prevenção e combate, os incêndios continuam a ter impactos significativos na população e nos recursos florestais (Governo de Portugal, 2023). Só este ano, de 2025, ardeu cerca de 3% do território nacional, sendo este correspondente a uma área três vezes superior à média das duas últimas décadas (Rtp.pt, 2025). Face a este panorama, o design pode assumir um papel ativo na mitigação de impactos ambientais e sociais, propondo soluções que promovam a regeneração ecológica e a valorização económica dos territórios (Vezzoli & Manzini, 2008). Este estudo parte da premissa de que é possível, através do design, potenciar os pinhais nacionais e os seus subprodutos, dentro de uma lógica de sustentabilidade e economia circular (Ellen MacArthur Foundation, 2013).

O presente artigo insere-se num projeto de investigação mais amplo, desenvolvido no âmbito de um mestrado em Design Industrial e de Produto, na Universidade do Porto. Numa fase inicial da investigação, visitou-se a fábrica de destilação Nares, em Pombal, na qual se constatou a existência de um subproduto acumulado, a raspa de pinheiro⁵. Este material revelou-se promissor para exploração prática e experimental, utilizando abordagens acessíveis e de baixo custo, sendo este o foco do artigo.

Através da experimentação material, exploraram-se misturas com outros resíduos (cinzas, serrim) e cera de abelha, com o objetivo de desenvolver compósitos aplicáveis no design de produto. A investigação enquadra-se nos princípios da economia circular (Ellen MacArthur Foundation, 2013) e contribui para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável—ODS(ONU, 2015), nomeadamente o ODS 12 (Produção e Consumo Sustentáveis), o ODS 13 (Ação Climática) e o ODS 15 (Proteger a Vida Terrestre).

⁵ Resíduo gerado no processo tradicional de extração de resina, considerado de baixa qualidade pela indústria; segundo o engenheiro Ricardo Gomes (comunicação pessoal, novembro 11, 2024).

2. Metodologia

A metodologia adotada combina estratégias práticas e colaborativas, orientadas para a exploração sensível do material. A abordagem principal utilizada foi o Material Driven Design (Karana et al., 2015), que parte do potencial expressivo e performativo dos materiais para gerar conhecimento e orientar o processo de projeto. Esta perspectiva foi aplicada ao trabalho com a raspa de pinheiro, permitindo desenvolver e testar diferentes composições com cera de abelha ou com resíduos orgânicos, como cinza e serrim, num enquadramento que valoriza a sustentabilidade e a circularidade dos recursos, aliando preocupações ecológicas e sociais (Victor Papanek, 1971).

O processo teve por base princípios da investigação através do design⁶, onde a prática funciona como um meio de produção de conhecimento (Frayling, 1993), e como atividade metódica e rigorosa (Archer, 1995). O processo envolveu ciclos iterativos de experimentação, análise crítica e reformulação, tendo como base a observação do comportamento do material em diferentes contextos de moldagem e aplicação, alinhando-se com abordagens de inovação prática no design sustentável (Norman, 2023).

Foram também aplicados métodos de observação direta e entrevistas informais com agentes do setor resinífero, como fábricas e pequenos produtores, permitindo recolher dados empíricos relevantes para a investigação. Esta dimensão de contacto direto com os contextos de extração e transformação da resina seguiu metodologias propostas por Martin e Hanington (2012), que defendem a importância da imersão no terreno para compreender práticas reais de utilização e oportunidades de valorização local.

A par da prática laboratorial, o processo contou com um modelo de validação colaborativa contínua, através de reuniões semanais com um grupo de 12 participantes, incluindo orientadores da investigação e colegas de mestrado (Fig. 1). Estas sessões de discussão permitiram refletir criticamente e de forma continuada acerca dos resultados obtidos em cada fase, sugerir novas direções para a investigação e consolidar aprendizagens coletivas, reforçando a qualidade e a consistência do percurso experimental (Norman, 2004).



Figura 1. Reunião de discussão de resultados, a 11 de abril de 2025. Fonte: Imagem do autor (2025).

⁶ Do original, *Research through Design*, proposto por Christopher Frayling.

3. Processo de desenvolvimento

3.1. Misturas e testes iniciais

A fase inicial do projeto foi marcada por uma abordagem exploratória e intuitiva, com o objetivo de promover o contacto direto com a raspa de pinheiro e verificar o seu comportamento térmico e mecânico. Durante cerca de um mês, foram realizados testes informais com combinações variadas entre raspa e outros materiais complementares, com particular destaque para cinza de madeira e cera de abelha, cujas potencialidades plásticas já haviam sido identificadas na investigação de Cristiano Sousa (2015).

Estes ensaios não seguiram um método científico rigoroso, tendo como principal propósito estimular a curiosidade, alimentar a sensibilidade material e orientar futuras decisões metodológicas. Também foram explorados diferentes tipos de moldes, nomeadamente moldes em PLA e gesso.

O principal contributo desta fase foi a padronização do processo de derretimento da raspa, tanto na sua forma bruta como já filtrada. Esta fase inicial de experimentação permitiu estabelecer condições e temperaturas mínimas de fusão e manuseamento da raspa, o que viria a ser sistematizado nos ensaios seguintes.

3.2. Moldagem e Observação de Comportamentos

Esta fase corresponde ao início da investigação científica relativamente ao comportamento da raspa de pinheiro enquanto material moldável. Através de um conjunto de ensaios, procurou-se analisar a resistência mecânica básica do material, a sua resposta formal em diferentes espessuras e a facilidade de desmoldagem. Foram utilizados moldes de PLA com três alturas distintas: 1cm, 3cm e 5cm, com o objetivo de comparar o desempenho do material em diferentes espessuras.

Raspa (100%):

Neste ensaio, utilizou-se exclusivamente raspa de pinheiro na sua forma bruta, fundida e vertida diretamente nos moldes. Os resultados mostraram uma relação direta entre espessura e resistência. A espessura demonstrou ser um fator crucial para a resistência mecânica do material.

- Molde de 1cm: fácil de remover, mas a peça revelou-se extremamente frágil;
- Molde de 3cm: maior resistência, mas com dificuldade de desmoldagem;
- Molde de 5cm: peça mais robusta, com boa resistência, embora de difícil remoção.

Raspa filtrada (100%):

Neste segundo ensaio, foi utilizada raspa filtrada, o que exigiu maior cuidado ao verter para os moldes, devido à maior fluidez — foi necessário esperar entre 5 a 7 minutos para evitar deformações no PLA. No entanto, a fragilidade do material agravou-se. Conclui-se que, apesar de tornar o material mais homogéneo, a sua resistência ficou comprometida.

- Molde de 1cm: quebrou ao desmoldar;
- Molde de 3cm: mesma fragilidade e dificuldade de remoção;
- Molde de 5cm: única peça que se manteve parcialmente intacta, embora com fragilidade estrutural visível.

Testes de misturas

Após os testes com raspa pura, verificou-se que o material apresentava fragilidade estrutural, especialmente nas peças de menor espessura. Com o objetivo de reforçar a resistência mecânica, iniciaram-se novos ensaios com adição de outros materiais à base de desperdícios e aditivos naturais.

