



Projeto DesAIR, seus objetivos e principais resultados

30 Julho 2015



Índice

Índice	2
1 Identificação do Consórcio	3
2 O Projecto	7
2.1 Motivações	7
2.2 Objetivos e Estrutura	8
3 Descrição dos Trabalhos Desenvolvidos	9
3.1 WP1 Estudos Preliminares	9
3.2 WP2 Especificações Técnicas	18
3.3 WP3 Aquisição e desenvolvimento de novos conhecimentos	23
3.4 WP4 Desenvolvimento	37
3.5 WP5 Construção Protótipo	59
3.6 WP6 Testes e Ensaios	68

1 Identificação do Consórcio

O consórcio do projeto DesAIR compõe-se das seguintes empresas:

- Amorim Cork Composites (ACC)
- Almadesign (AD)
- Instituto De Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial (INEGI)
- Universidade da Beira Interior (UBI)

As principais competências de cada um dos membros no consórcio deram um importante contributo para o sucesso global do projeto DesAIR, sendo esse contributo transmitido através dos envolvidos na equipa de trabalho. Assim, e de uma forma sucinta, elencam-se as principais competências:

Amorim Cork Composites (ACC)

A CORTICEIRA AMORIM SGPS, S.A. é a maior empresa mundial de produtos de cortiça e uma das mais internacionais de todas as empresas portuguesas, com operações em dezenas de países, de todos os continentes. Há mais de um século que está presente neste sector de atividade, tendo contribuído decisivamente para a divulgação mundial da cortiça. Atualmente, as aplicações de cortiça incluem não apenas produtos tradicionais de alto valor acrescentado, como é o caso da rolha, mas também produtos que incorporam avançada tecnologia de fabrico e elevados padrões de I&D. Desta forma, a CORTICEIRA AMORIM disponibiliza um vasto portfólio de produtos de elevada qualidade, para incorporação em indústrias tão diversificadas e exigentes como a indústria aeronáutica, de construção ou a vinícola.

A Amorim Cork Composites é uma empresa de renome internacional no sector da cortiça, que pertence à Corticeira Amorim e que tem como principal atividade a granulação de cortiça e a sua transformação em blocos, rolos e folhas para aplicação em segmentos como calçado, aeroespacial, aeronáutica e compósitos. Atualmente, a Amorim Cork Composites (ACC) concentra a sua atividade em:

- Produção de granulados de cortiça;
- Produção de semi-acabados (placas e rolos) em aglomerados de cortiça, de cortiça com borracha e vulcanizados de borracha com cortiça (Corkrubber);
- Produtos acabados de cortiça aglomerada e produtos acabados de cortiça com borracha, tendo-se tornado líder mundial neste sector.

O profundo conhecimento desta matéria-prima, a cortiça, viria a mostrar-se crucial uma vez que a capacidade de seleção de materiais de entre o seu vasto portefólio, a caracterização e a adaptação desses materiais aos contextos nos quais viriam a ser utilizados, foi um dos pontos-chave que garantiu que este consórcio chegaria a soluções para os objetivos delineados para o projeto.

Almadesign (AD)

A Almadesign é uma empresa portuguesa de design que presta serviços de projeto e consultoria na área de design de produto e transportes. A empresa tem competências ao nível da conceção de produtos,

apresentando um vasto conhecimento nas áreas de engenharia, arquitectura e design pelo que a sua participação na conceção do protótipo foi essencial.

O trabalho da Almadesign está presente em produtos tão diferentes como no autocarro da seleção nacional e do Euro 2004, nos novos autocarros de aeroporto COBUS em todo o mundo, nas linhas de móveis da Animovel, à venda em Paris, na família de máquinas da Adira, no equipamento das lojas da Sony ou no design de equipamento de espetáculos como o Acqua Matrix.

Tendo como atividade principal o design de transportes, a Almadesign já conquistou o Prémio Nacional de Design atribuído pelo Centro Português de Design (CPD), com o apoio da Presidência da República Portuguesa, respetivamente, em 1999 pela Carroçaria Enigma para a Salvador Caetano, em 2009, pela carroçaria COBUS para a CAETANOBUS, e em 2009, na categoria Empresa, pelas suas boas práticas de Gestão do Design. A empresa foi também distinguida com o Good Design Award do Atheneum Museum de Chicago, pela Carroçaria Ótimo Seven para a Toyota Caetano S.A., e ainda, no mesmo ano, distinguida pelo prémio Design Management Europe (DME Awards). Foi premiada com o prémio Green Good Design, pelo projeto Cybercar Move, pela inovação ecológica em design. Alguns membros da Almadesign foram também premiados no Concurso Internacional REBUS promovido pela Associação Internacional de Transportes Públicos (UITP), em 2005, com o veículo “Rethink”. Há mais de 10 anos que a Almadesign tem demonstrado uma larga experiência no desenvolvimento, de forma integrada, de projetos de design interior e exterior para veículos de transporte náuticos, rodoviários, ferroviários e aeronáuticos.

Para além da prestação de serviços de projeto na área do design, a missão da Almadesign é também apoiar as instituições a usar e gerir eficazmente o Design. Assim, paralelamente ao projeto, a empresa presta serviços de gestão, investigação, consultoria e formação em diferentes vertentes do Design, colaborando com empresas como a SALVADOR CAETANO, CAETANOBUS, MAZDA MOTORS PORTUGAL e MAZDA EUROPE, EVOBUS, EMEF (CP), RIAMAR, FUTI, LISTRAL, RIATLANTE, ADIRA, ANIMOVEL, CRITICAL SOFTWARE, VODAFONE, SONY, SIBS, TAPE, GAIN, IPE, PROFITUS, SCHRÉDER, I.C.N., STEELSEPT, MCDONALD’S, L’OREAL, NESTLÉ, REVIGRÉS, CADERNO VERDE, etc., ou colaborando e formando em instituições como o CPD, o Instituto Superior Técnico, o Instituto para o Desenvolvimento da Engenharia Mecânica, a Universidade Independente, a Escola Universitária das Artes de Coimbra, a Faculdade de Arquitetura da Universidade Técnica de Lisboa, a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, o Centro de Excelência para a Engenharia Automóvel, a Força Aérea Portuguesa, o Instituto Nacional da Propriedade Industrial, a INTELI – Inteligência para a Inovação, a Escola Politécnica de Design de Milão, o Centro Tecnológico da Indústria dos Moldes, Ferramentas Especiais e Plásticos, e o Centro Tecnológico das Indústrias Têxtil e do Vestuário, entre outros.

A Almadesign é fundadora e membro do Conselho de Administração da Associação PEMAS: Pequenas e Médias Empresas para a Indústria Aeronáutica. É também membro da Associação PRIA – Portuguese

Railway Industry Association. Com o objectivo de fornecer regularmente soluções para interior e exterior de veículos de transporte e para alavancar a sua posição na cadeia de valor, a empresa identifica na integração de interiores para a indústria ferroviária uma nova oportunidade de negócio, apresentando aos integradores finais uma solução mais a jusante, aproveitando as novas sinergias propostas. As actividades de I&DT são encaradas pela Almadesign como uma oportunidade de melhorar as soluções que apresenta ao mercado através do desenvolvimento de novas funcionalidades e mecanismos. Por este motivo, a empresa aposta, desde a sua criação, neste tipo de actividades, reconhecendo cada vez mais a importância estratégica das mesmas para o seu crescimento e sustentabilidade. A empresa possui o seu próprio Núcleo de Investigação – Alma NITEC.

Instituto De Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial (INEGI)

O INEGI – Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial é um Instituto de novas tecnologias vocacionado para a realização de atividade investigação, inovação de base tecnológica e transferência de tecnologia. Nasceu em 1986 por iniciativa do Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), com a qual mantém ainda hoje uma relação privilegiada. É uma associação privada sem fins lucrativos com o estatuto de Utilidade Pública. Nos termos dos seus estatutos o INEGI tem por objeto a atividade de investigação científica e desenvolvimento, tanto de carácter fundamental como de âmbito mais aplicado, valorização económica dos seus resultados, prestação de serviços no campo da inovação tecnológica e a colaboração, neste âmbito, com instituições do sistema científico nacional e europeu, visando o desenvolvimento da indústria, em particular, e da economia em geral. Para a consecução do seu objetivo constituem atribuições principais do INEGI:

- A Geração, aprofundamento e aplicação do conhecimento científico na área da engenharia mecânica e da engenharia industrial promovendo a investigação científica de acordo com as referências internacionais de excelência;
- A investigação destinada a responder às solicitações das empresas, nacionais ou estrangeiras, no campo da inovação e da transferência de tecnologia;
- O apoio científico e técnico às empresas, assistindo-as na orientação e execução da investigação e desenvolvimento;
- O lançamento de projetos de investigação;
- O apoio no desenvolvimento de trabalhos de investigação no âmbito de trabalhos de pós-graduação;
- O desenvolvimento de protótipos decorrentes da investigação desenvolvida;
- A publicação dos resultados da investigação a que se dedique;
- O apoio na implementação de medidas que permitam às empresas instalarem práticas de investigação consubstanciadas no trabalho de pessoal altamente qualificado, nomeadamente titulares do grau de doutor;
- O apoio na montagem de laboratórios e oficinas;
- A realização de cursos de formação para quadros técnicos e gestores empresariais;

- A permuta de informações Técnicas e Científicas com outras instituições afins;
- A promoção de iniciativas visando o debate científico e conclusivo sobre experiências e inovações desenvolvidas e introduzidas no campo da investigação científica, organizando, promovendo e apoiando a realização de colóquios, seminários, conferências, grupos de estudo ou quaisquer outras formas de trabalho coletivo;
- A participação ativa nas dinâmicas de promoção da Inovação no âmbito dos sistemas Nacionais e Europeus de Investigação Científica, Inovação e Transferência de Tecnologia;
- A promoção da valorização económica do conhecimento apoiando a criação e desenvolvimento de empresas de base tecnológica.

Dada a natureza do projeto DESAIR o INEGI disponibilizou os recursos humanos, equipamentos e laboratórios essencialmente ligados à sua Unidade de Materiais Compósitos. De uma forma geral o INEGI foi responsável pelo projeto de moldes e processos de produção dos diversos componentes, pelo desenvolvimento de material sandwich em compósito com núcleos de cortiça, pela construção, integração e acabamento do protótipo e pela execução de testes e ensaios ao produto desenvolvido e aos processos de fabrico.

Universidade da Beira Interior (UBI)

A Universidade da Beira Interior (UBI) é uma instituição de ensino superior pública estruturada em cinco faculdades, unidades de investigação, centros e serviços, tendo como principais objetivos o desenvolvimento de atividades de ensino, investigação e serviço à comunidade. O Departamento de Ciências Aeroespaciais da Universidade da Beira Interior (DCA/UBI) tem larga experiência no desenvolvimento e caracterização de materiais aeroespaciais decorrente de um número significativo de projetos de I&D já desenvolvidos (ou em curso) orientados para a procura constante de novos materiais que, devido às suas características de elevada resistência específica e tolerância ao dano, são especialmente adaptados para utilizações aeroespaciais. Neste contexto, uma grande parte das investigações feitas neste domínio visam a caracterização das propriedades físicas e comportamento mecânico de materiais de elevado desempenho, em particular compósitos de matriz polimérica e ligas metálicas especiais (particularmente para aplicações a alta temperatura).

De modo a atender aos desígnios traçados pelos fabricantes e agentes reguladores do sector da aviação civil relativamente ao desenvolvimento de novas tecnologias conducentes à redução do impacto ambiental associado a este modo de transporte, o DCA/UBI tem recentemente canalizado um esforço significativo das suas ações de I&DT para o desenvolvimento de materiais sustentáveis e recicláveis, com potencial de aplicação no sector aeroespacial (designadamente ao nível de compósitos à base de cortiça com desempenho otimizado).

Todos os membros da equipa do DCA/UBI possuem competências avançadas ao nível da execução de tarefas em ambiente laboratorial (realização de ensaios de materiais, estruturas e componentes) e em ambiente computacional (desenvolvimento de modelos numéricos com recurso a códigos de FEM/FEA e

CFD, de âmbito comercial ou de desenvolvimento próprio). Por sua vez, alguns destes membros têm dedicado uma parcela significativa dos seus trabalhos de I&DT especificamente no desenvolvimento e caracterização de compósitos à base de cortiça para aplicações aeroespaciais (e outros modos de transporte), pelo que a sua experiência prévia neste domínio foi determinante para a prossecução dos objetivos do projeto DesAIR. Paralelamente, a participação dos membros da equipa em atividades que envolvem o projeto de aeronaves e sistemas associados (designadamente na área dos UAVs) permite-lhes ter um conhecimento profundo ao nível dos componentes de aeroestruturas e sistemas integrados, com uma visão multidisciplinar e de competência alargada necessárias para a conceção e avaliação de novas soluções tecnológicas para aplicação no contexto da indústria aeroespacial.

2 O Projecto

2.1 Motivações

O projeto DesAIR surgiu com o intuito de contribuir para a aquisição e expansão das competências internas dos promotores do projeto no sector aeronáutico, pretendendo-se que através da criação de um conjunto de soluções de valor acrescentado, totalmente distintas das comercializadas atualmente, fosse possível contribuir para o desenvolvimento do sector aeronáutico nacional e internacional.

Este projeto surgiu também da vontade dos consorciados em expandirem as suas competências e capacidades no que concerne a componentes estruturais compósitos, mais precisamente, em painéis sandwich compósitos, os quais pelas sua natureza e relevância encontram cada vez mais um leque alargado de aplicações.

Adicionalmente pretendeu-se fazer uso de um material natural e amigo do ambiente – a cortiça – como núcleo de painéis compósitos que se figurassem como sendo soluções que mantenham ou superem as características dos sistemas correntemente em uso na aeronáutica comercial e particular considerando como principais impulsionadores os seguintes tópicos:

- A necessidade da diminuição de consumos de combustível e a consequente diminuição da emissão de poluentes conseguidos através da redução de peso dos componentes;
- O aumento do conforto acústico e térmico no interior da aeronave;
- A produção mais eficiente, mais limpa, mais simples, e mais amiga do ambiente, ao longo de toda a cadeia do produto, desde o seu fabrico até ao fim da sua vida útil;
- A introdução de um produto Português de elevado valor tecnológico que figura como sendo uma solução eco-friendly.

A exploração deste material em aplicações muito mais exigentes quer do ponto de vista estrutural quer de segurança abre uma nova oportunidade para a valorização de um material tão importante para a indústria nacional como é o caso da cortiça.

2.2 Objetivos e Estrutura

O projeto DesAIR teve como principal objetivo o de explorar a aplicação e utilização de um material natural, reciclável e renovável, como o é a cortiça, em componentes para aeronaves privadas e comerciais. Assim este projeto visou desenvolver soluções compósitas integrando diferentes materiais que respondam aos requisitos da indústria aeronáutica e que, em simultâneo, sejam sustentáveis, devendo essas soluções ser competitivas com as soluções atualmente utilizadas e antecipar futuros desenvolvimentos do estado da arte.

Para tal o projeto foi estruturado contemplando diversas fases consecutivas que se iniciaram com um necessário processo de estudos preliminares o que possibilitou a definição das especificações técnicas a alcançar e consequentemente, através do deficitário entre estes, a aquisição de novos conhecimentos e para um adequado desenvolvimento de soluções fiáveis e inovadoras. Na sequência dessas fases tornou-se então possível proceder à construção do demonstrador do projeto, protótipo, e à indispensável realização da fase de testes e ensaios que, pela sua natureza, possibilitam a validação dos desenvolvimentos alcançados e como tal a medição do grau de sucesso do consórcio.

3 Descrição dos Trabalhos Desenvolvidos

3.1WP1 Estudos Preliminares

A atividade de Estudos Preliminares teve como objetivo a execução de um levantamento inicial sobre os materiais, produtos e sistemas atualmente em uso no mercado aeronáutico que tinham pertinência para o desenvolvimento do projeto Desair. Pretendeu-se então analisar o mercado quanto aos detalhes característicos dos materiais e soluções existentes bem como a identificação de fabricantes / fornecedores nesse âmbito, tendo o cuidado de, do ponto de vista das características desses materiais, identificar os requisitos normativos tipicamente aplicáveis.

3.1.1 Tarefa 1 - Estudo detalhado dos materiais atualmente usados

Esta tarefa teve como principal objetivo dar a conhecer ao consórcio os materiais atualmente utilizados na indústria aeronáutica com pertinência para os desenvolvimentos que se pretendiam perseguir. Nesse sentido foi possível identificar os principais constituintes em duas vertentes: Painéis Laterais e Painéis Estruturais.

3.1.1.1 Painéis Laterais

Neste âmbito procedeu-se ao estudo das atuais soluções para o isolamento térmico e acústico da fuselagem de aeronaves e considerou-se primeiramente ser vantajoso conhecer, de forma generalista, a composição típica de uma fuselagem de uma aeronave, tendo-se chegado à conclusão que a grande maioria das soluções atuais consiste na utilização do alumínio, pela sua óbvia vantagem em termos de peso relativamente a outros metais mas não obstante o facto de a aplicação de materiais compósitos nestas estruturas estar em franco desenvolvimento. Desta forma identificou-se que, também de forma mais ou menos globalizada, se trata de uma estrutura “cilíndrica” de perfis de alumínio, que confere a rigidez mecânica necessária à aeronave, revestida por chapas de alumínio de espessuras reduzidas sendo as ligações rebitadas a escolha mais abundante para a execução da interligação mecânica entre estes componentes.

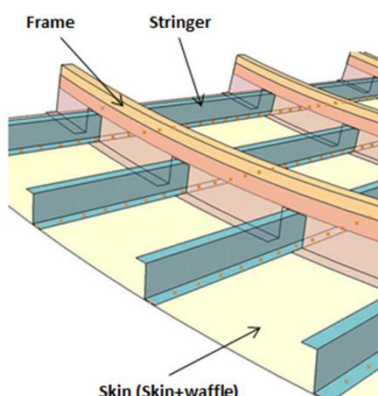


Figura 1 - Detalhes construtivos de uma fuselagem.



Figura 2: Exemplos de estruturas de fuselagens.

Foi também possível identificar que em aeronaves comerciais o tratamento térmico e acústico destas fuselagens consiste na aplicação sobreposta de várias camadas de materiais: Constrained Layer Damping; Blankets; Felts. Estas camadas são inseridas no espaço existente entre os painéis e perfis de alumínio que compõem a fuselagem e o painel lateral interior decorativo.



Figura 3: Exemplos de materiais para Constrained layer damping, Blankets, e Felts.

Constrained Layer Damping

Concluiu-se que esta é a primeira camada (consistindo num material viscoelástico depositado sobre uma folha de alumínio ou de fibra de carbono) a ser aplicada, e que a sua aplicação é feita diretamente sobre os painéis exteriores da fuselagem, sendo a fixação garantida por um adesivo pré-aplicado. A sua utilização tem como principal objetivo a atenuação de vibrações (e consequentemente ruído) devidas à turbulência causada pelo deslocamento rápido da aeronave no ar.

Não só pela sua função mas também pelo facto de estarem em contacto direto com a fuselagem da aeronave, são normalmente materiais especializados, uma vez que estarão submetidos a um número abundante de ciclos térmicos e têm de reter as suas características de isolamento de forma satisfatória numa gama de temperaturas entre os -60°C e os $+20^{\circ}\text{C}$ (temperaturas de funcionamento pouco usuais para elastómeros). Estes materiais encontram-se no mercado sob a forma de folhas e fitas (em rolo), sendo que é bastante comum o fornecimento deste material em “kit”, isto é, fornecidos num conjunto de formas e quantidades pré-definidas para a instalação num modelo particular de aeronave.

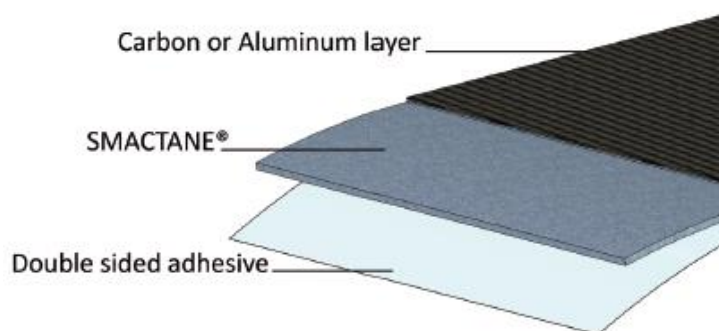


Figura 4: Constituição típica de um material de Constrained layer damping.

Blankets

São a segunda camada a ser aplicada, diretamente por cima da camada de material de amortecimento de vibrações descrita acima, tendo esta por sua vez dois objetivos principais – o isolamento acústico e o isolamento térmico. A fixação destas camadas é garantida por um encaixe justo (o peso deste elementos é bastante reduzido) entre os perfis que constituem a estrutura da fuselagem pelo que não se recorre a métodos avançados de fixação, uma vez que se garante que estes elementos se mantêm em posição aquando da montagem dos painéis laterais decorativos que restringem qualquer possibilidade de movimento.

As propriedades térmicas e acústicas são garantidas pelo material em que são fabricados (fibra de vidro e/ou conjuntos de fibra de vidro + espumas) sendo que outras propriedades como a forma e a resistência à humidade são garantidas através do revestimento destes materiais por um filme impermeável. A questão da resistência à humidade destes elementos mostrou-se uma forte preocupação dos fabricantes e exploradores de aeronaves uma vez que já foi vastamente relatado o facto de estes elementos absorverem a humidade ambiente reduzindo diretamente as suas propriedades térmicas e acústicas mas também gerando problemas com fungos.

À semelhança dos materiais para Constrained Layer Damping, também estes podem ser fornecidos aos fabricantes de aeronaves em “kit” facilitando a montagem e diminuindo tempos e custos. Por oposição, para o mercado de Maintenance e Refurbishment, podem ser adquiridos em rolos ou placas, cortados à dimensão e selados de forma impermeável através de uma fita adesiva fornecida para o efeito.



Figura 5: Exemplo de Blanket.



Figura 6: Aeronave antes e após aplicação de Blankets.

Felts

São a última camada a aplicar antes da instalação do painel lateral decorativo, servindo um propósito de condicionamento térmico e acústico mas também, e esta figura como uma das principais razões para a instalação desta camada, de eliminação (ou redução) dos ruídos provocados por contacto entre elementos, isto é, os “rubbing noises”. A instalação desta camada prevê a aplicação do material sobre toda a superfície lateral da aeronave, sendo também abundantemente utilizado na estrutura de suporte do piso (entre esta e o painel de piso). Neste último cenário o material é apenas depositado sobre o chão embora aquando da aplicação vertical possa ser fixado por fitas adesivas, velcro, e/ou por agrafos. É comum estes “blankets” serem fornecidos em rolo e cortados no local. Isto poderá não acontecer para aeronaves de grande porte onde algumas partes poderão ser fornecidas previamente cortadas à medida.

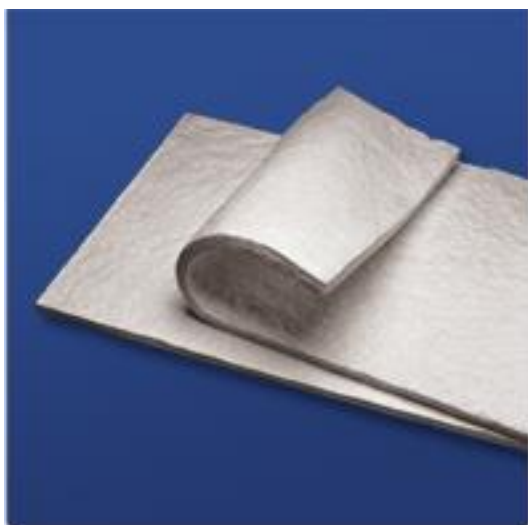


Figura 7: Exemplo de feltro e sua aplicação.

3.1.1.2 Painéis Estruturais

Concluiu-se que os painéis com funções estruturais (embora possam também ter as vertentes decorativas e funcionais) são abundantes no interior das aeronaves comerciais modernas, sendo a sua utilização deveras ampla, cobrindo utilizações como divisórias entre classes, compartimentos de bagagem, mobiliário, painéis de piso, e outras funções estruturais. Alguns exemplos concretos de aplicação: Monumentos; Divisórias; Painéis laterais; Tectos; Piso; Galleys; Bancos.

De uma forma geral foi possível identificar os materiais utilizados para o fabrico destes painéis como sendo os seguintes:

Peles: Fibras de vidro unidireccionais ou bidireccionais; Carbono / Kevlar; Alumínio; Plywood.

Núcleos: Nomex Honeycomb; Aluminum Honeycomb; Espumas PVC / PET.

Resinas: Fenólica (Predomina devido às boas características FST); Epóxi (Com aditivos para melhor comportamento FST).

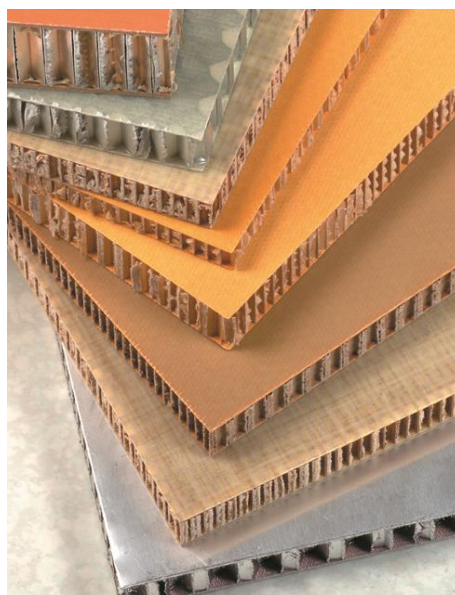


Figura 8: Exemplos de painéis.

Quando o core é um honeycomb, quer seja de alumínio quer seja de Nomex, o processo de fabrico destes tipo de painéis recorre quase sempre ao uso de Prepregs (pré impregnados). Nos casos em que isso não acontece estamos perante um caso em que as peles são em alumínio ou de plywood, e nesse caso é tipicamente utilizada uma camada adesiva de base epóxi ou termoplástica. Estes prepegs podem ser no entanto, e consoante a aplicação à qual o painel se destina, de vários materiais que vão desde a típica fibra de vidro até às fibras de carbono. Conforme é esperado, pelas suas propriedades FST, estes prepegs são normalmente de impregnação com resinas fenólicas.

A tecnologia de fabrico destes painéis é definida, em geral, pela aplicação que os mesmos vão ter. Com a execução desta tarefa foi possível concluir quanto a alguns casos específicos:

- **Pisos zona de passageiros:**
 - Prepeg de fibra de vidro e resina fenólica + honeycomb de nomex

- **Pisos zona de carga:**
 - Prepeg de fibra de vidro e resina epóxi + honeycomb de nomex
 - Prepeg de fibra de vidro e resina fenólica + honeycomb de nomex
- **Painéis laterais:**
 - Prepeg de fibra de vidro + honeycomb de alumínio
- **Painéis estruturais diversos:**
 - Peles de alumínio + honeycomb de alumínio
- **Casas de banho / painéis de separação / mobiliário:**
 - Prepeg de fibra de vidro e resina fenólica + honeycomb de nomex

Há no entanto que referir que estas configurações aparentam não ser exclusivas de cada aplicação pelo que advêm de um compromisso entre as características mecânicas, térmicas / acústicas, e de reação ao fogo impostas por cada uma dessas aplicações e zonas do avião onde serão aplicadas.

3.1.2 Tarefa 2 - Estudo normativo e regulamentações aplicáveis

Esta tarefa teve como principal objetivo fazer um levantamento de todas as regulamentações aplicáveis a estruturas tipicamente sandwich (incluindo núcleos em honeycomb), no que respeita essencialmente à definição de ensaios e requisitos exigidos aos componentes, não só do ponto de vista mecânico, assim como também a nível térmico, acústico, entre outros. Por sua vez, pretendeu-se dar a conhecer ao consórcio alguns dos principais sistemas de isolamento atualmente empregues na indústria aeronáutica, tendo sido em simultâneo reunida vária informação relativa às propriedades (físicas, térmicas e acústicas) de diversos materiais comumente adotados para esses mesmos sistemas. O desenvolvimento desta atividade foi conduzida por parte da UBI.

O estudo das regulamentações aplicáveis à solução estrutural que se pretendeu desenvolver com este projeto, centralizou-se sobretudo num vasto conjunto de normas técnicas desenvolvidas e publicadas pela ASTM (American Society for Testing and Materials). Porém, outras normas pertencentes a outros organismos, entre os quais por exemplo a FAA (Federal Aviation Administration) Part 25 (Aeronaves na categoria de transporte) e a EASA (European Aviation Safety Agency) foram também abordadas.

3.1.2.1 Regulamentações a nível Mecânico

Neste âmbito foi analisado um vasto conjunto de regulamentações da autoria da ASTM, no que respeita essencialmente a materiais compósitos, mais especificamente em construções do tipo sandwich. Estas por sua vez servem como ferramentas de avaliação e determinação do comportamento físico (mecânico) destes componentes quando submetidos a esforços de corte, tração, compressão, flexão, fadiga e fluência. Outros aspetos tais como por exemplo tolerância ao dano, estabilidade dimensional do núcleo, assim como absorção de água foram também incluídos. Deste modo, de acordo com as normas analisadas, destacam-se por exemplo a ASTM-C273 (Standard Test Method for Shear Properties of

Sandwich Core Materials), a ASTM-C297 (Standard Test Method for Flatwise Tensile Strength of Sandwich Constructions), a ASTM-C365 (Standard Test Method for Flatwise Compressive Properties of Sandwich Cores), a ASTM-C393 (Standard Test Method for Flexural Properties of Sandwich Constructions) e a ASTM-C394 (Standard Test Method for Shear Fatigue of Sandwich Core Materials) como sendo algumas das mais relevantes.



Figura 9: Ensaio de caracterização mecânica à flexão em 3 pontos.

3.1.2.2 Regulamentações a nível Térmico

Relativamente à regulamentação a nível térmico, neste caso é referido um conjunto de normas publicadas não só por intermédio da ASTM, mas também por outras entidades tais como a FAA, EASA e Boeing, no que respeita essencialmente às questões do isolamento térmico, flamabilidade e produção de fumos (toxicidade). De forma geral, estas permitem dar a conhecer os principais métodos utilizados para reduzir a taxa de transferência de calor sendo para tal necessário avaliar as capacidades condutivas, convectivas e radiativas dos materiais em consideração (fibra de vidro, peles, espumas, revestimentos e cobertores). Entre as normas ASTM, destacam-se algumas tais como por exemplo a ASTM-C612 (Standard Specification for Mineral Fiber Block and Board Thermal Insulation), a ASTM-C800 (Standard Specification for Glass Fiber Blanket Insulation) e a ASTM-E906 (Standard Test Method for Heat and Visible Smoke Release Rates for Materials and Products Using a Thermopile Method). Ainda no que concerne o tópico da flamabilidade (proteção contra o fogo) é enunciada a FAR 25.853 (Compartment Interiors) bem como os requisitos exigidos durante os ensaios, nomeadamente ao nível da propagação da chama em materiais de isolamento (FAR 25.856 a) assim como ao nível da penetração da chama (FAR 25.856 b) aplicada principalmente ao conteúdo das “Insulation Blankets”. Por último, relativamente à geração de fumos (toxicidade), são referenciadas duas normas (testes de fumo) levadas a cabo pela construtora Boeing, a saber, a BSS 7238 (Teste de geração de fumo de Materiais em Combustão) e a BSS 7239 (Teste de geração de gases tóxicos de Materiais em Combustão).



Figura 10: Teste de flamabilidade realizado num material de isolamento utilizado em aeronaves comerciais.

3.1.2.3 Regulamentações a nível Acústico

No que respeita o enquadramento normativo de tais componentes a nível acústico, não só em termos de capacidade de isolamento sonoro, mas também em termos de supressão vibrática, foram inicialmente assinaladas duas normas ASTM consideradas como podendo ser potencialmente relevantes para o projeto, a destacar a ASTM-E90 (Standard Test Method for Laboratory Measurement of Airborne Sound Transmission Loss of Building Partitions and Elements) e a ASTM E-756 (Standard Test Method for Measuring Vibration-Damping Properties of Materials).