Mistura com cinza

Foram testadas quatro proporções distintas de mistura entre raspa de pinheiro e cinza, variando entre 16,7% e 66,7%. A composição com 66,7% de cinza, embora sólida, revelou-se demasiado seca e arenosa, dificultando a fusão homogênea e reduzindo a aderência interna da mistura. A proporção mínima (16,7%) apresentou melhorias face à raspa pura, mas sem atingir os níveis de coesão desejados. Os melhores resultados foram obtidos com 33% e 50% de cinza, que demonstraram maior resistência mecânica, boa estabilidade formal, superfícies mais regulares e com menos bolhas ou impurezas, bem como facilidade de desmoldagem nas espessuras médias. De forma a aperfeiçoar os melhores resultados, estas proporções foram posteriormente retestadas com raspa previamente filtrada, o que contribuiu para uma maior uniformidade e homogeneidade visual com superfícies ainda mais regulares. Resultados presentes na tabela 1.

Composição (g)	250g Raspa (83,3%) 50g Cinzas (16,7%)	200g Raspa (66,7%) 100g Cinzas (33,3%)	150g Raspa (50%) 150g Cinzas (50%)	100g Raspa (33,3%) 200g Cinzas (66,7%)	200g Raspa F (67%) 100g Cinzas (33%)	150g Raspa F (50%) 150g Cinzas (50%)
Mistura inicial	Castanha escura, homogênea	Muito pastosa e colante	Espessa e seca	Grãos soltos	Castanha, pastosa	Castanha escura, pastosa
Facilidade de mistura	Fácil	Difícil	Difícil	Nula	Fácil	Relativamente fácil
Plasticidade (quando quente)	Boa, fluida	Alta	Moderada	Nula	Moderada	Moderada
Facilidade de moldagem	Fácil de verter	Difícil de verter, precisou de reaquecimento	Amassada nos moldes	Apenas despejada nos moldes	Fácil	Amassada manualmente
Facilidade de desmoldagem	1cm: Fácil, 3cm: Média, 5cm: Difícil	1cm: Fácil, 3cm: Difícil, 5cm: Muito difícil	1cm: Fácil, 3cm: Média, 5cm: Difícil	Todos os moldes desfeitos	Fácil	1cm: Fácil, 3cm: Fácil, 5cm: Média
Textura após secagem	Brilhante, algumas bolhas de ar	Brilhante e homogênea	Rugosa e áspera	Farinhenta e frágil	Brilhante, homogênea e lisa	Áspera
Resistência (quando seco)	Baixa (mais frágil nas bolhas)	Elevada	Elevada	Muito baixa	Elevada	Elevada
Foto						

Tabela 1. Comparação dos testes com cinzas. Fonte: Tabela do autor (2025).

Mistura com serrim

Foram realizados testes com adição de serrim de madeira, introduzido como reforço na resistência mecânica. Neste caso, as proporções utilizadas foram diferentes das aplicadas na mistura com cinza, devido à textura leve e farinhenta do serrim, que rapidamente altera a densidade e a viscosidade da mistura.

Foram testadas quatro proporções, com teores de serrim entre 8,3% e 33,3%. A proporção mais elevada (33,3%) revelou-se problemática, tornando a mistura demasiado seca e farinhenta e resultando em peças frágeis e porosas. Já a proporção mínima (8,3%), embora garantisse uma fusão mais coesa, apresentou um impacto muito reduzido na resistência global do material. De forma a aperfeiçoar os melhores resultados, a proporção de 33,3% foi, posteriormente, refeita com raspa filtrada, o que contribuiu para uma maior homogeneidade das peças moldadas. As melhores respostas foram obtidas com as proporções intermédias, em particular os 25% de serrim, que resultaram em estrutura mais compacta e estável após a solidificação. Além disso, houve desempenho nas espessuras de 3cm e 5cm. O impacto estético do serrim revelou-se particularmente positivo, sobretudo nas composições com menor proporção, onde as superfícies apresentaram um brilho subtil e apelativo. Paralelamente, a introdução do serrim contribuiu para o aumento da resistência mecânica do material, cumprindo o objetivo principal deste ensaio. Resultados presentes na tabela 2.

Composição (g)	275g Raspa (91,7%) 25g Serrim (8,3%)	250g Raspa (83,3%) 50g Serrim (16,7%)	225g Raspa (75%) 75g Serrim (25%)	200g Raspa (66,7%) 100g Serrim (33,3%)	200g Raspa F 100g Serrim
Mistura inicial	Castanha clara, homogénea	Castanha clara, homogénea	Castanha escura, granulada	Muito farinhenta	Castanha escura, homogénea
Facilidade de mistura	Fácil	Fácil	Fácil	Difícil	Difícil
Plasticidade (quando quente)	Alta	Alta	Moderada	Baixa	Alta
Facilidade de moldagem	Fácil de verter	Fácil de verter	Amassada nos moldes	Amassada nos moldes	Fácil de verter
Facilidade de desmoldagem	1cm: Fácil, 3cm: Média, 5cm: Média	Todos os moldes: Fácil	1cm: Fácil, 3cm: Média, 5cm: Difícil	1cm: Muito fácil, 3cm: Fácil, 5cm: Fácil	1cm: Fácil, 3cm: Fácil, 5cm: Fácil
Textura após secagem	Pegajosa	Brilhante e homogénea	Rugosa e áspera	Rugosa e frágil	Lisa e homogénea
Resistência (quando seco)	Moderada	Elevada	Elevada	Baixa	Elevada
Foto					

Tabela 2. Comparação dos testes com serrim. Fonte: Tabela do autor (2025).

Mistura com cera de abelha

Foram realizados testes com cera de abelha, com o objetivo de conferir maior plasticidade e flexibilidade à raspa de pinheiro, mitigando a sua tendência à fragmentação. A mistura foi testada com proporções de 17% a 66% de cera.

A adição de cera revelou uma evolução gradual nas propriedades mecânicas, ou seja, à medida que a proporção aumentava, o material tornou-se progressivamente mais maleável e menos quebradiço. As proporções mais baixas (17% e 33%) não apresentaram melhorias significativas em termos de resistência à quebra, mas destacaram-se pela fluidez homogênea e facilidade no enchimento dos moldes.

As melhores respostas foram observadas com as proporções de 50% e 66%, com destaque na de 66%, na qual as peças moldadas foram passíveis de dobrar sem se partir, revelando uma flexibilidade notável para um compósito de base natural. Verificou-se que o material ficou homogêneo em todas as proporções, e a viscosidade da resina foi eliminada, resultando num acabamento seco e agradável ao toque. No entanto, a elevada temperatura de fusão continuou a representar um risco para os moldes de PLA, exigindo um controlo rigoroso dos tempos de arrefecimento antes da moldagem. A cera de abelha demonstrou ser um aditivo eficaz para modificar o comportamento da raspa de pinheiro, tornando o material mais flexível, manuseável e sensorialmente agradável. Resultados presentes na tabela 3.