3.1.3 Tarefa 3 - Tendências e evolução do mercado aeronáutico

Para a Tarefa 3 - Tendências e evolução do mercado aeronáutico – a AD iniciou a sua pesquisa recolhendo, analisando e enumerando as tipologias de componentes integrantes do interior de uma aeronave no sentido de identificar oportunidades para o desenvolvimento de um demonstrador do projeto. Foram identificados painéis de teto, painéis laterais, bagageiras, piso, armários, monumentos, módulos WC, galleys, divisórias e carrinhos de refeição. Para além da identificação da tipologia de componentes foram identificados os fabricantes e principais integradores internacionais, cuja atividade é transversal à montagem de todos os componentes.

Os materiais foram também tema desta pesquisa de tendências, tendo sido identificadas as diversas tipologias de painéis “sandwich”, habitualmente usados nos interiores aeronáuticos, pelas capacidades de isolamento térmico, acústico e anti-vibráticos e cuja leveza é uma das principais vantagens. Alguns materiais naturais e suas combinações foram também identificados como possíveis aplicações futuras, embora não tenham sido identificadas aplicações atuais no sector aeronáutico. Alguns têxteis, nomeadamente os tecidos tridimensionais foram identificados pelas suas características diferenciadoras de isolamento térmico e acústico e peso reduzido.

Por outro lado foram identificadas tendências mais genéricas e transversais no sector aeronáutico como a tendência crescente de acesso a informação (a qualquer hora e em qualquer lugar) que é um fator que tem vindo a crescer e que condiciona o design interior das aeronaves. Como exemplos podem ser referidos

os displays interativos com tendência para se tornarem finos, transparentes e praticamente invisíveis. No interior de uma aeronave, quer na aviação executiva ou comercial, os sistemas de IFE (in flight entertainment) têm ganho uma enorme importância como parte do serviço prestado aos utilizadores finais, prevendo-se uma tendência para a criação de superfícies interativas e para a utilização de materiais inteligentes. Por outro lado, estes materiais permitem igualmente uma monitorização do estado da aeronave, podendo vir a permitir uma maior economia de recursos de manutenção e reparação.

Foram identificadas macro-tendências na área da sustentabilidade e suas implicações económicas para o sector aeronáutico, nomeadamente o aumento do preço dos combustíveis e escassez de recursos, tendências que se reflete na necessidade de redução do peso e consequente redução de consumo de combustível e emissões de CO₂. Por outro lado a utilização de materiais naturais e recicláveis e o Design para o desmantelamento são também tendências atuais que permitirão no futuro um menor impacto ambiental decorrente da maior facilidade de desmantelamento e reciclagem de materiais. Em resumo, na área das tecnologias e materiais verifica-se uma tendência para a integração de materiais mais leves e “cost-effective”, a procura de integração de materiais naturais, a utilização de metodologias de Design para a desassemblagem e reciclagem e, finalmente a utilização de materiais com qualidades adicionais às suas propriedades mecânicas, os chamados “Smart materials”.

Na área da operação, ao nível do passageiro e serviços associados, identificaram-se os interiores focados na “experiência de viagem”, na disponibilização de mais espaço de bagagem na cabine, na comunicação da Marca (companhia aérea) e na disponibilização de novos serviços IFE. Por outro lado há uma constante procura de redução de custos de operação, de utilização de materiais mais resistentes, da facilidade de manutenção e substituição de peças com a consequente diminuição dos turn-around times. O deliverable desta fase consiste num documento com a recolha da informação e principais conclusões: (Apresentação: ‘DesAIR_WP1_T3 – Tendências e evolução do mercado aeronautico_2012-12-12.ppt’).



Figura 11: Slides exemplo da apresentação: ‘DesAIR_WP1_T3 – Tendências e evolução do mercado aeronautico_2012-12-12.ppt’.

3.2WP2 Especificações Técnicas

Esta atividade apareceu no seguimento do levantamento dos materiais atualmente em uso e do seu enquadramento normativo. O objetivo foi chegar a uma especificação, do ponto de vista técnico, dos requisitos gerais a cumprir durante o projeto, bem como a definição dos testes e ensaios que comprovariam esses requisitos. As tarefas que se inserem nesta atividade permitiram ao consórcio a clarificação do rumo a tomar e da dimensão global dos desafios a desenvolver.

3.2.1 Tarefa 1 - Definição de requisitos gerais

A tarefa WP1-T2 permitiu a recolha de informação ao nível das normas técnicas mais importantes para a caracterização de componentes com tipologia sandwich para utilização em interiores de aeronaves comerciais. Com base nesta informação, foi possível estabelecer uma base de conhecimento adequada à definição do plano de ensaios previsto nas etapas subsequentes do projeto, o qual visou caracterizar qualitativa e quantitativamente as soluções a desenvolver, tanto ao nível de provetes para obtenção de dados de caracterização das diferentes propriedades físicas e mecânicas, assim como numa perspetiva de avaliação do desempenho global do componente final a desenvolver necessária à sua posterior certificação e integração numa estrutura de uma aeronave real.

Complementarmente à pesquisa de literatura técnica, no âmbito da presente tarefa estabeleceu-se contacto a EMBRAER tendo em vista a obtenção da perspetiva de um OEM relativamente à especificação dos aspetos mais pertinentes para a definição do plano de ensaios. A EMBRAER nesta fase sugeriu um conjunto de ensaios relevantes para as soluções a desenvolver e algumas normas orientadoras dos mesmos atendendo mais especificamente à possibilidade da sua integração em aeronaves sob a forma de painéis laterais de revestimento do interior da cabine. Dentre as características funcionais elencadas para este tipo de componente, foi sobretudo destacada a necessidade de se proceder a um conjunto de ensaios de caracterização das propriedades acústicas/vibráticas, seguindo as metodologias adotadas pela indústria no âmbito do desenvolvimento de componentes análogos, dos quais se evidenciam:

- Ensaio de medição das características de amortecimento da estrutura através do método PIM (Power Injection Method), o qual permite a determinação do “loss factor” em função da frequência de excitação;
- Ensaio de “Sound Absorption”: norma ASTM C-423;
- Ensaio de “Transmission loss”: norma ASTM E90;
- Ensaio de “Insertion Loss”

Os requisitos fornecidos pela EMBRAER incidiram essencialmente em materiais para aplicações em painéis interiores laterais. Apesar do projeto prever alguns desenvolvimentos a este nível, por recomendação da própria EMBRAER o objeto de estudo “Galley” apresentava-se como o mais promissor e de maior lacuna em termos de desenvolvimentos, passando por isso a ser o de mais importância para o consórcio. Assim foi necessário realizar uma pesquisa das empresas que fornecem materiais sandwich utilizados pelas principais construtoras aeronáuticas para aplicações similares e/ou especificamente em

Galleys. Desta pesquisa foram identificados novos requisitos, normas utilizadas e valores target a cumprir ou superar (figura seguinte).

Property	Standard	Unit	Fitelam GN2	Fitelam GN7	GillFab 4122B	GillFab 5071A	GillFab 5072A	Fitelam GN50	Fitelam GN3	Target Max	Target Min
			014/0375/014	012/0375/012				009/0375/009	009/0375/009		
Areal Weight	Sem indicação	kg/m ²	2,6	2	2,64	2	2,7	1,8	1,7	2,7	1,7
Thickness	Sem indicação	mm	10,2	10,2	12,47	12,7	12,7	10,2	10,2	12,7	10,2
Long Beam Comp. Transverse	AMS STD 401	N	1374	960	-	-	-	563	458	1374	458
Long Beam Comp. Longitudinal	AMS STD 401	N	1825	1040	-	-	-	425	458	1825	425
Short Beam Shear Transverse	AMS STD 401	N	1256	1315	-	-	-	1290	1592	1592	1256
Short Beam Shear Longitudinal	AMS STD 401	N	2218	2100	-	-	-	1582	1592	2218	1582
Peel Transverse	AMS STD 401 (DPS 1.92)*	N/76mm (Nm/76mm)*	160	160	3,6*	-	-	387	345	387	160
Peel Longitudinal	AMS STD 401	N/76mm	135	135	-	-	-	112	-	135	112
Long Beam Tens. Longitudinal	AMS STD 401	N	738	-	-	-	-	-	-	738	738
Core Compression	AMS STD 401	N/mm ²	3,6	3,6	-	-	-	-	-	3,6	3,6
In Plane Shear	BMS 4-17	lb/inch	300	-	-	-	-	-	-	300	300
Impact Strenght	BMS 4-17 (ASTM D3029)*	inch*lb	17	-	-	2,25*	5,4*	-	-	17	17
Insert Shear Transverse	Sem indicação	N	2426	-	-	-	-	-	-	2426	2426
Insert Shear Longitudinal	Sem indicação	N	3720	-	-	-	-	-	-	3720	3720
Insert Pull Out	Sem indicação	N	1234	-	-	-	-	-	-	1234	1234
Flammability Burn Length	FAR/CS 25.853(a)	mm	1,9	0,9	33	51	51	1,7	1,1	51	0,9
Flammability Afterflame time	FAR/CS 25.853(a)	s	0	0	0	1	1	0	0	1	0
Drip Flame Time	FAR/CS 25.853(a)	s	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Smoke Emission	FAR/CS 25.853(d) ABD0031/D6-51377	Dm in 4min	32	32	-	17	19	19	14	32	14
Toxic Gas Emission	ABD0031/D6-51377	Pass	Pass	Pass	-	-	-	Pass	Pass	0	0
Heat Release Rate - Peak	FAR/CS 25.853(d)	KW/m ²	28	35	26	27	29	32	39	39	26
Heat Release Rate - 2min Total	FAR/CS 25.853(d)	KWmin/m ²	31	40	18	25	33	34	11	40	11
Flatwise Compression	AMS STD 401 (DPS 1.92)*	N/mm ²	-	-	2,5	2,5	3	-	-	3	2,5
Long Beam Flexural- Ultimate Load	DPS 1.92 (AMS STD 401)*	N	-	-	1423	801*	1334*	-	-	1423	1423
Long Beam Flexural- Deflection @ 100lb	DPS 1.92 (AMS STD 401)*	mm	-	-	13,08	22,5*	15,2*	-	-	13,08	13,08
Smoke Density	DPS 1500	Ds	-	-	23	-	-	-	-	23	23
Panel Core Shear Ribbon direction	AMS STD 401 B	Mpa	-	-	-	1,2	1,2	-	-	1,2	1,2
Panel Core Shear Transverse direction	AMS STD 401 B	Mpa	-	-	-	0,75	0,75	-	-	0,75	0,75

Phenolic
Thermoplastic

Figura 12: Propriedades de materiais “Sandwich” presentes no mercado e definição de valores target.

Paralelamente foi realizado um levantamento dos requisitos fundamentais necessários à realização dos ensaios de caracterização das propriedades do material do núcleo (à base de cortiça), tendo em vista a obtenção de alguns parâmetros de desempenho (sobretudo ao nível da determinação de valores de resistência mecânica limite sob diferentes modos de carregamento estático e resposta dinâmica do material) para a correta definição e validação do modelo computacional a desenvolver mais tarde no âmbito das tarefas previstas no WP4.

3.2.2 Tarefa 2 - Definição e especificação de testes e ensaios relevantes

A execução da tarefa foi possível com base na experiência anterior dos consorciados em projetos na área e através da pesquisa sobre as atuais soluções e tecnologias utilizadas no sector aeronáutico tendo sido possível chegar a um extenso quadro de especificações que o consórcio viria a verificar nas subsequentes etapas de desenvolvimento e de testes e ensaios.

Considerou-se também que a validação de alguns dos requisitos presentes nas tabelas de especificação podia ser obtida através do *benchmarking* de propriedades para os materiais e/ou sistemas utilizados em aeronaves de classe executiva. Com esse *benchmarking* conseguiu-se recolher um conjunto de propriedades (i.e. propriedades mecânicas, térmicas, acústicas, entre outras) que possibilitaram a comparação entre as soluções geradas neste projeto e os produtos de utilização corrente no mercado.

Concluiu-se que os materiais anteriormente identificados e considerados como relevantes do ponto de vista de requisitos são avaliados essencialmente segundo a norma *AMS-STD-401 – Sandwich Constructions and Core Materials; General Test Methods*. Esta norma abrange a generalidade dos requisitos e métodos de teste de núcleos para materiais sandwich e teste de construções em sandwich usadas em estruturas aeronáuticas. Estabelece também um guia para definir métodos de ensaios, remetendo também para as normas *ASTM*, requisitos específicos que possam ser adequados para a indústria aeronáutica, nomeadamente:

Métodos de teste para núcleos:

- Densidade do núcleo gravidade específica: *ASTM C 271 – Standard Test Method for Density of Sandwich Core Materials*;
- Absorção de água pelo núcleo: *ASTM C 272 – Standard Test Method for Water Absorption of Core Materials for Sandwich Constructions*;
- Condutividade térmica do núcleo: *ASTM C 177 – Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus*;
- Compressão do núcleo: *ASTM C 365 – Standard Test Method for Flatwise Compressive Properties of Sandwich Cores*;
- Corte do núcleo: *ASTM C 273 – Standard Test Method for Shear Properties of Sandwich Core Materials*.

Métodos de teste para sandwich:

- Compressão da Sandwich: *ASTM C 364 – Standard Test Method for Edgewise Compressive Strength of Sandwich Constructions*;
- Tensão da sandwich: *ASTM C 297 – Standard Test Method for Flatwise Tensile Strength of Sandwich Constructions*;
- Flexão da sandwich: *ASTM C 393 – Standard Test Method for Core Shear Properties of Sandwich Constructions by Beam Flexure*;
- Condutividade térmica da sandwich: *ASTM C 236 – Standard Test Method for Steady-State Thermal Performance of Building Assemblies by Means of a Guarded Hot Box* // *ASTM C 1363 – Standard Test Method for Thermal Performance of Building Materials and Envelope Assemblies by Means of a Hot Box Apparatus*;
- Sandwich Peel: *ASTM D 1781 - Standard Test Method for Climbing Drum Peel for Adhesives*.

O consórcio preparou também dois quadros com as principais conclusões do trabalho da tarefa, nomeadamente com a tabela de especificações para testes e ensaios para a componente Piso e para a componente Galley. Ambos os quadros figuram em anexo a este documento.

DesAIR PROJECT - FLOOR PANELS VALIDATION SCHEDULE			
#	REQUIREMENT	STANDARD / TEST PROCEDURE	REQUIRED VALUE
1	Weight / Density	ASTM C-271	Redução em 30%-40% do peso do núcleo otimizado quando comparado com o núcleo standard.
		EN 323	Incremento inferior a 20% em comparação com solução típica (painel Al + Al HC)
2	Adhesion Between Layers (Between panel layers) (Initial State)	ASTM D-1781 (Drum Peel)	Ruptura pelo core - Valor correspondente à falha do núcleo
		ASTM D-297 (FTS)	Ruptura pelo core - Valor correspondente à falha do núcleo
	Adhesion Between Layers (Between panel layers) (Aged State - Ageing standard to define)	ASTM D-1781 (Drum Peel)	Ruptura pelo core - Valor correspondente à falha do núcleo / Não degradação após envelhecimento
		ASTM D-297 (FTS)	Ruptura pelo core - Valor correspondente à falha do núcleo / Não degradação após envelhecimento
3	Adhesion Between Layers (Between panel and floor covering) (Floor covering to specify by Embraer) (Initial State)	ASTM D-1781 (Drum Peel)	Resistência do adesivo do revestimento
		ASTM D-297 (FTS)	Resistência do adesivo do revestimento
	Adhesion Between Layers (Between panel and floor covering) (Floor covering to specify by Embraer) (Aged State - Ageing standard to define)	ASTM D-1781 (Drum Peel)	Resistência do adesivo do revestimento / Não degradação após envelhecimento
		ASTM D-297 (FTS)	Resistência do adesivo do revestimento / Não degradação após envelhecimento
4	Bending Strength & Modulus of Elasticity (Initial State)	ASTM C-393 (Short Beam)	Redução inferior a 25% em comparação com solução típica (painel Al + Al HC)
		ASTM D-7249M (Long Beam)	Redução inferior a 25% em comparação com solução típica (painel Al + Al HC)
	Bending Strength & Modulus of Elasticity (Aged State - Ageing standard to define)	ASTM C-393 (Short Beam)	Redução inferior a 25% em comparação com solução típica (painel Al + Al HC) / Não degradação após envelhecimento
		ASTM D-7249M (Long Beam)	Redução inferior a 25% em comparação com solução típica (painel Al + Al HC) / Não degradação após envelhecimento
5	Deflection Under Distributed Load (Normal Load)	Carga distribuída sobre secção de painel bi-apoiado (kg/m^2 e span a indicar pela Embraer)	$\leq L/100$
	Deflection Under Distributed Load (Exceptional Load)	Carga distribuída sobre secção de painel bi-apoiado (kg/m^2 e span a indicar pela Embraer)	$\leq 5\text{mm}$
6	Point-Load	Secção de painel carregada por uma carga de 80Kg distribuída num círculo de 10mm de diâmetro	Identação $\leq 1\text{mm}$
7	Impact Resistance	Queda de bola com 500g, $d=50\text{mm}$, $h=1\text{m}$ em provete com 220x220mm.	Identação $\leq 1\text{mm}$
8	Roller Cart Resistance	Método experimental Embraer - Carga aplicada sobre base rotativa com rodas.	?
9	Screw and inserts withdraw resistance	ASTM D-5961	?
		EN 13446	>1200N
		NE53-003 - Material Composto – Ensaio De Arrancamento Na Fixacao	?
10	Fatigue	Aplicação de uma carga equivalente à deformação de 1mm em span a definir durante 3M ciclos	Não degradação após envelhecimento - Bending Strength, Modulus of Elasticity & Adhesion Between Layers
11	Fire, Smoke and Toxicity	EASA CS-25 Appendix F Part 1	?
12	Acoustical Insulation	ASTM E-90	$8.5 * \text{LN}(\text{freq}[\text{Hz}]) - 30$ [dBA]
		ISO 140-3 / ISO 717	Incremento superior a 20% em comparação com solução típica (painel Al + Al HC)
13	Damping Loss Factor	PIM Method	$0.0125 * \text{LN}(F15) + 0.02$
14	Thermal Conductivity	ISO 9869	Redução superior a 20% em comparação com solução típica (painel Al + Al HC)

Figura 13: Tabela de especificações para testes e ensaios para a componente Piso.

DesAIR PROJECT - GALLEY PANELS VALIDATION SCHEDULE			
#	REQUIREMENT	STANDARD / TEST PROCEDURE	REQUIRED VALUE
1	Weight / Density	ASTM C-271	Redução em 30%-40% do peso do núcleo otimizado quando comparado com o núcleo standard.
		EN 323	Incremento inferior a 20% em comparação com solução típica (?)
2	Adhesion Between Layers (Between panel layers) (Initial State)	ASTM D-1781 (Drum Peel)	Ruptura pelo core - Valor correspondente à falha do núcleo
		ASTM D-297 (FTS)	Ruptura pelo core - Valor correspondente à falha do núcleo
	Adhesion Between Layers (Between panel layers) (Aged State - Ageing standard to define)	ASTM D-1781 (Drum Peel)	Ruptura pelo core - Valor correspondente à falha do núcleo / Não degradação após envelhecimento
		ASTM D-297 (FTS)	Ruptura pelo core - Valor correspondente à falha do núcleo / Não degradação após envelhecimento
3	Bending Strength & Modulus of Elasticity (Initial State)	ASTM C-393 (Short Beam)	Redução inferior a 25% em comparação com solução típica (?)
		ASTM D-7249M (Long Beam)	Redução inferior a 25% em comparação com solução típica (?)
	Bending Strength & Modulus of Elasticity (Aged State - Ageing standard to define)	ASTM C-393 (Short Beam)	Redução inferior a 25% em comparação com solução típica (?) / Não degradação após envelhecimento
		ASTM D-7249M (Long Beam)	Redução inferior a 25% em comparação com solução típica (?) / Não degradação após envelhecimento
4	Surface Hardness	?	?
5	Antigraffiti Strength	?	?
6	Point-Load	Secção de painel carregada por uma carga de 80Kg distribuída num círculo de 10mm de diâmetro	Identação ≤ 1mm
7	Impact Resistance	Queda de bola com 500g, d=50mm, h=1m em provete com 220x220mm.	Identação ≤ 1mm
8	Screw and inserts withdraw resistance	ASTM D-5961	?
		EN 13446	>1200N
		NES3-003 - Material Composto – Ensaio De Arrancamento Na Fixacao	?
9	Fatigue	Aplicação de uma carga equivalente à deformação de 1mm em span a definir durante 3M ciclos	Não degradação após envelhecimento - Bending Strength, Modulus of Elasticity & Adhesion Between Layers
10	Fire, Smoke and Toxicity	EASA CS-25 Appendix F Part 1, Part 4, Part 5	?
11	Acoustical Insulation	ASTM E-90	8.5 *LN(freq[Hz]) - 30 [dBA]
		ISO 140-3 / ISO 717	Incremento superior a 20% em comparação com solução típica (?)
12	Damping Loss Factor	PJM Method	0.0125*LN(F15)+0.02
13	Thermal Conductivity	ISO 9869	Redução superior a 20% em comparação com solução típica (?)

Figura 14: Tabela de especificações para testes e ensaios para a componente Galley.

3.3WP3 Aquisição e desenvolvimento de novos conhecimentos

Esta atividade surgiu da necessidade de materialização ou representação visual e formal da intenção do projeto em desenvolver um demonstrador representativo de uma estrutura de interiores de um avião comercial ou executivo. Assim, esta atividade pretendeu chegar a uma representação visual coerente dos conceitos de componentes interiores para aplicação dos materiais e processos selecionados. Pretenderam-se conceitos com características únicas, distintivas e inovadoras e foram criadas representações gráficas e modelos de estudo, virtuais e à escala, que permitiram a materialização das ideias conceptuais.

3.3.1 Tarefa 1 – Estudos de Conceito

Com base na informação recolhida nas atividades anteriores e nas conclusões alcançadas, o consórcio procedeu ao estudo de novos conceitos que irão permitir desenvolver os produtos pretendidos tendo em conta os requisitos definidos. Foram investigados e desenvolvidos diferentes conceitos de Galleys para aplicação em aeronaves executivas, que foram sendo refinados ao longo da duração da tarefa pelos diversos inputs internos dos membros do consórcio. No decorrer destas ações foi feito enquadramento dos modelos de aeronave a considerar de forma a respeitar as condicionantes técnicas reais e a habilitar a solução a desenvolver para uma possível integração futura no mercado.

A aeronave que serviu de referência para os estudos iniciais foi o Legacy 650, modelo fabricado pela Embraer, por apresentar características que se consideraram adequadas ao projeto, nomeadamente as dimensões / secção da fuselagem e o tipo de serviço prestado (aviação executiva).

Relativamente às propostas de conceito desenvolvidas, foram consideradas genericamente as premissas de projeto definidas na especificação para cada um dos componentes, nomeadamente:

- Painel lateral: menor espessura; sistema de encaixe e integração incorporados; bom isolamento acústico, vibrático e térmico; possibilidade de diferentes acabamentos.
- Galley/Monumento: redução do ruído e vibração das peças; sistema de montagem e fixação facilitado; utilização de superfícies com dupla curvatura (esféricas); boa integração de componentes e respetivo isolamento; utilização de superfícies móveis.
- Piso: pré-fabrico de peças e componentes com vista a um sistema modular; isolamento sonoro e térmico; bom amortecimento.

Para desenvolver os conceitos, com base na pesquisa inicial, fez-se um levantamento exaustivo de equipamentos para Galleys presentes no mercado, como trolleys, bar/fridge, refrigerator/freezer, convection oven, microwave oven, coffee brewer, expresso coffee maker, etc. (tanto para classe executiva como para comercial), com o intuito de definir a localização e dimensões dos compartimentos para adequação aos equipamentos existentes.

No que respeita ao conceito para a Galley e painel lateral, foram efetuadas diversas sessões de trabalho onde foram desenhadas várias propostas. Foram propostas diversas abordagens baseadas em ideias formais e de inspiração distinta, tendo sido analisadas e selecionadas as melhores propostas. Apresentamos abaixo uma síntese dos conceitos apresentados e das ideias mais relevantes, as quais foram definidas como "Conceito 1" e "Conceito 2".

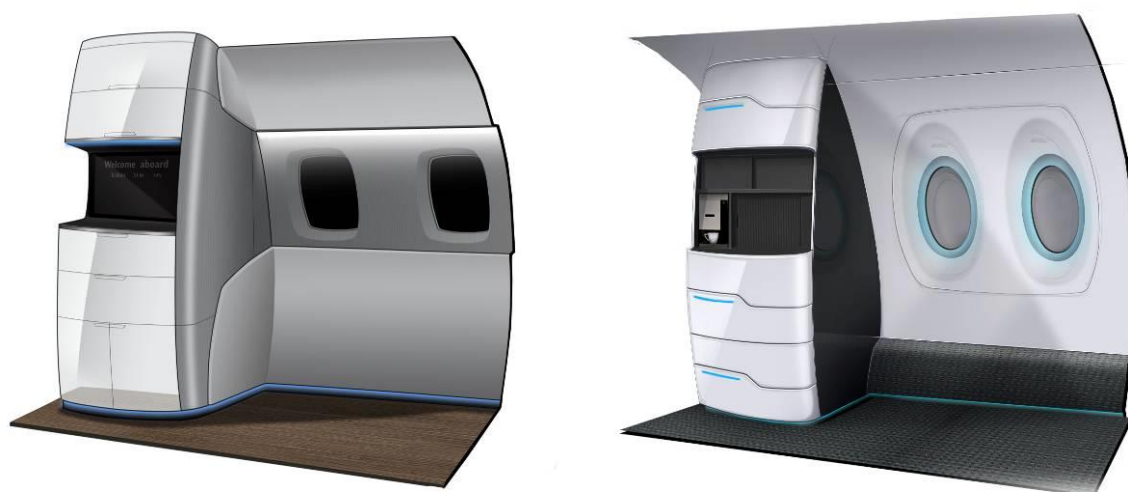


Figura 15: "Conceito 1" (esquerda) e "Conceito 2" (direita).

Com base nos esboços de síntese, foram feitas reuniões de discussão entre os membros do consórcio e definidos uma série de critérios de avaliação das propostas. Após discussão com todas as partes envolvidas, e com base no conjunto de critérios definidos (que incluíram, a título de exemplo, o impacto do design final junto dos operadores e utilizadores, a dificuldade de conceção, os meios e soluções existentes, os critérios normativos, os custos de desenvolvimento, entre outros) foi selecionado o "Conceito 1" para futuro desenvolvimento. Este conceito foi subsequentemente refinado de acordo com os contributos dos consorciados, de modo a chegar a uma nova iteração que servirá de base à próxima fase do projeto, a parametrização da informação através de um modelo tridimensional CAD (modelo de superfícies).

3.3.2 Tarefa 2 – Maquetas de Estudo

Com base no conceito selecionado anteriormente, foi executado um modelo de superfícies CAD que permitiu a partilha da informação geométrica das peças entre todos os membros do consórcio. Este modelo permitiu a todas as equipas responsáveis pelo desenvolvimento de peças, uma melhor perceção dos componentes que integram o conceito. O modelo tridimensional foi gerado com base nos desenhos do conceito escolhido na Tarefa anterior bem como no documento de especificação de produto, tendo como objetivo aproximar-se o máximo possível da realidade, através de um correto dimensionamento ao nível de proporções, dimensões e funcionalidade.

Durante este período foram realizados vários modelos de superfícies até chegar à solução adequada, sendo este um processo iterativo que necessita de constantes alterações e refinamentos. Quando se chegou a uma solução fiel ao conceito apresentado o modelo foi refinado de acordo com os constrangimentos dimensionais e espaços para operação (i.e. abertura de compartimentos, altura e profundidade das peças, funcionalidade, etc.), fazendo corresponder o modelo às dimensões reais da fuselagem e aplicando as condicionantes ergonómicas e antropométricas fundamentais, sem esquecer o equipamento adicional necessário e a sua volumetria (bar/fridge, microwave oven, expresso coffee machine, garbage compacter, etc). O estudo dimensional e ergonómico foi inicialmente realizado em software CAD e depois validado através da construção de um modelo de estudo à escala real. Toda a arquitetura dos componentes foi definida nesta fase, tendo ficado por definir em pormenor as questões técnicas relacionadas com encaixes específicos, ferragens e métodos de produção das peças.

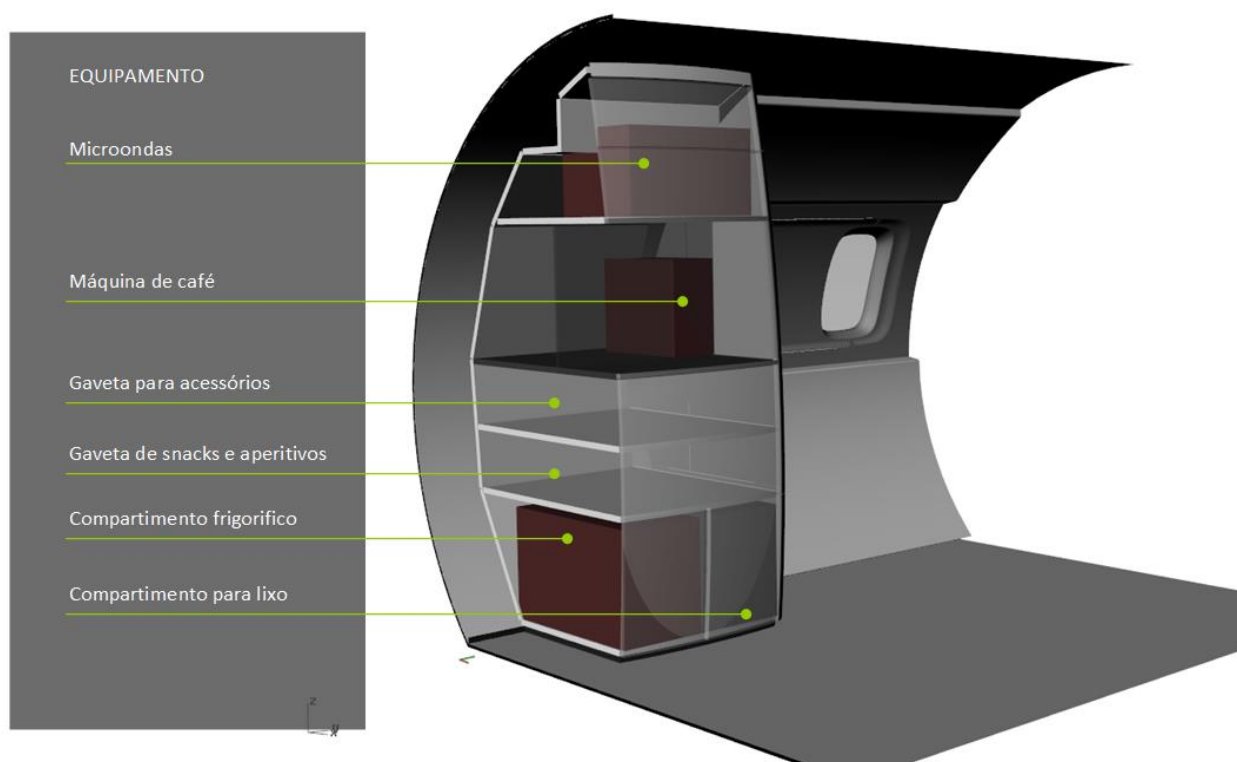


Figura 16: Modelo de superfícies – estudo dimensional.