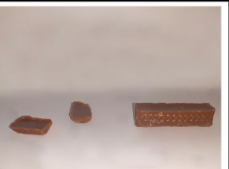
Composição (g)	250g Raspa (83%) 50g Cera (17%)	200g Raspa (67%) 100g Cera (33%)	150g Raspa (50%) 150g Cera (50%)	100g Raspa (33%) 200g Cera (66%)
Mistura inicial	Avermelhada	Avermelhada	Avermelhada	Avermelhada
Facilidade de mistura	Fácil	Fácil	Fácil	Fácil
Plasticidade (quando quente)	Elevada	Elevada	Elevada	Muito Elevada
Facilidade de moldagem	Fácil de verter	Fácil de verter	Fácil de verter	Fácil de verter
Facilidade de desmoldagem	Difícil (1cm e 3cm), Média (5cm)	Difícil	Fácil	Muito fácil
Textura após secagem	Seca, translúcida, pouco pegajosa	Homogênea, seca, acastanhada	Homogênea, seca, acastanhada	Homogênea, seca, acastanhada
Resistência (quando seco)	Baixa	Baixa	Moderada	Elevada (flexível/dobra)
Foto				

Tabela 3. Comparação dos testes com cera de abelha. Fonte: Tabela do autor (2025).

3.3. Desenvolvimento de peças em maior escala

Após a seleção das composições mais promissoras na fase de ensaios padronizados, foi iniciada uma nova etapa de testes com peças de maior escala, com o objetivo de avaliar o comportamento das misturas em situações mais próximas de uma aplicação prática. As formulações utilizadas incluíram: raspa filtrada (100%), raspa filtrada com cinzas e raspa filtrada com serrim. No caso da mistura com serrim, foi utilizada raspa previamente filtrada para garantir maior homogeneidade e melhor integração do aditivo.

As misturas foram aplicadas em moldes de PLA com geometrias circulares e paralelepípedicas, com dimensões variáveis entre 2cm e 5cm de altura e 10cm de diâmetro ou 10x10cm de base, permitindo testar a adaptabilidade do material a diferentes formas e volumes.

Durante a deposição das misturas nos moldes, foi observada a formação de bolhas de ar, especialmente nas composições com aditivos. Este fenómeno foi corrigido através da passagem controlada de uma de chama direta, eliminando imperfeições e contribuindo para a qualidade visual da superfície moldada.

Os moldes circulares revelaram-se mais eficazes no processo de desmolde, proporcionando peças com menos danos nas extremidades. Já os moldes paralelepípedicos apresentaram maior propensão a fraturas nas arestas, sobretudo nas peças de raspa filtrada, cuja fragilidade estrutural voltou a ser evidente. Em determinados casos, foi possível reparar pequenas fraturas através do uso localizado de calor nas áreas danificadas. A aplicação de chama na fase final também se mostrou útil para recuperar o brilho superficial, perdido com o contacto com o molde.

A escala ampliada teve um impacto positivo na resistência geral das peças, especialmente nas misturas com cinza e serrim. A maior espessura contribuiu para uma rigidez acrescida, confirmando tendências observadas em fases anteriores (Fig. 2). Foi realizado um ensaio de queda livre a 1,10m de altura, no qual apenas as peças de raspa filtrada sofreram fraturas. As restantes mantiveram-se intactas, validando o potencial das misturas com aditivos para aplicações que exigem maior resistência física.

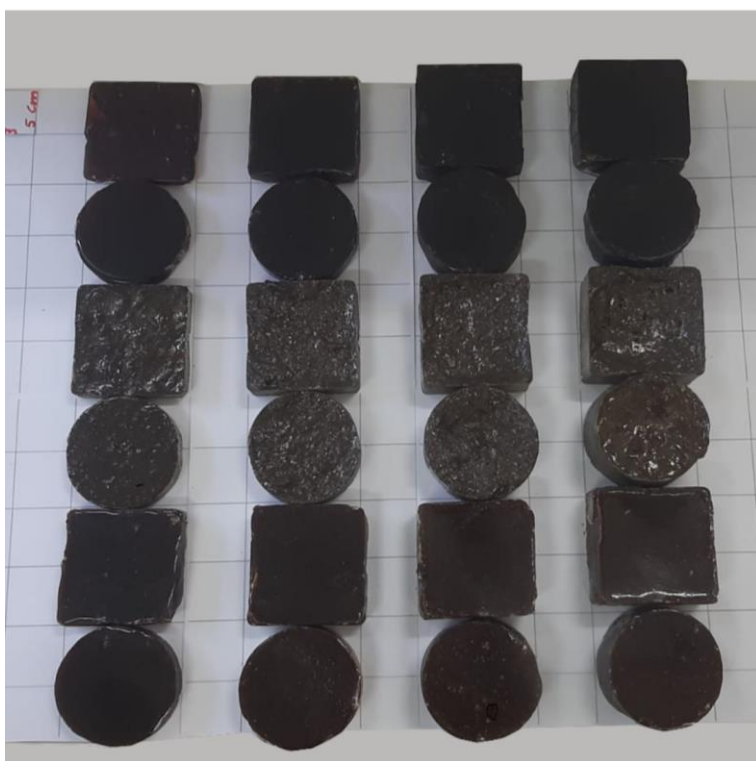


Fig. 2. Peças de maior escala na grelha de medição. Fonte: Imagem do autor (2025).

As amostras foram sujeitas a testes de acabamento, como testes de corte com equipamento elétrico, com o objetivo de avaliar a resistência à incisão e a estabilidade durante o processo. As misturas com cinzas e serrim apresentaram bom desempenho, permitindo cortes limpos em diferentes espessuras. A raspa filtrada, contudo, partiu-se facilmente, confirmando mais uma vez a sua fragilidade e menor adequação a processos mecânicos intensivos. Estes resultados reforçaram a ideia de que a adição de materiais naturais aumenta significativamente a resistência e a versatilidade do material de base. Os resultados estão presentes na Figura 3.



Fig. 3. Resultado dos testes de corte. Fonte: Imagem do autor (2025).

Posteriormente, foi conduzido um ensaio de lixamento com rebarbadora, utilizando três calibres de lixa (P80, P120 e P240), para estudar o comportamento térmico e superficial das misturas. Nas lixas mais agressivas (P80 e P120), as amostras com cinza e serrim demonstraram tendência à fusão parcial, aderindo à lixa e dificultando o acabamento. A raspa filtrada teve melhor resistência ao calor, mas gerou fios de material com o atrito. Com a lixa mais fina (P240), todas as misturas reagiram melhor, permitindo um acabamento mais uniforme, embora com perda de transparência em algumas áreas, especialmente na colofónia. Estes ensaios demonstraram que o lixamento é tecnicamente possível, mas deve ser realizado com precaução, sobretudo em relação ao calor gerado por fricção. Os resultados estão presentes na Figura 4.



Fig. 4. Resultados dos testes de lixamento (da esquerda para a direita: cinzas, serrim e colofónia). Fonte: Imagem do autor (2025).

3.4. Protótipos com moldes de gesso e acabamentos

A última fase do processo experimental consistiu na fundição das misturas selecionadas em moldes de gesso, com o objetivo de avaliar o comportamento dos materiais em contextos

próximos da sua aplicação real (Fig. 5). Esta etapa incluiu também ensaios de acabamento superficial. Adicionalmente, em certas misturas foram utilizadas fibras vegetais (algodão, sisal e cepilho), com o objetivo de melhorar a resistência mecânica da peça. Foram moldadas duas formas, uma de perfil fino, estrutura aberta e zonas de baixa espessura, concebida para testar resistência sob maior tensão estrutural (Formato A) e outra peça mais compacta e volumosa, com cavidade interna, representando um cenário mais estável e funcional (Formato B). Os testes demonstraram que o Formato B obteve melhor desempenho estrutural, apresentando maior resistência à deformação e menor incidência de ruturas. O Formato A, por outro lado, revelou maior fragilidade nas zonas mais finas, confirmando a necessidade de reforços adicionais ou limitações na aplicação da mistura em geometrias delicadas. A desmoldagem das peças foi feita em períodos tanto de 24 horas como apenas de 3. Revelaram-se mais eficazes as de maior tempo em relação às desmoldagens antecipadas, permitindo uma solidificação mais completa e reduzindo falhas superficiais ou fraturas. Entre as formulações aplicadas, a mistura com cinza destacou-se novamente pela sua estabilidade e resistência geral, mantendo a forma e acabamento ao longo do tempo sem deformações visíveis. As misturas com serrim evidenciaram maior plasticidade, o que pode ser vantajoso para aplicações onde alguma flexibilidade ou adaptabilidade formal seja desejável, embora com perda de rigidez estrutural. Já as misturas com fibras vegetais (como algodão ou sisal) não alteraram significativamente o comportamento técnico do material, mas contribuíram para efeitos visuais interessantes, com padrões internos visíveis e texturas diferenciadas.



Fig. 5. Resultados dos testes em moldes de gesso (linha 1: cinzas, linha 2: serrim, linha 3: colofónia e fibras).
Fonte: Imagem do autor (2025).

Com o objetivo de explorar o potencial estético e de personalização dos artefactos, foram realizados testes de superfície e detalhes (Fig. 6). Executou-se um decalque, que se revelou eficaz, permitindo a transferência de texturas e padrões durante o processo de moldagem. A qualidade dos detalhes variou consoante a densidade da mistura utilizada. Também se realizou uma gravação a laser. A marcação mostrou-se precisa e nítida, principalmente na mistura com cinza. Na mistura com serrim, foram necessárias adaptações nos parâmetros térmicos, devido à sensibilidade ao calor. Por último, testou-se jato de areia. Embora exigente em termos de controlo, permitiu alterações táteis e visuais significativas sem comprometer a integridade das peças, desde que aplicado com a pressão e distância adequadas (pistola a cerca de 60cm de distância da peça).



Fig. 6. Resultados dos testes de superfície e de detalhe. Fonte: Imagem do autor (2025).

4. Resultados e discussão

Os resultados finais evidenciaram que o tipo de formato teve impacto direto no desempenho das peças. As formas circulares facilitaram a desmoldagem e reduziram o risco de ruturas nas extremidades, confirmando-se mais adequadas para o trabalho com este material. Já as peças mais compactas, com paredes espessas e cavidades internas, revelaram maior estabilidade estrutural, resistindo melhor às tensões internas ao longo do tempo. Em contraste, as estruturas abertas, de perfil fino, apresentaram maior propensão a deformações e ruturas.

Do ponto de vista técnico, o tempo de secagem antes da desmoldagem revelou-se determinante. As peças removidas após apenas três horas apresentaram fragilidade e tendência à fissuração, enquanto as desmoldagens realizadas após 24 horas resultaram em maior consistência e durabilidade. A preparação dos moldes em gesso, incluindo a imersão prévia em água e a introdução de orifícios para ar comprimido, contribuiu significativamente para a qualidade final, garantindo um arrefecimento mais eficiente e facilitando a remoção sem comprometer a integridade das peças.

No que respeita ao comportamento das misturas, as composições com cinzas destacaram-se pela sua estabilidade e resistência, apresentando menos deformações ao longo do tempo (Fig. 7). As misturas com serrim mantiveram interesse sobretudo pelo efeito de deformação constante, que poderá ser explorada. As fibras naturais, por sua vez, tiveram impacto quase exclusivo no aspeto visual, não trazendo melhorias estruturais relevantes.



Fig. 7. Peças finais. Fonte: Imagem do autor (2025).

5. Considerações finais

Este estudo procurou explorar o potencial da raspa de pinheiro como material alternativo, através de um processo experimental orientado pelo design. A investigação confirmou que a valorização deste subproduto é possível, mas envolve desafios técnicos e criativos que se intensificam à medida que a escala de produção aumenta.

A fase laboratorial permitiu compreender o comportamento da raspa pura e testar combinações com aditivos naturais. As misturas com cinza mostraram o melhor equilíbrio entre resistência, estabilidade e moldabilidade, enquanto o serrim destacou-se pelo valor estético e a cera de abelha pela melhoria da flexibilidade. Estes resultados demonstram que diferentes composições podem ser direcionadas para aplicações distintas, consoante as prioridades de desempenho e aparência.

Os testes em maior escala e as peças finais revelaram que adaptações no processo, como a utilização de moldes de gesso e o controlo do arrefecimento, são fundamentais para garantir qualidade e facilitar a desmoldagem. Apesar de surgirem pequenas deformações, estas não comprometeram a integridade estrutural e, em alguns casos, acrescentaram carácter visual às peças.

O trabalho mostrou que a escala maior não é apenas uma ampliação do que já foi testado em pequeno formato: traz novas variáveis, como a formação de bolhas, riscos de fratura e tempos de secagem mais críticos, que exigem reformulação das etapas e dos materiais. Apesar das dificuldades, foi possível obter peças robustas, com acabamento satisfatório e potencial para aplicações funcionais e decorativas.

Ainda que o impacto deste projeto na prevenção de incêndios ou na revitalização da resinagem tradicional possa ser limitado, a investigação abre caminhos para o aproveitamento de um resíduo atualmente sem destino valorizado, criando uma oportunidade de escoamento para as fábricas de destilação e, consequentemente, contribuindo para a circularidade de recursos locais. O percurso confirmou que o design pode ter um papel relevante na transformação de resíduos, não apenas pela criação de novos artefactos, mas também pela construção de conhecimento material e técnico que amplia as possibilidades de uso de recursos subvalorizados.

Referências

Agroportal. (2021). Portugal foi o segundo país da UE mais afetado por fogos florestais em 2020 – Bruxelas. Consultado a 14 de agosto de 2025 em <https://www.agroportal.pt/portugal-foi-o-segundo-pais-da-ue-mais-afetado-por-fogos-florestais-em-2020-bruxelas/>

Archer, B. (1995). The nature of research. Codesign, 6–13.

Centro Pinus. (2021). Relatório Nacional 2021: Fileira do Pinho. Consultado a 14 de agosto de 2025 em <https://www.centropinus.org/pages/rn21>

Ellen MacArthur Foundation. (2013). Towards the circular economy: Economic and business rationale for an accelerated transition.