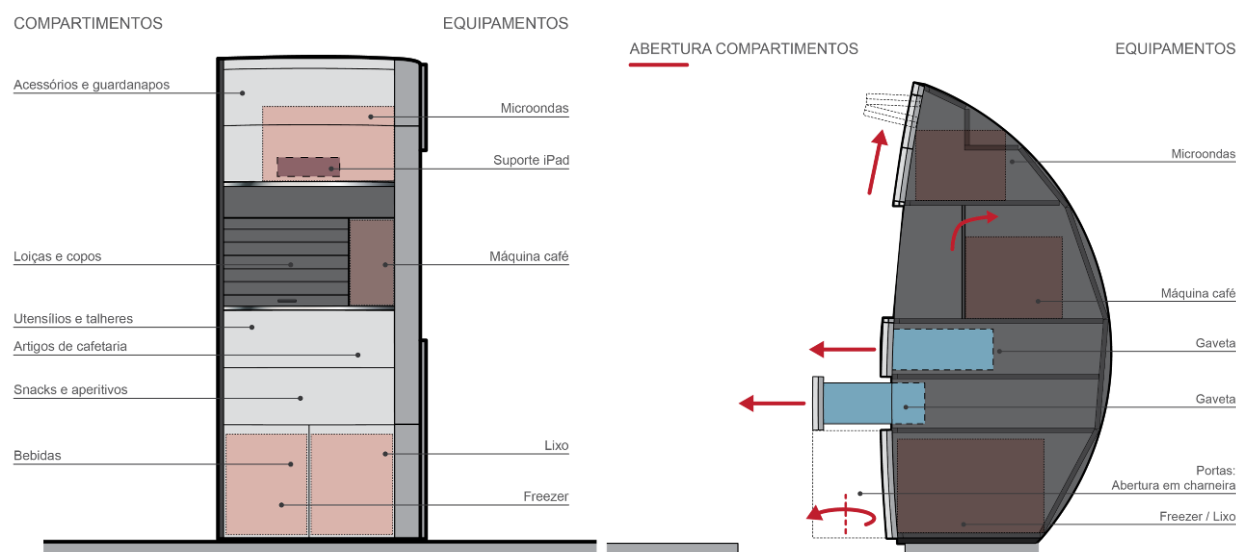


Figura 17: Modelo de superfícies – equipamento e compartimentos.

Os equipamentos referenciados nas imagens foram definidos de acordo com a informação recolhida em fornecedores da especialidade e certificados para o mercado aeronáutico. Foi proposta a integração de um tablet na galley, para um possível controlo e gestão de funcionalidades da galley e iluminação, bem como para uma possível de menus, pratos e bebidas disponíveis.

Sentiu-se a necessidade de reproduzir um modelo à escala real do módulo Galley, com o intuito de melhor compreender a volumetria do objeto no espaço e validar as condicionantes antropométricas. Sabendo que a aeronave selecionada tem um espaço interior muito reduzido, a maquete de estudo à escala real revelou-se de extrema importância no estudo ergonómico e antropométrico e, fundamental para o desenho final do objeto. Como podemos verificar na sequência de imagens seguinte, a maquete de estudo serviu para estudar e otimizar o objeto tendo em conta as diferentes dimensões dos utilizadores, tendo sido considerados aproximadamente os percentis 10 (feminino) e 90 (masculino) acautelando assim uma grande percentagem da população. A sequência de imagens apresentada pretende fazer a demonstração das operações na galley, e respetivas limitações de espaço.





Figura 18: Maqueta de estudo - Sequência demonstrativa de operação nos percentis 5 e 90.

Finda a análise dimensional e os estudos ergonómicos, o modelo de superfícies foi de novo avaliado e redesenhado de acordo com os conhecimentos adquiridos durante o processo. Foi gerado um modelo tridimensional novo, no qual foram também testadas soluções para os materiais e acabamentos. Esta fase considerou-se terminada com a apresentação do modelo tridimensional CAD e de imagens virtuais incluindo já todos os equipamentos bem como propostas de materiais e acabamentos.



Figura 19: Imagem virtual do demonstrador.

Além da maquete de estudo da Galley, foram também executados pequenos modelos de estudo do componente piso, numa perspetiva de abordagem inicial a esta temática. Os modelos tiveram como base um material de núcleo de formulação nova e um padrão de furação especificamente desenvolvido para o projeto. O material do núcleo em causa foi testado no modelo, e caracteriza-se por ser um material de núcleo onde o tradicional aglomerante do granulado de cortiça é um binder à base de epóxi, em detrimento dos binders mais habituais e de produção corrente na ACC, à base de poliuretanos. Desta nova formulação resultou um aglomerado de cortiça com uma rigidez consideravelmente superior mantendo uma densidade, ao que tudo indica ao momento da escrita deste documento, aceitável. Em termos práticos, esta superior rigidez, quando comparada com os tradicionais aglomerados com poliuretano, teoricamente permite a perfuração do material e a respetiva redução de massa sem que daí resulte um painel com propriedades mecânicas inferiores àqueles que usam os aglomerados com poliuretano já referidos (esta conclusão está ainda pendente do trabalho de desenvolvimento enquadrável na Atividade 4). Este modelo inicial do piso, de dimensões aproximadas de 1500x1250mm serviu também como painel de fornecimento de provetes de ensaio por forma a serem obtidos os primeiros valores relativos às propriedades mecânicas e acústicas desta nova tipologia de soluções, conforme será abordado na Atividade 6 – Testes e Ensaios.

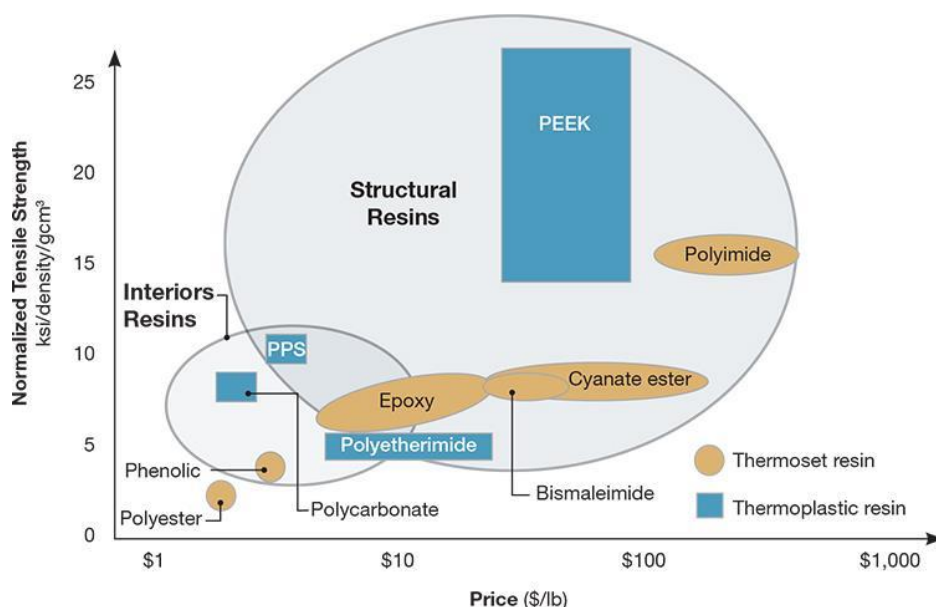
Além da maquete de estudo da Galley, foram também executados pequenos modelos de estudo do componente piso, numa perspetiva de abordagem inicial a esta temática. Os modelos tiveram como base um material de núcleo de formulação nova e um padrão de furação especificamente desenvolvido para o projeto. O material do núcleo em causa foi testado no modelo, e caracteriza-se por ser um material de núcleo onde o tradicional aglomerante do granulado de cortiça é um binder à base de epóxi, em detrimento dos binders mais habituais e de produção corrente na ACC, à base de poliuretanos. Desta nova formulação resultou um aglomerado de cortiça com uma rigidez consideravelmente superior mantendo uma densidade, ao que tudo indica ao momento da escrita deste documento, aceitável. Em termos práticos, esta superior rigidez, quando comparada com os tradicionais aglomerados com poliuretano, teoricamente permite a perfuração do material e a respetiva redução de massa sem que daí resulte um painel com propriedades mecânicas inferiores àqueles que usam os aglomerados com poliuretano já referidos (esta conclusão está ainda pendente do trabalho de desenvolvimento enquadrável na Atividade 4). Este modelo inicial do piso, de dimensões aproximadas de 1500x1250mm serviu também como painel de fornecimento de provetes de ensaio por forma a serem obtidos os primeiros valores relativos às propriedades mecânicas e acústicas desta nova tipologia de soluções, conforme será abordado na Atividade 6 – Testes e Ensaios.

3.3.3 Tarefa 3 – Estudo de custos, processos produtivos e materiais disponíveis

Para além do componente piso, foi necessário avaliar os custos, meios e processos necessários para o fabrico dos diversos componentes e integrar no demonstrador, maioritariamente em materiais compósitos, ficando por isso ao encargo do INEGI. Assim para a galley foram consideradas diversas estratégias/combinções de fabrico de material sandwich com núcleo de cortiça e peles de compósito de matriz termoplástica com fibra de vidro. Os compósitos de matriz termoplástica apresentam uma série de vantagens sobre os de matriz termoendurecível, sendo por isso capazes de cumprir com os requisitos

especificados para aplicações aeronáuticas. Como principais vantagens podem-se referir o aumento da tenacidade, da tolerância ao dano e durabilidade e ainda a possibilidade de reprocessamento, reciclagem e significativa redução do ciclo de fabrico. Apesar destes materiais já estarem presentes no setor aeronáutico, a sua combinação com um de núcleo cortiça é ainda inovador. Assim principiou-se o estudo destes materiais no que toca a adesão, acabamento superficial e propriedades mecânicas da sandwich produzida. Com efeito foi efetuada uma pesquisa alargada para selecionar materiais (peles e adesivos) que pudessem ser encontrados em painéis de galleys e, portanto, que respeitassem as normas do sector/aplicação. Tradicionalmente as matrizes encontradas em galleys restringem-se a duas tipologias:

- **Matriz Termoendurecível** – O uso de resinas fenólicas já leva décadas na indústria aeronáutica e são o standard dos compósitos nestas aplicações. No entanto, recentemente, o desenvolvimento das resinas epoxy para respeitar a norma F.A.R. 25.853. (com especificações relativas a emissões de fumos e resistência ao fogo) permitiu a sua consideração neste estudo.
- **Matriz Termoplástica** – Tradicionalmente usam-se plásticos de alto rendimento como o PEEK, o PPS ou o PEI. No entanto, em componentes em que a temperatura de serviço e/ou que estruturalmente o seu desempenho não é tão exigente, podem-se encontrar materiais como o PC ou a PA devido ao seu custo moderado quando comparadas com os materiais supracitados.



Resin Family	Continuous Service Temp. (°C / °F)	Cure Time (min)	Tensile Strength (ksi)	Tensile Modulus (Msi)
Thermoset Resins				
Phenolic (PH)	170 / 340	60+	6.9	0.55
Epoxy (E)	180 / 350	60-240	9.7	0.34
Cyanate ester (CE)	180 / 350	60-180	7.4 - 13.2	0.38 - 0.45
Bismaleimide (BMI)	230 / 450	120 - 240+	10.5	3.9
Polyimide (PI)	370 / 700	120+	16.6	-
Thermoplastic Resins				
Polycarbonate (PC)	120 / 250	< 20	9.4	0.33
Polyphenylene sulfide (PPS)	240 / 464		13.5	0.5
Polyetherimide (PEI)	200 / 390		6	0.8
Polyetheretherketone (PEEK)	250 / 480		14 - 33	0.58 - 3.4

Figura 20: Custos e propriedades das diversas matrizes.

No que toca a reforços, o carbono é usado em situações de elevada solicitação estrutural ou quando o peso dos componentes é propriedade fulcral para o sistema. O seu elevado custo determina que excetuando as aplicações citadas, se use fibra de vidro. No caso da aramida, esta é usada em componentes com alta resistência ao desgaste. A capacidade de absorção de energia deste reforço também potencia a sua aplicação em situações de resistência ao impacto.

Com base na informação disponibilizada pelos fornecedores dos materiais alvo foi possível elaborar um gráfico que relaciona o custo por metro quadrado de cada material com um material de referência (neste caso foi usado o prepreg de matriz termoplástica (PA12) com fibra de vidro).

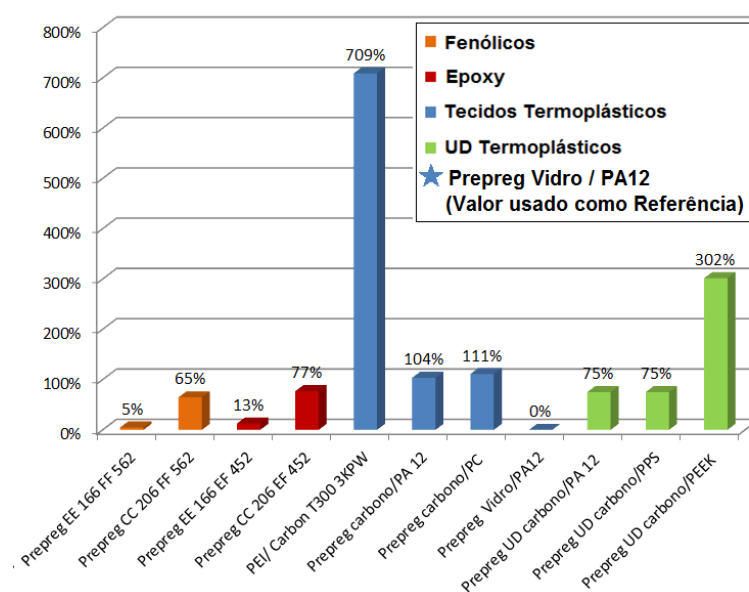


Figura 21: Custo de diversas matérias-primas por comparação com a matéria-prima de referência (PA12/FV).

Da análise do gráfico anterior é possível verificar que, em média, o custo dos materiais à base de matrizes termoplásticas é superior aos de matriz termoendurecível, ainda que o custo da matriz por si só possa ser inferior. Este facto deve-se essencialmente às tecnologias associadas aos fabrico dos compósitos de matriz termoplástica serem mais complexos e ainda de alguma forma imaturas, com níveis de produção mais baixos, originando custos superiores. No entanto, parte do custo destes materiais pode ser diluído devido à sua reciclabilidade assim como às condições de armazenamento sem custos significativos (no caso das matrizes termoendurecíveis é necessária refrigeração) e a um “shelf life” extremamente longo (para matrizes termoplásticas o tempo de médio de vida armazenado é de 6 meses).

Na figura seguinte apresenta-se o custo dos diversos processos associados a estes materiais em função do volume de componentes a produzir.

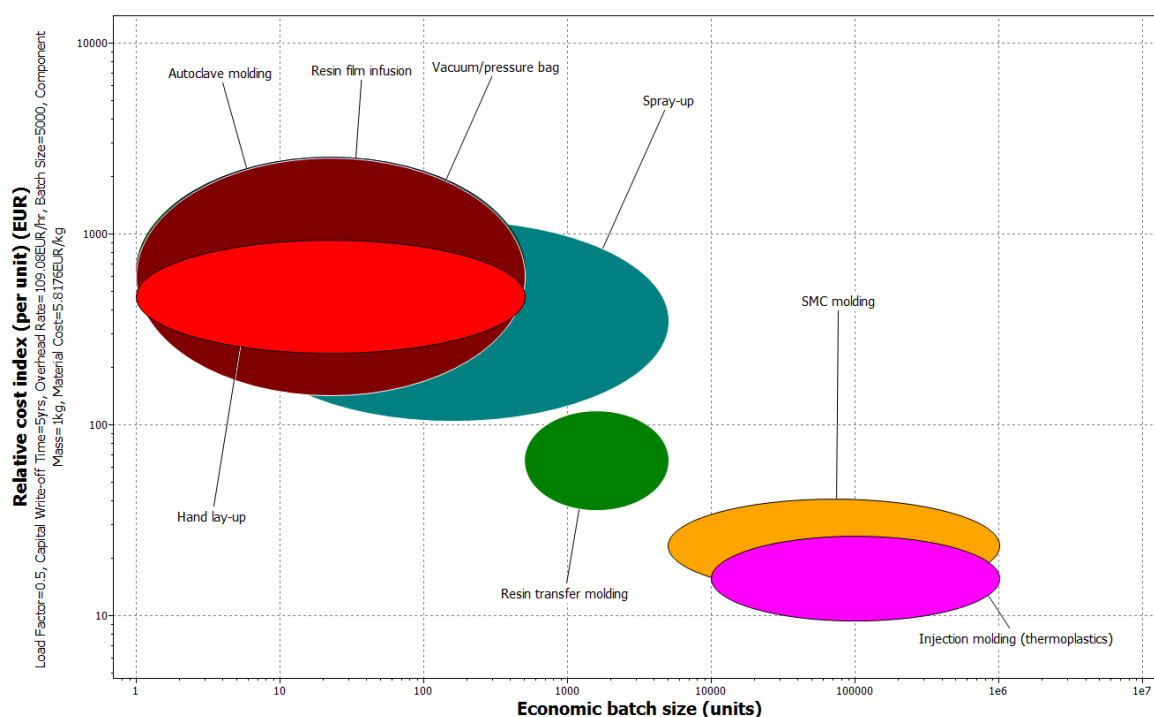


Figura 22: Processos relevantes para o fabrico de peles de aplicação aeronáutica.

Para produções de menor volume e usando a galley como referência, estão recomendados os processos de “Autoclave moulding” e “Vacuum bagging”. Os processos de “Hand lay-up” e “Resin film infusion” são naturalmente excluídos pois partem de tecidos secos e não de pré-impregnados. O processo de “Vacuum bagging”, quando usado em conjunto com fornos de convecção ou infravermelhos, também é indicado para a colagem de peles com núcleos, seja através da auto-adesão, seja com recurso a filmes adesivos termoplásticos ou adesivos termoendurecíveis.

Uma vez explorados os diversos materiais aplicáveis ao produto/setor a desenvolver, uma das questões que carecia de estudo relativamente aos compósitos de matriz termoplástico seria se haveria adesão direta entre as peles e o núcleo de cortiça, sem recurso a adesivos. Assim, foram delineados ensaios que consistiram no uso de um prepreg de fibra de vidro com PA12.

E Glass Pipreg®									
Style Référence	Width (mm) Largeur (mm)	Weave Armure	Construction Warp/Weft (yarn/cm) Contexture Chaine/Trame (fil/cm)	Warp Fil de chaine	Weft Fil de trame	Dry fabric areal weight (g/sqm) Poids du renfort sec (g/m2)	Polymer areal weight (g/sqm) Poids du polymère (g/m2)	Pipreg® areal weight (g/sqm) Poids du Pi preg® (g/m2)	Polymer content in volume (in weight) Taux de polymère en volume (en masse) (%)
7781-P19	1270	8 H Satin	22.9 x 21.1	EC6 68	EC6 68	296	116	412	50 (28)
7581-P19	1270	8 H Satin	22.9 x 21.1	EC9 68	EC9 68	302	120	422	50 (28)
1989-P19	1000	2 x 2 Twill	6.0 x 6.6	EC9 68	EC9 272	391	154	545	50 (28)

Figura 23: Propriedades do Pipreg® de matriz PA12 com reforço a fibra de vidro.

Como núcleo foram usadas placas de cortiça NL 10 e NL20 de espessura 10mm. Os provetes tinham dimensões: 360x255mm. A adesão das peles ao núcleo foi feita com recurso a uma prensa de pratos quentes com capacidade de aquecimento até aos 330°C. Com recurso à ficha de processamento do material, que indica temperaturas de processamento de 230°C +/- 15°C e pressão de 10 bar, foram realizados vários ensaios de forma a obter-se uma adesão satisfatória. Cada ciclo demorou, em média, 2 minutos.

Assim através de um processo iterativo foi possível obter materiais sandwich com bom acabamento superficial e que, após teste qualitativo de “peeling”, permitiu verificar que a adesão entre a pele a e superfície da cortiça era superior à adesão entre os elementos do núcleo. No entanto devido à necessidade de elevada temperatura de processamento verificou-se a degradação da cortiça e perda de espessura do núcleo (cortiça) o que condiciona o uso direto de peles de matriz termoplástica sobre a mesma.



Figura 24: Fabrico de materiais sandwich na prensa de pratos quentes seguido de teste qualitativo de “peeling”.

Com base na necessidade de processar a cortiça a baixas temperaturas, foi efetuada uma seleção de adesivos adequados a aplicações aeronáuticas e, preferencialmente, com temperaturas de cura de inferiores a 150°C (resultados apresentados no WP4).

Por outro lado como alternativa ao processo de maquinagem dos núcleos de cortiça uma série de teses foram realizados com recurso a um processo menos oneroso e tipicamente utilizado no corte 2D de chapas metálicas, o punção. Os padrões selecionados tiveram em conta as geometrias de punção

disponíveis assim como os espaçamentos ditados pelo processo. O maior entrave ao uso regular deste processo prende-se com a limitação da espessura dos núcleos (< a 3,5mm) e com a única opção de se fazerem furos totalmente passantes. A figura seguinte apresenta os diversos padrões realizados num núcleo de cortiça com 2mm de espessura.

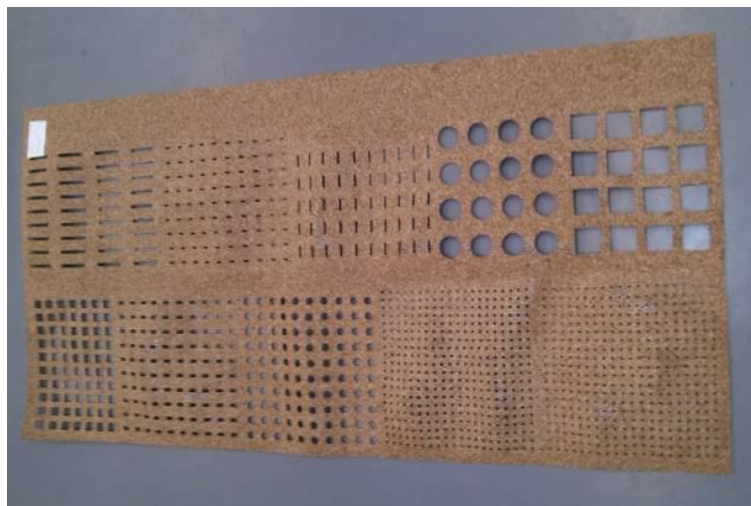


Figura 25: Puncionagem de diversos padrões em núcleo de cortiça.

Ainda no âmbito desta tarefa a Almadesign desenvolveu um painel de materiais representativo dos revestimentos e acabamentos a aplicar em cada elemento da mock-up. Pretendeu-se com este painel apresentar ao consórcio a relação de materiais, cores, tons, texturas e brilhos das várias peças que integram o demonstrador. A definição de materiais sofreu algumas evoluções ao longo da tarefa com base na opinião dos diversos elementos do consórcio e da EMBRAER. Por exemplo, por sugestão da EMBRAER, foram contactados alguns fornecedores internacionais com envolvimento no sector aeronáutico, nomeadamente a JBS International (fornecedor de couro com certificação aeronáutica) e a Matéria Brasil (coletivo de fornecedores de materiais sustentáveis) para fornecimento de materiais com certificação aeronáutica, passíveis de aplicação no demonstrador. A pertinência dos contactos prendia-se com a intenção de se apresentar um demonstrador final como um produto próximo de uma solução de mercado – prevendo a utilização de materiais de revestimento certificados. Depois de analisadas as propostas e sugestões foi decidido pelo consórcio que o recurso a estes dois fornecedores materiais não traria vantagens significativas para o projeto, podendo comprometer os prazos de fornecimento dos materiais e por isso, o prazo final do projeto. Face a esta situação, foram contactadas empresas nacionais de referência para o fornecimento de materiais, das quais destacamos: a Couro Azul (couro certificado), a Silestone (composto de quartzo para aplicação em bancadas), a Santos Monteiro (soluções de revestimento de pisos), a Polyrey (materiais de revestimento termolaminados técnicos e decorativos), entre outros. Para os revestimentos têxteis contactou-se a empresa Spradling por apresentar uma vasta gama de produtos com os requisitos pretendidos. Para a definição dos acabamentos pintados/lacados, recorreu-se ao sistema padronizado de cores RAL.

De acordo com a informação recolhida junto dos fornecedores e da apresentação das diversas opções discutidas em consórcio, a seleção de materiais foi efetuada tendo em conta os custos de aquisição, produção e aplicação, sempre com a preocupação de aproximar o resultado final à proposta de conceito anteriormente apresentada. As imagens abaixo correspondem ao painel final com as amostras de materiais e à respetiva tabela de correspondências para cada peça:

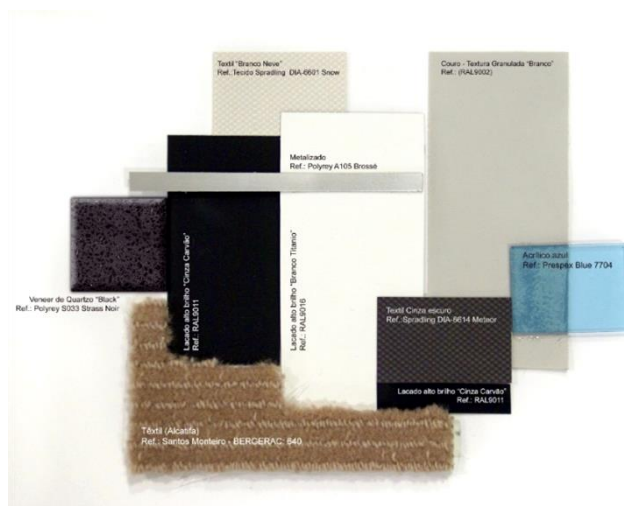


Figura 26: Painel de Materiais - amostras reais.

DesAIR | MATERIAL BOARD



DesAIR | Investigação e Desenvolvimento de Compostos para Interiores Aeronáuticos | N° Projecto: 24557

COMPONENTES	MATERIAIS
Tecto	Textil Ref.: Tecido Spradling DIA-6601 Snow
Painéis laterais	
- Painéis laterais superiores	Pele - Textura Granulada "Branco" Ref.: (RAL9002)
- Janelas (vidros)	Acrílico azul Ref.: Prespex Blue 7704
- Forra das janelas	Textil Ref.: Spradling DIA-6614 Meteor
- Painéis laterais inferiores	Pele - texturada e perfurada em padrão, com backing de cor (a definir)
Galley	
- Painéis /prateleiras estrutura	Lacado alto brilho RAL9011
- Gavetas e nichos	
- Tampas frontais	Lacado alto brilho "Branco Titânio" RAL9016
- Interior	Lacado alto brilho RAL9011
- Forro interior	Lacado alto brilho RAL9011
- Frisos Metalizados	Metalizado - Ref.: Polyrey A105 Brossé
- Balcão de apoio	Veneer de Quartzo "Black" Ref.: Polyrey S033 Strass Noir
- Bengaleiro	
- Exterior	Lacado alto brilho RAL7015
- Forro interior	Lacado alto brilho RAL9011
Piso	
- Rodapé	Lacado alto brilho RAL9011
- Piso	Têxtil (Alcatifa) Ref.: Santos Monteiro - BERGERAC: 640
Iluminação	
- Forra lateral sup.	Luz LED directa (Branca) Luz LED de penumbra (RGB)
- Rodapé	Iluminação LED (Branco/RGB)

Figura 27: Painel de Materiais - tabela de correspondências.

3.3.3.1 Industrialização e produção dos materiais de núcleo otimizados

Os membros do consórcio apenas têm capacidades fabris adequadas à produção em cadeia de materiais de núcleo planos, isto é, sem a requerida otimização de que foram alvo. Disto resulta que, embora tenha sido possível a produção de tais materiais de núcleo para o fabrico dos painéis de ensaio e protótipos, a produção continuada não é suportável com os correntes meios – atual processo de aglomeração utilizado pela ACC seguido da execução da perfuração com recurso a equipamento CNC disponível na UBI.

Este facto impossibilitou que se tivesse uma noção realística do custo de produção destes materiais de núcleo uma vez que, e ainda que o atual método possa ser quantificado, o mesmo não é aplicável numa situação produtiva real num contexto de negócio por os custos de operação de um equipamento CNC semelhante destruírem qualquer hipótese de competitividade nas operações que executa. Por outro lado o consórcio compreendeu que a produção destes materiais deveria ser prevista por forma a executar-se apenas em uma etapa (por exemplo produzindo os blocos aglomerados de cortiça já com os elementos geométricos que lhe garantiriam a otimização para esta aplicação ou, em alternativa, a produção em continuo e numa só etapa do aglomerado e das referidas formas geométricas por forma a limitar ao máximo os custos. No entanto a planificação de uma industrialização, segundo os métodos acima descritos, não foi de todo possível visto ser um processo demorado, de longa duração e dispendioso para o qual o projeto não contempla nem as verbas nem os meios necessários.

3.3.3.2 Custo das várias matérias-primas

Os painéis de piso são essencialmente constituídos de três materiais – as peles (de alumínio ou outro material), o núcleo (aglomerado de cortiça otimizado) e o adesivo (cola que manterá a ligação entre as diversas camadas). Seguindo este raciocínio e relacionando o mesmo com o descrito no ponto anterior gerou-se logo à partida a dificuldade em quantificar o custo da matéria-prima núcleo. Para além disso, e talvez mais importante nesta secção, existiu uma enorme dificuldade em apontar um custo às peles de alumínio pelo simples facto de este valor ter uma enorme variação de acordo com diversas variáveis. De entre estas variáveis destacam-se como as mais importantes o fornecedor (diferentes fornecedores praticam diferentes políticas de preços), a combinação de liga/têmpera (associada ao custo produtivo do material e à disponibilidade do mesmo no mercado), as dimensões (que se relacionam com outros fatores como a disponibilidade e os custos de transporte para grandes formatos), o formato (de acordo com a forma como o material é entregue – rolos/folhas), as quantidades (associadas ao custo por unidade de peso), etc.

Essas variáveis podem apenas ser eliminadas através do estudo de custos para uma solução real (case-study) cujo cenário, na indústria aeronáutica, é bastante difícil de definir pela sua intrínseca complexidade e pela ausência de informação disponível no domínio público. Neste ponto o interesse e participação da EMBRAER poderia ter sido um importante contributo para uma primeira aproximação.

De facto, dos vários materiais necessários ao fabrico da sandwich para o componente piso, apenas se pode conhecer com relativa certeza o custo do adesivo pelo facto de a quantidade requerida ser

relativamente (em relação aos restantes materiais) pequena e pelo facto de a variação do seu preço aparentar não ser significativa.

3.3.3.3 Custos produtivos

Os custos produtivos são tendencialmente para o componente piso, a par com os custos com materiais, os mais importantes na definição do custo total de um dado elemento. Neste caso específico estes valores estão não só associados aos custos com a mão-de-obra e aos custos decorrentes da exploração dos equipamentos produtivos e instalações fabris, mas também com as taxas de desperdício dos vários materiais utilizados.

Embora as taxas de desperdício dos vários materiais possam ser estimadas com algum grau de certeza (baseando-se as mesmas no conhecimento das dimensões necessárias e das dimensões de fornecimento dos núcleos e das peles) bem como determinando uma taxa de rejeição estimada, os custos com a mão-de-obra e com os equipamentos produtivos e fabris é difícil de prever dado o facto de estes custos se basearem essencialmente nas cadências produtivas, atributo baseado na quantidade de “peças” produzidas por unidade de tempo ou no tempo de produção por cada “peça”.

A cadência produtiva é também uma incógnita para este consórcio pois a mesma detém-se de uma componente teórica (a quantidade de tempo requerida por cada etapa produtiva), uma componente de incerteza (com intuito de acomodar variações no tempo por etapa) e uma componente experimental resultante do acompanhamento junto da produção para a verificação, ajuste e otimização das várias variáveis. Todas estas componentes são também dependentes de diversas variáveis (como a forma e dimensões – que determinam o grau de complexidade de execução) que não são conhecidas pelo consórcio e que poderiam, numa fase posterior deste projeto, ser esclarecidas mediante o já referido hipotético case-study.