Frayling, C. (1993). Research in art and design. Royal College of Art Research Papers.

Governo de Portugal. (2023). Menos incêndios, menos área ardida e zero vítimas. Consultado a 14 de agosto de 2025 em <https://www.portugal.gov.pt/pt/gc23/comunicacao/noticia?i=menos-incendios-menos-area-ardida-e-zero-vitimas>

ICNF – Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas. (2024). Plano de prevenção e combate a incêndios florestais. Consultado a 14 de agosto de 2025 em <https://www.icnf.pt/api/file/doc/b4470d783c2916d0>

Karana, E., Pedgley, O., & Rognoli, V. (2015). Material driven design: A method to design for material experiences. *International Journal of Design*, 9(2), 35–46.

Martin, B., & Hanington, B. (2012). *Universal methods of design: 100 ways to research complex problems, develop innovative ideas, and design effective solutions*. Rockport Publishers.

Norman, D. A. (2004). *Emotional design: Why we love (or hate) everyday things*. Basic Books.

Norman, D. A. (2023). *Design for a better world*. The MIT Press.

Papanek, V. (1971). *Design for the real world: Human ecology and social change*. Pantheon Books.

PEFC Portugal. (2023). Porque é importante cuidar da floresta. Consultado a 14 de agosto de 2025 em <https://pefc.pt/>

Resipinus. (s.d.). Resinagem em Portugal e no mundo. Consultado a 14 de agosto de 2025 em <https://www.resipinus.pt/resinagem/resinagem-em-portugal-e-no-mundo/>

Rtp.pt (2025). Área ardida corresponde a 3% do território nacional. Governo afasta ter falhado na prevenção. Consultado a 26 de agosto de 2025 em https://www.rtp.pt/noticias/pais/area-ardida-corresponde-a-3-do-territorio-nacional-governo-afasta-ter-falhado-na-prevencao_n1679212

Sousa, C. (2015). *Resina e design: Contributo para o aumento da extração da resina do pinheiro*. United Nations. (s.d.). Sustainable Development Goals. Consultado a 14 de agosto de 2025 em <https://sdgs.un.org/goals>

Vezzoli, C., & Manzini, E. (2008). *Design for environmental sustainability*. Springer-Verlag London Limited. <https://doi.org/10.1007/978-1-84800-163-3>

3. Revista Convergências

Artigo científico submetido para a Convergências - Revista de Investigação e Ensino das Artes.

10.xxxxxxx (doi)

Section

The artisanal and the industrial: From opposition to complementarity

O artesanal e o industrial: Da oposição à complementaridade

Catarina Silva Pinto¹ Conceptualization, Investigation, Writing, 0009-0003-1436-661X

Simão Afonso¹ Conceptualization, Investigation, Writing, 0009-0007-4728-3537

Cláudia Raquel Lima^{2, 3} Resources, Supervision, 0000-0002-3279-4808

Teresa Almeida^{1, 4, 5} Resources, Supervision, 0000-0002-2033-0459

Rui Mendonça^{1,2, 6} Supervision, Validation, 0000-0003-3637-1770

¹ Faculty of Fine Arts, University of Porto, Porto, Portugal

² ID+, Research Institute for Design, Media and Culture

³ Lusófona University, Porto, Portugal

⁴ VICARTE, Research Unit “Glass and Ceramics for the Art”, School of Science and Technology, NOVA University Lisbon, Monte da Caparica, Portugal

⁵ i2ADS Research Institute in Art, Design and Society, Faculty of Fine Arts, University of Porto, Porto, Portugal

⁶ University of Trás-os-Montes and Alto Douro, Vila Real, Portugal

Correspondent Author:

Catarina Silva Pinto, Av. de Rodrigues de Freitas 265, 4049–021 Porto,
catfranciscasilva@gmail.com

Simão Afonso, Av. de Rodrigues de Freitas 265, 4049–021 Porto,
tinkers202@gmail.com

Abstract

Introduction: This article seeks to analyse and identify the relationships and differences between artisanal and industrial production, reinterpreting their traditional opposition as a field of complementarity.

Method: Drawing on theoretical, historical, and contemporary foundations, it reflects on how design can mediate between tacit workshop knowledge and industrial processes, contributing to more sustainable and ethical practices. Key concepts from various authors, such as the “industrial atmosphere”, the “Maker Movement”, and the “workmanship of risk”, underpin this investigation. Furthermore, case studies illustrate hybrid strategies that combine technological precision with artisanal mastery, reinforcing authenticity, identity, and cultural and symbolic value.

Conclusion: The article proposes practical recommendations, including intermediate infrastructures (fab labs and micro-factories), hybrid education, systematic documentation, and authorship protection mechanisms. It concludes that hybrid design constitutes a contemporary model capable of uniting industrial efficiency with artisanal authenticity, fostering a fairer and more circular material culture.

Keywords: design; artisanal; industrial; circular economy; authorship.

Resumo

Introdução: O presente artigo procura analisar e identificar as relações e as diferenças entre a produção artesanal e a produção industrial, reinterpretando a sua tradicional oposição como um campo de complementaridade.

Método: Partindo de fundamentos teóricos, históricos e contemporâneos, reflete-se como o design pode mediar entre saberes tácitos de oficina e processos industriais, contribuindo para práticas mais sustentáveis e éticas. São apresentados conceitos-chave de diferentes autores como a “industrial atmosphere”, o “Maker Movement” e o “workmanship of risk”, que sustentam esta investigação. Além disso, casos de estudo ilustram estratégias híbridas que combinam precisão tecnológica e mestria artesanal, reforçando autenticidade, identidade e valor simbólico e cultural.

Conclusão: O artigo propõe recomendações práticas que incluem infraestruturas intermédias (fab labs e microfábricas), educação híbrida, documentação sistemática e mecanismos de proteção de autoria. Conclui-se que o design híbrido constitui um modelo contemporâneo capaz de unir eficiência industrial e autenticidade artesanal, promovendo uma cultura material mais justa e circular.

Palavras-chave: design; artesanal; industrial; economia circular; autoria.

1. Introduction

The word design derives from the Latin *signum*, meaning sign, sharing the same etymological root. Etymologically, design means to designate, to mark, assign meaning, or give form to something, and first appeared in English in the 1540s. As a noun, it encompasses intention, plan, purpose, objective, scheme, motif, or basic structure, all associated with deception. As a verb (*to design*), it means to conceive, sketch, model, plan, or have designs on something. From its origin, design involves both creating and attributing meaning (Flusser, 1999).

Within the field of design, there are tensions between different practices, namely between artisanal and industrial production, both central to the shaping of material culture. On the one hand, craft (related to artisanal) is carried out by a skilled individual and values tradition, manual work, and cultural memory. On the other hand, industrial design prioritises standardisation, scale, and quantity. The essential difference between craft and industry lies in the mode of production: craftsmanship results from manual labour and the individual touch of the creator, ensuring the uniqueness of each piece and the presence of small (im)perfections that constitute its aesthetic value. Conversely, the industrial object is conceived for exact repetition. Any variation is considered an error, as creation occurs at the design stage rather than during execution. Consequently, craftsmanship tends to be an exceptional form of production, close to art, dedicated to unique pieces of high symbolic and economic value (Flusser, 1999).