3.4WP4 Desenvolvimento

Esta atividade foi composta por quatro tarefas e caracterizou-se pelo desenvolvimento dos materiais e dos componentes galley e piso. O material a desenvolver teria um núcleo otimizado, em aglomerado de cortiça, com base no estudo de uma estrutura do tipo alveolar, com a utilização de agentes aglomerantes alternativos. Pretendeu-se também desenvolver moldes adaptados ao processo de moldação a utilizar, e por fim desenvolver o próprio processo de fabrico do material.

3.4.1 Tarefa 1 – Desenvolvimento do núcleo otimizado

A presente tarefa teve como objetivo final desenvolver um núcleo de cortiça otimizado do ponto de vista do desempenho mecânico (estático), vibrático/acústico (dinâmico) e térmico, para aplicação numa estrutura de tipologia tipicamente sandwich. Durante o período do projeto, esforços foram feitos por parte da UBI no sentido de desenvolver modelos numéricos coerentes e capazes de replicar, através da aplicação do método dos elementos finitos, o desempenho de diferentes configurações geométricas do material do núcleo, no enquadramento dos pontos acima referidos. Posteriormente pretendeu-se que estes resultados fossem confrontados, no âmbito da WP6-T1 e WP6-T2, com dados experimentais obtidos para geometrias semelhantes sujeitas a condições de teste idênticas.

3.4.1.1 Simulações estáticas

Uma grande parte das simulações numéricas realizadas focou-se essencialmente na componente da resistência mecânica (estática), nomeadamente através da simulação de ensaios de flexão para diversos modelos com padrões de perfuração distintos. Esta estratégia de minimização do volume final do núcleo é imprescindível, uma vez que a densidade dos aglomerados de cortiça atualmente existentes são claramente superiores face às várias soluções alternativamente disponíveis no mercado para aplicações em painéis aeronáuticos, entre as quais se destacam sobretudo as espumas poliméricas e os *honeycomb*.

Deste modo, diversas possibilidades referentes às configurações de perfuração do núcleo foram consideradas e as consequentes reduções na rigidez à flexão relativamente a uma configuração de núcleo uniforme foram quantificadas segundo um ponto de vista de otimização paramétrica. Variáveis tais como a geometria dos furos, padrão e razão de perfuração foram tomadas em consideração. Em particular, focaram-se as atenções em seis tipologias de perfuração para o núcleo, que incluíram quer casos de perfurações passantes quer de não passantes. Os casos de perfurações passantes foram baseados em geometrias de furos circulares e em chavetas empregando ambos um padrão de perfuração alinhado e alternado, enquanto que, para as configurações não passantes, uma configuração de furos circulares alinhados (duas camadas superficiais com perfuração de 1/3 da espessura total cada e com offset entre si) e outra em calotes esféricas (furos segundo meias esferas também com perfuração de 1/3 da espessura total cada uma), foram adotadas como podem ser vistas na Figura 28. Importa referir que em todos estes padrões, as áreas dos furos foram reajustadas de modo a que a massa resultante final dos núcleos permanecesse semelhante para efeitos comparativos.

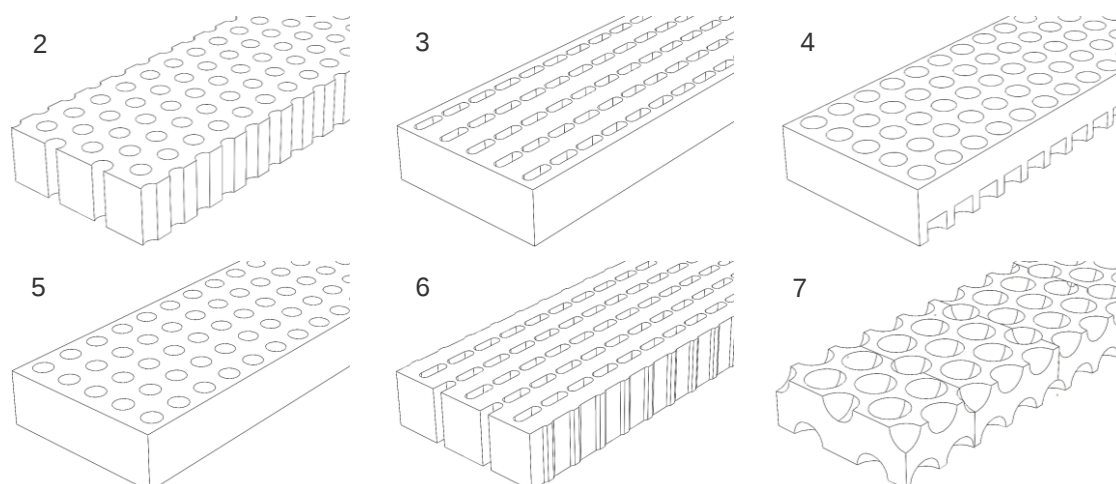


Figura 28: Configurações do núcleo adotadas durante o estudo de otimização paramétrico.

Por sua vez, todas as simulações de ensaios à flexão realizadas tiveram como base alguns dos princípios impostos pela norma ASTM C393 que incluíram as dimensões dos provetes de ensaio, a distância entre os apoios (condições de fronteira), condições de carregamento imposto pela máquina de ensaio, etc.

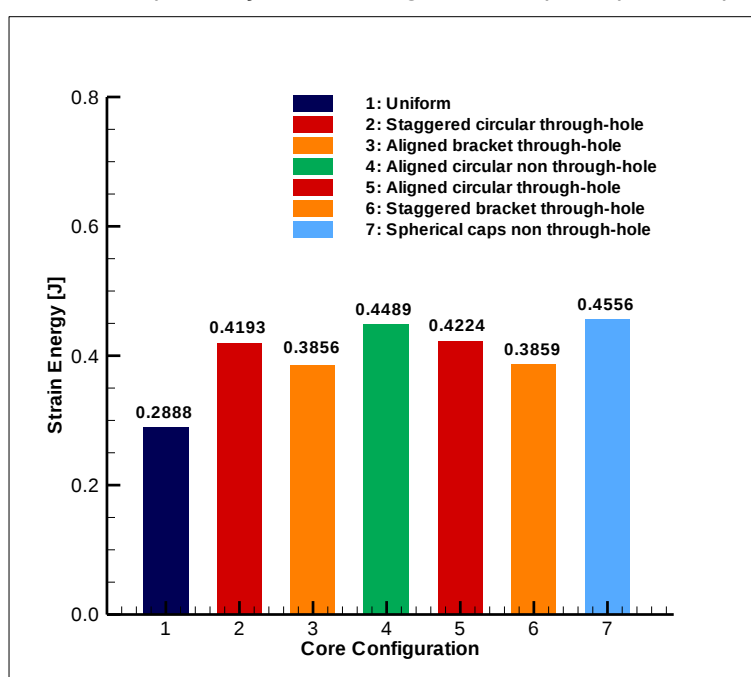


Figura 29: Energias de deformação obtidas para as várias configurações do núcleo sobre a influência do mesmo carregamento.

No gráfico da Figura 29 é possível observar os valores da energia de deformação verificados para os seis conjuntos da Figura 28 (comparativamente à configuração de núcleo uniforme) sobre a influência de um carregamento idêntico. Efetivamente verificou-se que existiu uma clara vantagem em adotar as configurações com furos passantes. Em particular, a configuração em chavetas passantes de centros alinhados foi aquela que apresentou o menor valor de energia de deformação, traduzindo assim um desempenho mecânico, à partida, superior em relação às restantes configurações perfuradas. Aqui,

constatou-se que a redução da rigidez à flexão resultante da sandwiche pôde ser significativamente minimizada para apenas 25% em comparação com o caso do núcleo uniforme. Por sua vez, o pior cenário manifestou-se para a configuração circular não passante, na qual uma redução de rigidez à flexão de 37% foi constatada relativamente à configuração padrão.

Uma alternativa que também foi explorada, traduziu-se no recurso ao módulo de optimização “ATOM” (*ABAQUS Topology Optimization Module*) que atualmente integra as versões mais recentes do *software* de elementos finitos em questão. Apesar destas simulações terem implicado um enorme dispêndio de recursos computacionais, as mesmas foram capazes de dar um contributo positivo para a validação dos resultados anteriores obtidos numa perspetiva de optimização paramétrica. Efetivamente, a solução otimizada fornecida por esta ferramenta, de certo modo assemelhou-se à configuração com furos de geometria em chavetas passantes de centros alinhados, furos estes caracterizados por uma razão de espectro significativa na direção longitudinal, tal como pode ser observado na Figura 30.

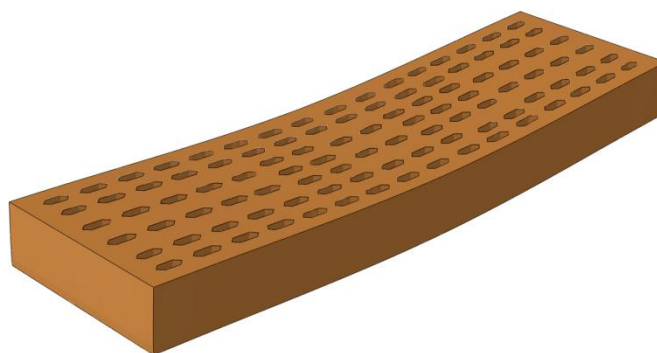


Figura 30: Solução otimizada obtida para o núcleo fornecida com recurso ao ATOM.

3.4.1.2 Simulações dinâmicas

No que respeita aos ensaios da vertente dinâmica, nomeadamente no estudo de supressão vibrática e acústica do material, estudos foram realizados no sentido de quantificar as variações dos fatores de perda modais observados para os respetivos modos de vibração à flexão das sandwiches de acordo com a influência da configuração do núcleo. Assim sendo, algumas das configurações de perfuração definidas anteriormente para a componente estática foram também alvo de estudo para os testes dinâmicos. Estas incluíram duas das configurações passantes (de furos em chavetas alinhados e circulares alternados), juntamente com uma topologia circular não passante. Novamente, a configuração de núcleo uniforme foi considerada para efeitos de referência.

Um aspecto importante a se ter em conta disse respeito à correta modelação do comportamento viscoelástico do NL20 por intermédio do método dos elementos finitos. As propriedades viscoelásticas intrínsecas dos aglomerados de cortiça têm um papel preponderante nas características de dissipação de energia, isto é, no amortecimento e como tal na determinação do fator de perda. As mesmas foram definidas numericamente com base num datasheet fornecido pela ACC.

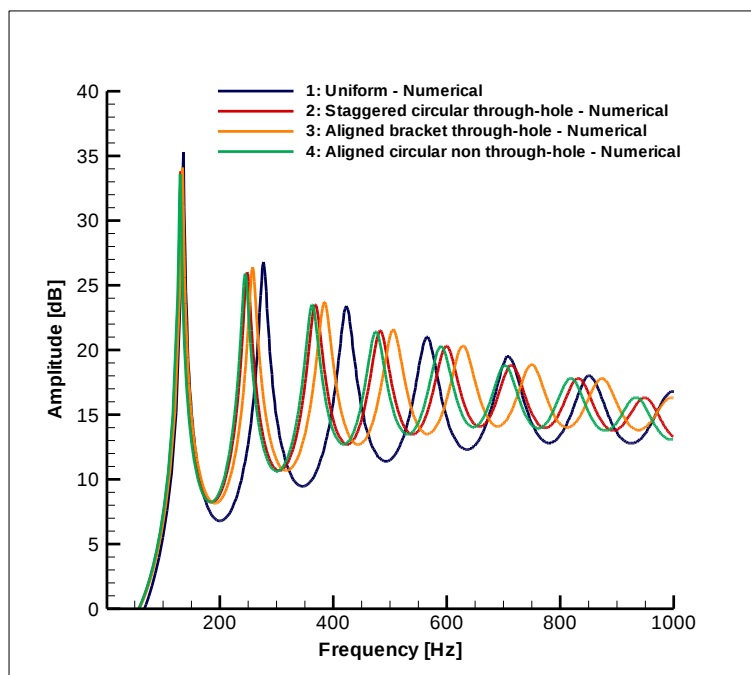


Figura 31: FRF's obtidas numericamente para as configurações do núcleo adotadas.

O gráfico da Figura 31 apresenta as funções de resposta de frequência obtidas numericamente para as quatro configurações anteriormente supracitadas sobre um intervalo de frequências especificado. Na Figura 32 é possível observar-se os correspondentes 6 primeiros modos de flexão nesse mesmo intervalo de frequências. Como é possível observar, a configuração do núcleo teve um papel preponderante no comportamento dinâmico dos painéis, facto este demonstrado pelo desfasamento evidente entre as várias curvas do gráfico.

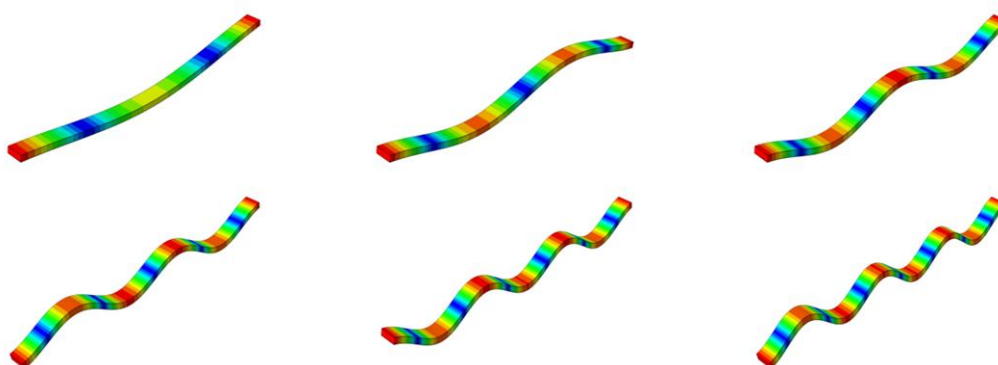


Figura 32: Primeiros seis modos de vibração de flexão obtidos num intervalo de frequências de 0-1000Hz.

As funções de resposta em frequência obtidas foram por sua vez confrontadas com as obtidas nos testes experimentais (referidos em 3.6.2.1) para cada um dos casos de diferentes configurações do núcleo. A título de exemplo, o gráfico da Figura 33 fornece esta informação no que concerne à situação do núcleo

uniforme. De forma geral, a curva numérica e experimental estão em boa concordância, com um erro mínimo observado num intervalo de frequência de 0-1000Hz.

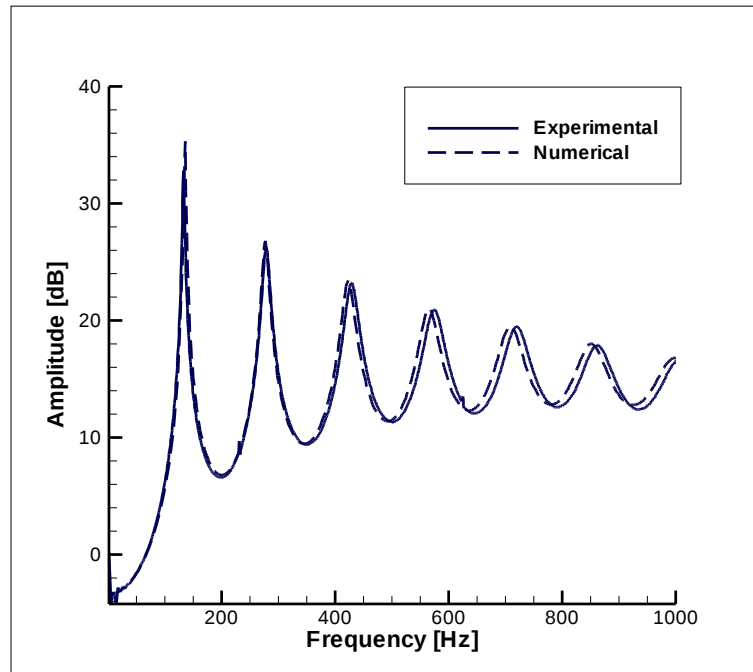


Figura 33: FRF's obtidas experimentalmente e numericamente para a configuração de núcleo uniforme.