This article highlights how these two systems, artisanal and industrial, interact and complement each other. The study is part of the Master's in Industrial and Product Design at the Faculty of Fine Arts, University of Porto, exploring contributions to the practice of "research through design" (Frayling, 1993).

Historically framed as a conflict – authenticity and uniqueness versus efficiency and accessibility – this opposition is here approached as a field of operational and cultural complementarity. Flusser (1999) observes that industrialization transformed the role of the artisan, reducing autonomy and replacing traditional, skill-based practices with standardized industrial processes. Artisanal work, rooted in human touch and (im)perfection, contrasts with industrial production, which pursues exact repetition and uniformity. The tension between expressive authenticity and technical reproducibility reflects not only practical differences but also a broader cultural debate about the place of craftsmanship and design in modern society.

Contemporary concerns like the climate crisis, technology, politics, and human rights invite viewing this dichotomy as complementary. Design should be ethical and address real issues (Papanek, 1971). Hybrid profiles, or *maestri artigiani*, combine manual skill with digital literacy. Bettiol & Micelli (2014) describe a cultural ecosystem supporting both design categories, the “industrial atmosphere” of Alfred Marshall (1997). Von Platen & Kitani (2023) describe the “Maker Movement” as democratising production, enabling experimentation, collaboration, and extending craft digitally. This aligns with Grossi (2015), who notes that “the difference is that, nowadays, technological innovations offer new possibilities: new materials, new production techniques, new forms of invention, and new markets” (p. 11).¹

How can design mediate between tacit workshop knowledge and industrial processes? This article addresses this question through reflection on various authors’ theories. It is a review of the state of the art, with reference to case studies, aimed at clarifying divergences and engage design across both categories.

2. Theoretical foundations, framework, and relevance

Building on the previous discussion of industrial and artisanal production, this section clarifies key concepts and their relevance. Industrial production is mechanised, standardised, and based on machines and assembly lines, whereas artisanal production relies on manual or semi-manual techniques, specialisation, and uniqueness, guided by tacit knowledge and skills. Artefacts can combine both, termed semi-artisanal, semi-industrial, or hybrid.

The history of crafts reveals techniques, objects, and cultural ecologies, making artefacts vehicles of identity and collective memory, a key resource for cultural policies and local identities. Albino (2017) summarises:

The word “artisanal” is relatively recent and originates from the French term *artisanat*. According to Júlio Katinsky (2007), the term *artisanat* was first used in 1920 to designate the activity of the artisan. The French designation *artisanat* itself derives from the Italian word *artigiano*, dating back to the 15th century. The term *artigiano* emerged during the Renaissance in Florence, when a clear distinction was established between those responsible for conceiving major works of art and those tasked with executing them.²

Craft is central to building territorial narratives that reinforce identity, tourism, and the local economy, legitimising initiatives to value local knowledge (Albino, 2017). Its appreciation resonates with the Arts and Crafts movement, led by William Morris in the

late 19th century, which advocated a return to manual work as an ethical and aesthetic response to industrialisation. For Morris, the craftsman should master their work, combining utility, beauty, and pleasure in production. As Pye (1978) highlights, this vision, though idealised, emphasised the importance of the relationship between knowing and doing, anticipating contemporary debates on the balance between technology, design, and craftsmanship.

With design practice increasingly linked to global challenges, its relevance and ethics require a critical reading of production, guiding design toward the real needs of communities (Papanek, 1971). Today, consumers and tourists seek authentic, unique experiences. Grossi (2015) highlights how tourism values this, generating demand for artisanal products. Craft is not just a mode of production, but a characteristic of territory and culture. Technological developments are reshaping social perceptions of craft, influencing how traditional practices evolve in contemporary contexts (Kofler & Walder, 2024).

Studies on innovation and clusters emphasise that proximity, informal practices, and trust networks drive collective learning and incremental innovation, which design can support by mediating scaled processes (Bettiol & Micelli, 2014). A systemic approach considers material, institutional, and social flows. Circular economy requires preserving both material and symbolic value, demanding design that combines technique and storytelling (Yan et al., 2025).

Research through design (Frayling, 1993) establishes the studio as a knowledge-producing space: prototypes, trials, and systematic interaction generate technical data, heuristics, and procedures. Frayling (1993) and Pye (1978) demonstrate that reflection in practice constitutes a form of knowledge not reducible to codified rules. These authors underline that the craftsman's tacit knowledge incorporates material sensitivity, process intuitions, and micro-adjustments that standardised specifications rarely capture, supporting embodied creativity and imaginative skill (Kimmel & Groth, 2024). Recognising this is essential for any attempt to transfer an authorial process to a larger industrial scale. This aligns with Providência (2022), who highlights that practical, embodied experience is essential for designers to develop material understanding and creative skills that cannot be fully captured by rules or instructions.

In this context, David Pye (1978) critically reviews the Arts and Crafts movement, arguing that William Morris idealised manual work without understanding its true nature. For Pye, the quality of craft does not depend on the absence of machines, but on what he calls "workmanship of risk", a margin of uncertainty requiring judgment, skill, and sensitivity. In contrast, industrial production relies on "workmanship of certainty", where the outcome is fully controlled. Pye thus rejects the opposition between "handmade" and "machine-made," showing that craft's value lies in the relationship between risk, control, and creativity.

The value of an object is not exhausted by its function. It contains narrative layers, memory of the process, and authorial signature that support market niches and valorisation strategies. Circular economy adds an instrumental dimension: extending material value also requires preserving the symbolic capital that renders certain residues and materials desirable (Vezzoli & Manzini, 2008). Consequently, design's challenge is both technical (how to produce) and semiotic (how to narrate).

2.1. Historical evidence and contemporaneity

The historical economic perspective provides frameworks for understanding how clusters and industrial districts emerge and why knowledge circulates in certain geographies. Alfred Marshall's (1997) concept of the "industrial district" describes the territorial concentration of small and medium-sized enterprises within the same sector, whose interdependencies promote resource sharing, productive specialisation, and tacit knowledge circulation. What Marshall termed the "industrial atmosphere" reflects know-how "in the air" (p. 156), diffusing through proximity, informal relationships, and social networks across factories, workshops, and communities. Bettiol & Micelli (2014) show how Italian industrial districts became fertile ecosystems of innovation, where artisans and firms collaborate in prototyping, finishing, and aesthetic experimentation, integrating traditional craftsmanship with global market dynamics.

The history of Italian *botteghe*³ exemplifies the productivity of proximity: cases such as Giovanni Sacchi show that the artisan often acted as co-author of a design, contributing formal and technical solutions that enriched initial drawings (Bettiol & Micelli, 2014). Sacchi, a modeller and craftsman, ran a workshop as a collective laboratory where designers and artisans collaborated intensively. Transforming a sketch into a prototype was an iterative, two-way process. The artisan was not a mere executor but a co-author providing material knowledge, scaling solutions, and formal proposals that enhanced the design. This practice, occurring in cluster contexts with intense tacit knowledge circulation, illustrates how artisanal know-how has historically been, and continues to be, a source of innovation when integrated with local production structures.

The Industrial Revolution transformed object production, marking the shift from hand tools to scientifically designed machines. Flusser (1999) argues that while hand tools adapted to human needs, machines impose a new paradigm in which technology defines production possibilities and limitations. This change reduced the artisan's autonomy, replaced by standardised industrial processes, and fundamentally altered the human relationship with objects, prompting reflection on the philosophical implications for design. Industrial design, once focused on efficiency and mass reproducibility, is increasingly understood as a cultural and ethical practice that mediates between technology, society, and meaning (Gal & Ventura, 2023). However, mass production

introduces tensions: standardisation, loss of diversity, and the risk of alienating users from the production process (Norman, 2023).

In contemporary contexts, the Master & Maker report (Grossi, 2015) documents hybrid profiles (“digital maestro artigiano”), which reinterpret the role of botteghe in the era of platforms and networked tourism, opening commercial channels for unique artefacts. These profiles combine manual skill, digital literacy, and the ability to operate networked platforms. They act as pivots between studio and micro-factory, possessing practical legitimacy and technical expertise to engage with digital processes and short production networks. Grossi (2015) also highlights the “Maker Movement,” which has been further explored by Von Platen & Kitani (2023) and Yan et al. (2025), introducing a new era of creation, and sharing ideas among citizens, designers, and artisans, combining manual know-how with digital fabrication. Simultaneously, makerspaces and fab labs, proposed by Elwakil et al. (2023), democratise access to technologies, accelerating prototyping and fostering communities that link formal and informal knowledge, enabling testing of intermediate processes and clarifying where automation is acceptable versus where human touch is indispensable.

Contemporary industrial processes face the dual need to be hybrid and to address current concerns. There is an urgency for alignment with environmental targets, requiring technological innovations, policy measures, and reconfigured value chains. Conscious design nurtures conscious consumers, and alongside these demands, opportunities arise to rethink the interaction between industrial scale and low-impact practices, such as those emerging from craftsmanship and the circular economy (Vezzoli & Manzini, 2008; Norman, 2023).

3. Practical instruments and hybrid profiles

Scaling from unique objects to replicable processes requires integrating technical, organisational, and market-based instruments. Each stage needs documentation, including validation criteria, testing protocols, material sheets, CAD drawings, and notes on variability, tolerances, and aesthetics (Elwakil et al., 2023). Frayling (1993) emphasised documenting research in art and design so studio-generated knowledge can be shared. A layered process – from prototype to local maker networks, micro-factories, pilot lines, and industrialization – reduces technical and financial risk and highlights where manual intervention and craftsmanship remain essential (Elwakil et al., 2023).

Norman (2023) emphasises that materiality and emotion are central to design, so industrialisation must consider experience as well as function. Hybrid manufacturing, combining digital or automated processes with manual finishing, for instance, preserves authorship while ensuring repeatability. These productions also encourage

experimentation and novel approaches by linking perception, embodied activity, and imaginative skill (Kimmel & Groth, 2024). Further ahead, this article presents instruments that integrate technical, organisational, and market tools to scale production, while preserving the identity and authorship of the original design.

3.1. Case studies

Bettiol & Micelli (2014) identify several brands with hybrid design approaches, such as Geox, Dainese, and Tecnica, which merge artisanal quality with industrial design to achieve global-scale production. This dialogue now extends to independent and experimental design practices.

At an industrial level, several major brands exemplify how hybrid production effectively combines automation and craftsmanship. Ferrari merges robotic precision with artisanal finishing in its vehicles, where machines ensure accuracy and artisans craft details such as engines and interiors. Louis Vuitton balances laser cutting and industrial sewing with manual assembly and finishing, preserving exclusivity and authenticity. Camper integrates 3D printing and automated manufacturing with traditional hand-stitching, maintaining its hallmark artisanal quality. In Portugal, Vista Alegre Atlantis blends automated systems with glassblowing and hand-finishing, showing how traditional expertise can coexist with advanced production technologies.

In Portugal, several contemporary designers also engage in hybrid practices that merge industrial precision with artisanal sensitivity. Through this dialogue, they challenge conventional production paradigms and reaffirm the material and cultural authenticity of design as a reflective practice. Pedro Almeida, for instance, explores this intersection in his footwear collections, combining digital fabrication and industrial cutting techniques with traditional shoemaking methods. His work demonstrates how technological precision can enhance, rather than replace, the expressive and ergonomic qualities of craftsmanship. Almeida's brand, grounded in the tradition of Portuguese shoemaking, exemplifies how industrial efficiency can coexist with artisanal value in contemporary fashion production (Portuguese Shoes, n.d.).

Vanessa Barragão's artworks expand this hybrid paradigm through an ecological perspective. By repurposing industrial textile waste and reworking it by hand using crochet, felting, and tufting techniques, Barragão transforms industrial residue into intricate, handcrafted installations. Her practice highlights the potential of artisanal processes to critique and regenerate the environmental impact of mass production (Specialty Fabrics Review, 2019). Although Helena Cardoso's work does not represent hybrid design in the strict sense of merging craft and industrial production, her practice embodies a form of conceptual hybridity. Through the combination of artisanal textile

techniques and contemporary design methodologies, she redefines traditional making as a reflective and experimental process. Collaborating with local artisans and rural communities, Cardoso transforms ancestral craft into a material and cultural dialogue, weaving narratives where “landscape” and “touch” merge through artisanal technique, chromatic sensitivity, and collective memory (Rocha & Sousa, 2019).

These examples show that hybridisation between artisanal and industrial production effectively combines quality, identity, and scalability. They reveal how technological precision can coexist with human craftsmanship, reinforcing hybrid design as a mediator between tradition and innovation and as a sustainable model aligned with contemporary market and cultural demands.

3.2. Practical recommendations

Developing a hybrid design approach requires avoiding the dominance of either artisanal or industrial logic. The goal is an ecology of practices where know-how and technology coexist, supported by infrastructures, education, documentation, and policy instruments that ensure complementarity between distinct fields.

Intermediary infrastructures such as fab labs and micro-factories mediate between the studio and industry. As noted by Elwakil et al. (2023), these spaces enable small-scale validation, reducing risk while connecting manual skill and digital precision. They democratise access to fabrication and recall the Renaissance *botteghe* as spaces of tacit knowledge (Bettiol & Micelli, 2014), now reinterpreted as nodes for sustainable and local production. Hybrid education should combine manual practice, critical reflection, and digital literacy. Papanek (1971) links craft to ethical judgement, while Pye (1978) values reflection in action as tacit knowledge. Manzini (2015) shows how design connects local know-how through collaboration, an approach aligned with Providência (2022), who emphasizes learning through hands-on experience to strengthen designers’ practical understanding.

Authorship protection and fair recognition are essential. Gal & Ventura (2023) emphasise that design operates within broader cultural and economic systems. Without clear contracts, industrial appropriation may occur. Mechanisms such as co-authorship and intellectual property agreements, royalties, and traceability systems (Vezzoli & Manzini, 2008) safeguard transparency, equity, and symbolic value.

Systematic documentation supports responsible knowledge transfer. Frayling (1993) stresses the need for practice-based research, while standardised templates and controlled repositories make artisanal knowledge reproducible without losing authorship. As Elwakil et al. (2023) argue, hybrid systems need diverse indicators such as knowledge transfer, waste reduction, and local resilience. Policy incentives

consolidate these ecosystems. Grants, tax benefits, and public procurement favouring circular and regional production strengthen territorial value and encourage sustainable collaboration.

In summary, the hybridisation of artisanal and industrial production should be understood as a field of complementarity. Hybrid design systems increasingly integrate sustainability practices, balancing technical efficiency with ethical and environmental considerations (Yan et al., 2025; Kofler & Walder, 2024). Hybridisation must be implemented through: (1) intermediary infrastructures (fab labs, micro-factories); (2) hybrid curricula with legal/IP modules; (3) standardized documentation and templates; (4) contractual mechanisms (royalties, co-authorship) and traceability systems; (5) policy incentives favouring short supply chains and circular metrics. In this way, design can act as a mediator between tradition and innovation, contributing to a fairer, more sustainable, and culturally enriched form of production (Vezzoli & Manzini, 2008).

4. Final considerations

This study argues that the dichotomy between craft and industry is more productive when reframed as complementarity. Hybrid design combines industrial efficiency with artisanal authenticity, addressing market demands while promoting sustainability and cultural identity. It represents a field where industrial processes coexist with manual practices, creating artefacts with symbolic and cultural value and responding to contemporary concerns about ethics, sustainability, and local knowledge.

Case studies show that combining technological precision with manual finishing is feasible and strategically advantageous, particularly in niches where provenance and production narrative add value. Preserving artisanal touch within industrial chains enables differentiated products that resonate culturally and meet the growing demand for exclusivity in global markets.

From a theoretical perspective, Marshall's (1997) concept of "industrial atmosphere" and the experience of Italian industrial districts (Bettioli & Micelli, 2014) highlight the importance of proximity, trust networks, and tacit knowledge circulation for incremental innovation. The "Maker Movement" (Von Platen & Kitani, 2023) updates this logic in the digital era, creating experimental spaces that democratise technology and connect designers, artisans, and citizens.

Practical recommendations to support hybridisation include hybrid education, systematic process documentation, intermediary infrastructures, and authorship protection mechanisms. These instruments balance artisanal and industrial

contributions while aligning design with ethical, social, and environmental values, supporting circular production models (Vezzoli & Manzini, 2008).

In essence, design mediates between tradition and innovation. By combining efficiency with uniqueness, it contributes to a material culture that transcends function, generating meaning, identity, and resilience. The future of design depends on its ability to turn tensions into productive dialogue, fostering fairer, sustainable, and culturally enriched practices.

Bibliographic References

Albino, C. (2017). *À procura de práticas sábias: Design e artesanato na significação dos territórios*.

Bettiol, M., & Micelli, S. (2014). *The hidden side of design: The relevance of artisanship*.

Elwakil, R., Schroder, I., & Steemers, K. (2023). Circular Maker Cities: Maker Space Typologies and Circular Urban Design. *Buildings*, 13(11).
<https://doi.org/10.3390/buildings13112894>

Flusser, V. (1999). *The shape of things*. Reaktion Books.

Frayling, C. (1993). Research in art and design. *Royal College of Art Research Papers*, 1(1).

Gal, M., & Ventura, J. (2024). *Introduction to Design Theory*. Taylor & Francis Group.

Grossi, F. (2015). *Master & maker: Artigianato e turismo nell'era del web*. GTC editrice.

Kimmel, M., & Groth, C. (2024). What affords being creative? Opportunities for novelty in light of perception, embodied activity, and imaginative skill. *Adaptive Behavior*, 32(3), 225–242. <https://doi.org/10.1177/10597123231179488>

Kofler, I., & Walder, M. (2024). Crafts and Their Social Imaginary: How Technological Development Shapes the Future of the Crafts Sector. *Social Sciences*, 13(3).
<https://doi.org/10.3390/socsci13030137>

Marshall, A. (1997). *Principles of economics*. Prometheus Books. Retrieved October 25, 2025, from <http://oll.libertyfund.org/title/1676>

Norman, D. (2023). *Design for a better world*. The MIT Press.

Papanek, V. (1971). *Design for the real world*. Bantam Books.

Portuguese Shoes. (n.d.). *Pedro Almeida Footwear*. Retrieved October 29, 2025, from <https://www.portugueseshoes.pt/en/portuguese-brands/pedro-almeida-footwear/>

Providência, F. (2022). Design e Artesanato 22 Verbos-22 Autores. *UA Editora Universidade de Aveiro*. <https://doi.org/10.48528/x8a3-sa80>

Pye, D. (1978). *The nature and art of workmanship*. Cambridge University Press.

Rocha, M. M., & Sousa, C. (2019). Helena Cardoso: impressões da paisagem e texturas entretecidas Helena Cardoso: landscape impressions and interwoven textures. *Revista Estúdio, Artistas Sobre Outras Obras*, 10(26), 104–114.
www.fiberarthangzhou.com:8080/html/en/

Specialty Fabrics Review. (2019). *A coral reef, upcycled*. Retrieved October 29, 2025, from <https://specialtyfabricsreview.com/2019/05/01/a-coral-reef-upcycled/>

Vezzoli, C., & Manzini, E. (2008). Design for environmental sustainability. In *Design for Environmental Sustainability* (1st ed.). Springer-Verlag London Limited.
<https://doi.org/10.1007/978-1-84800-163-3>

Von Platen, V., & Kitani, Y. (2023). A designer's understanding of the maker movement. *Proceedings of the Design Society*, 3, 101–110. <https://doi.org/10.1017/pds.2023.11>

Yan, Z., Dhaygude, M., & Peng, H. (2025). *Make Making Sustainable: Exploring Sustainability Practices, Challenges, and Opportunities in Making Activities*.
<https://doi.org/10.1145/3706598.3713665>

¹ Authors' translation. Original: "La differenza è che, al giorno d'oggi, le innovazioni tecnologiche offrono nuove possibilità: nuovi materiali, nuove tecniche di produzione, nuove forme di invenzione e nuovi mercati."

² Authors' translation. Original: "A palavra artesanato é muito recente e tem a sua origem na palavra francesa *artisanat*. Segundo Júlio Katinsky (2007), o termo *artisanat* surgiu pela primeira vez em 1920 para designar a actividade do artesão. A designação francesa de *artisanat* tem a sua origem na palavra italiana *artigiano*, do século XV. A palavra *artigiano* surge quando no Renascimento, em Florença, se estabelecem claramente as diferenças entre as competências atribuídas às pessoas que decidiam as grandes obras de arte e aquelas que eram atribuídas aos executantes dessas mesmas obras de arte."

³ Described by Bettiol & Micelli, in *The hidden side of design: The relevance of artisanship*. (2014), they are, translated, Italian workshops.

SEDE ADMINISTRATIVA

FACULDADE DE **BELAS ARTES**

FACULDADE DE **ENGENHARIA**