As variações dos fatores de perda obtidos tanto pela via experimental como pela numérica podem ser observados no gráfico da Figura 34. A conclusão mais importante que se retira daqui é que apesar de uma diminuição na rigidez mecânica dos painéis ser evidente, a inclusão das perfurações no núcleo trouxe, no entanto, um efeito benéfico no que respeita à maximização dos fatores de perda. Algumas diferenças no que respeita ao impacto da configuração geométrica dos furos também puderam ser evidentes neste sentido, ainda que tenham sido pouco significativas. Neste caso, concluiu-se que os resultados mais promissores em termos de amortecimento foram observados tanto experimentalmente como numericamente para a configuração circular não passante, na qual se verificou um aumento médio de aproximadamente 20% para os fatores de perda em relação à configuração de núcleo uniforme, assumindo-se uma redução de massa do mesmo na ordem dos 25%. Já o pior caso, por sua vez, foi verificado para a configuração com furos em chavetas, o que leva assim a concluir que as melhores configurações em termos de supressão vibrática, foram aquelas que apresentaram contudo uma rigidez mecânica à flexão inferior.

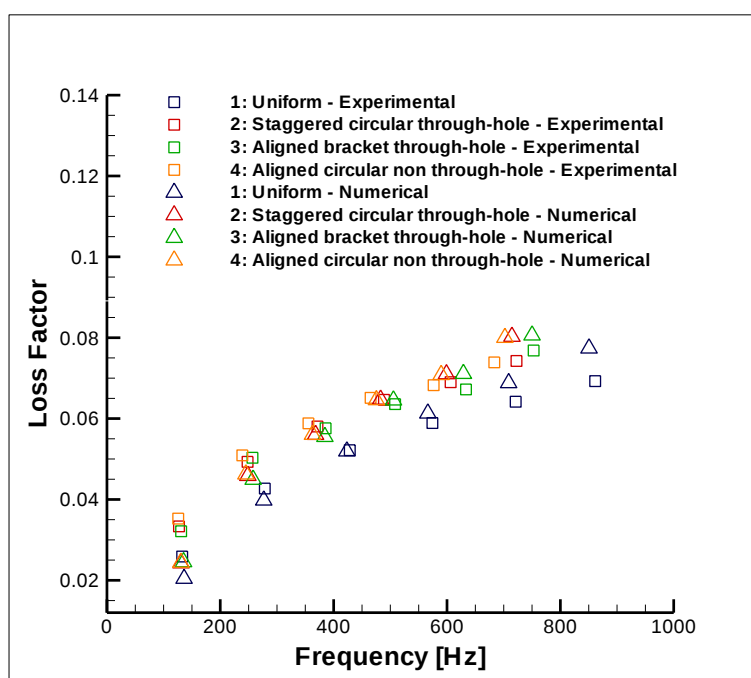


Figura 34: Fatores de perda obtidos experimentalmente e numericamente para as configurações do núcleo adotadas.

3.4.1.3 Simulações térmicas

Relativamente ao estudo da componente térmica, o objetivo aqui passou por avaliar a capacidade de isolamento térmico do núcleo atendendo à influência da sua configuração de perfuração. De igual modo, as configurações aqui testadas foram definidas com base naquelas que foram anteriormente descritas durante o estudo estático e dinâmico.

Do ponto de vista das simulações numéricas, as mesmas tiveram como referência a norma ASTM C177, tendo sido realizadas para conjuntos sandwich de forma circular com um diâmetro de 150mm. Ao assumirem uma geometria circular, é possível evitar os efeitos de fronteira que se formam tipicamente em extremidades onde o calor é altamente tridimensional. O aglomerado adotado para o núcleo foi novamente o NL20 com 18mm de espessura e com um coeficiente de condutividade térmica de 0.044 W/mK. As simulações consistiram assim em aquecer a superfície de uma das peles de alumínio a uma determinada temperatura de referência com o intuito de medir assim o valor resultante na face oposta após atingido o estado de equilíbrio. Por sua vez, tal como indicado pela norma, as faces laterais permaneceram isoladas, encontrando-se somente a face superior em contacto com o ar (sujeita a convecção), assim como o volume interno dos furos.

A magnitude das temperaturas medidas numericamente e experimentalmente no centro da face superior das amostras para 4 configurações de núcleo, depois de um estado de equilíbrio ter sido alcançado, podem ser encontradas no gráfico da Figura 35. Neste caso, tornou-se evidente que o núcleo que adotou uma configuração circular não passante demonstrou ser o mais isolante face aos restantes.

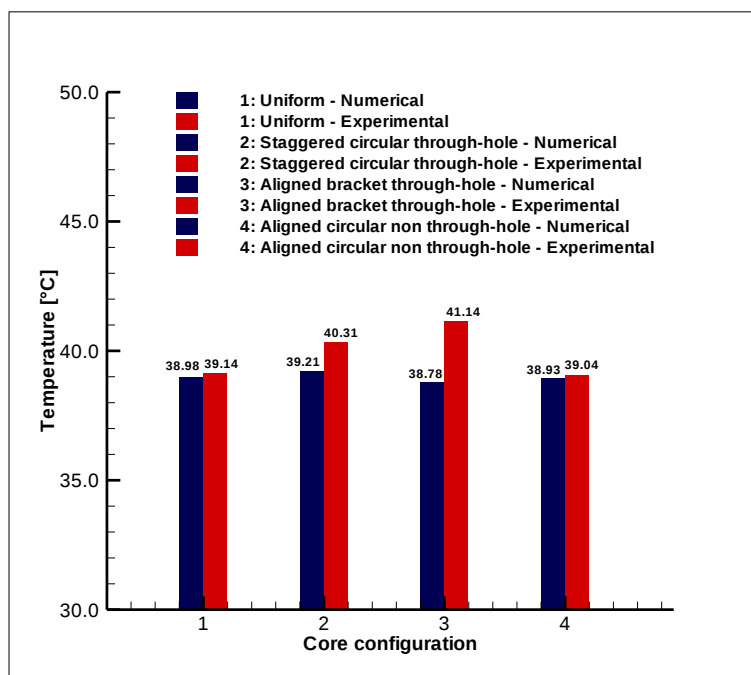


Figura 35: Temperaturas obtidas experimentalmente e numericamente para as configurações do núcleo adotadas.

3.4.2 Tarefa 2 – Desenvolvimento do núcleo de cortiça

O desenvolvimento do material de núcleo propriamente dito, aquele sobre o qual viria a ser aplicada a otimização recorrendo às alterações geométricas tratadas na WP4-T1 e descritas acima, prosseguiu em paralelo com essa atividade dada a intrínseca interligação entre estas duas atividades. Assim foi objetivo desta tarefa a definição do material aglomerado de cortiça sobre o qual seriam aplicadas as várias geometrias de otimização descritas na tarefa anterior. No entanto e por forma a possibilitar a execução simultânea das tarefas o processo de otimização assentou num material de base adequado e de propriedades iniciais já de si interessantes.

A fim de se alcançar a definição do material mais adequado foi necessário recorrer à experimentação executando-se uma bateria de ensaios a várias formulações químicas, tendo para tal sido necessário o fabrico de placas dessas várias formulações químicas a fim de darem origem aos provetes de ensaio requeridos. A bateria de ensaios realizados contemplou a determinação quantitativa de propriedades essenciais na seleção do material globalmente mais vantajoso tais como a determinação do peso superficial, da resistência à flexão e do módulo elástico, e da resistência à compressão.



Figura 36: Placa de material aglomerado de cortiça com epóxi.



Figura 37: Corte transversal de placa de material aglomerado de cortiça com epóxi.

3.4.2.1 Densidade e peso superficial

A determinação da densidade e do peso superficial ganharam uma grande importância neste projeto dado que o peso total do conjunto (painel sandwich) é uma das principais variáveis de otimização tomando esta propriedade um relevo excecional na indústria aeronáutica onde o “emagrecimento” das estruturas é correntemente alvo de importantes desenvolvimentos. Abaixo apresentam-se, sumariamente e agregados numa tabela, os resultados destes ensaios.

Tabela 1: Tabela de resultados dos ensaios de determinação da Densidade e do Peso Superficial.

Formulação	Provete	Densidade (Kg/m ³)	Densidade Média (Kg/m ³)	Peso Superficial (Kg/m ²)	Peso Superficial Médio (Kg/m ²)
ZE08-2.1 (12mm)	1	237	234,7	2,78	2,8
	2	239		2,79	
	3	235		2,75	
	4	229		2,68	
ZE08-2.2 (12mm)	1	203	203,9	2,38	2,4
	2	207		2,42	

	3	202		2,36	
ZE08-3 (12mm)	1	223	218,8	2,62	2,6
	2	217		2,54	
	3	216		2,52	
ZE03-2.1 (12mm)	1	214	211,7	2,51	2,5
	2	211		2,49	
	3	211		2,47	
ZE03-2.2 (12mm)	1	217	223,2	2,55	2,6
	2	230		2,70	
	3	222		2,61	
ZE03-3 (12mm)	1	212	216,2	2,48	2,5
	2	211		2,47	
	3	226		2,64	

3.4.2.2 Resistência à Flexão e Módulo Elástico

A determinação da Resistência à Flexão e do Módulo Elástico forneceram importantes indicadores sobre a resistência mecânica global do aglomerado de cortiça pelo que a execução destes ensaios se tornou imprescindível. De igual forma, e existindo uma relação direta entre a resistência mecânica e a densidade destes materiais, estes ensaios fornecem também uma forma simplificada de avaliação das relações de compromisso entre a obtenção de uma melhor resistência mecânica e a obtenção de um material de baixo peso. Abaixo apresentam-se, sumariamente e agregados numa tabela, os resultados destes ensaios.

Tabela 2: Tabela de resultados dos ensaios de determinação da Resistência à Flexão e do Módulo de Elasticidade.

Material	Provetes	Resistência à Flexão (MPa)	Resistência à Flexão Média (MPa)	Módulo Elástico (MPa)	Módulo Elástico Médio (MPa)
ZE08-2.1 (Span 240mm)	1	1,36	1,3	74,30	73,7
	2	1,28		73,10	
ZE08-2.2 (Span 240mm)	1	1,40	1,4	76,89	76,4
	2	1,33		75,87	
ZE08-3 (Span 240mm)	1	1,32	1,4	84,04	83,5
	2	1,47		82,99	
ZE03-2.1 (Span 240mm)	1	1,51	1,5	73,71	75,0
	2	1,56		76,30	
ZE03-2.2	1	2,04	1,9	95,85	90,1

(Span 240mm)	2	1,76		84,34	
ZE03-3 (Span 240mm)	1	1,87	1,8	106,36	103,2
	2	1,82		100,01	

3.4.2.3 Resistência à compressão

Por seu lado a determinação da Resistência à Compressão ofereceu importantes indicadores sobre a resistência mecânica que o material de núcleo oferece quando solicitado à compressão, sendo esta informação determinante para a escolha do material mais adequado dado que tanto o material de núcleo como o material das peles num painel sandwich são solicitados à compressão. Abaixo apresentam-se, sumariamente e agregados numa tabela, os resultados destes ensaios.

Tabela 3: Tabela de resultados dos ensaios de determinação da Resistência à Compressão.

Material	Provetes	Carga a 2% Compressão (MPa)	Carga a 10% Compressão (MPa)	Módulo à Compressão (MPa)
ZE08-2.1 (50x50mm)	1	0,64	1,14	32,7
	2	0,62	1,14	31,7
	3	0,61	1,17	31,0
	Média	0,62	1,15	31,8
ZE08-2.2 (50x50mm)	1	0,53	0,98	26,6
	2	0,61	1,10	30,5
	3	0,47	1,07	24,5
	Média	0,54	1,05	27,2
ZE08-3 (50x50mm)	1	0,57	1,00	29,3
	2	0,50	0,93	24,9
	3	0,50	1,05	25,0
	Média	0,52	1,00	26,4
ZE03-2.1 (50x50mm)	1	0,58	0,96	30,5
	2	0,61	0,96	32,5
	3	0,64	1,06	34,4
	Média	0,61	0,99	32,5
ZE03-2.2 (50x50mm)	1	0,50	1,01	27,2
	2	0,64	1,02	34,8
	3	0,65	1,07	34,1
	Média	0,59	1,03	32,0

ZE03-3 (50x50mm)	1	0,64	1,06	34,1
	2	0,59	0,96	32,0
	3	0,60	0,96	30,3
	Média	0,61	0,99	32,1

3.4.2.4 Seleção do material de núcleo a otimizar

Após uma análise cuidada aos resultados acima apresentados foi possível efetuar-se a escolha pela configuração denominada “ZE08-2.2” por esta ser o melhor compromisso entre a sua densidade (critério de seleção com maior preponderância na aplicação de destino) e as restantes propriedades mecânicas.

Desta análise foi possível verificar que esta é a configuração que apresenta a menor densidade média (e como tal apresenta também um menor peso superficial) não significando isso que as suas propriedades mecânicas fiquem fortemente comprometidas. De facto foi também possível verificar, através das tabelas que sumarizam os ensaios à flexão e à compressão, que a configuração mencionada apresenta uma performance semelhante (se não superior) a outras configurações que se apresentam com maior densidade, sendo a escolha por estas últimas um detrimento tendo em conta a principal variável de otimização (o peso).

3.4.3 Tarefa 3 – Desenvolvimento de molde

Como descrito na tarefa 2 (Maquetas de Estudo) do WP3 (Aquisição e desenvolvimento de novos conhecimentos) do presente projeto foi inicialmente gerado um modelo tridimensional CAD do demonstrador com base em todos os conhecimentos adquiridos e requisitos definidos, incluindo todos os equipamentos, materiais e acabamentos propostos. Esta informação geométrica foi partilhada entre as equipas responsáveis pelo desenvolvimento/fabrico das peças e o modelo tridimensional de superfícies foi analisado e convertido para modelo de sólidos. Esta otimização compreende, entre outras situações, a resolução de questões técnicas (i.e. constrangimentos dimensionais e intersecções entre peças, folgas entre peças, ângulos de saída de moldes para fabrico das peças em compósito, adaptação da geometria para maquinagem, etc.) de todas as peças do demonstrador. Ainda que contando com a participação dos restantes membros do consórcio, esta tarefa foi desenvolvida essencialmente pela interação entre a equipa de engenharia do INEGI e a equipa de design da Almadesign.

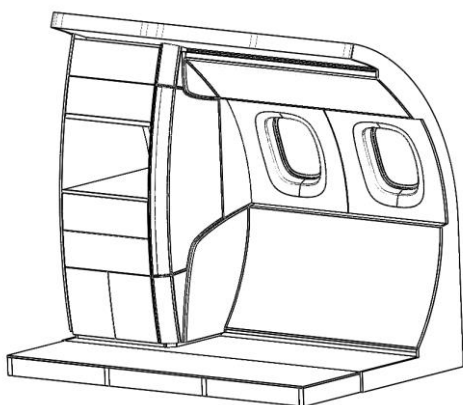
Durante este processo foram também propostas as ferragens para as zonas funcionais do demonstrador, abertura das tampas superiores da galley, sistema de abertura de gavetas e os equipamentos para iluminação (réguas de LED superiores e inferiores).

A Almadesign e o INEGI desenvolveram também uma estratégia de montagem do demonstrador, através de modelos virtuais com possíveis sequências de montagem dos componentes. Estes modelos permitem antever problemas futuros na montagem do demonstrador e levaram à alteração de algumas peças para garantir a exequibilidade do protótipo.

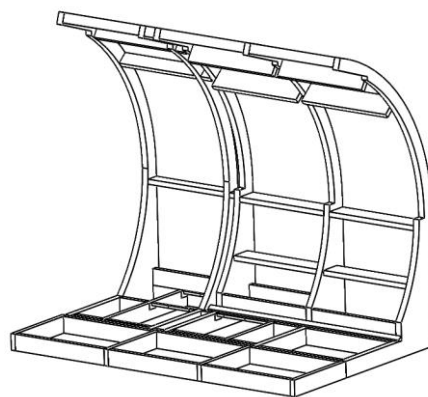


Figura 38: Processo de Assemblagem – modelo virtual.

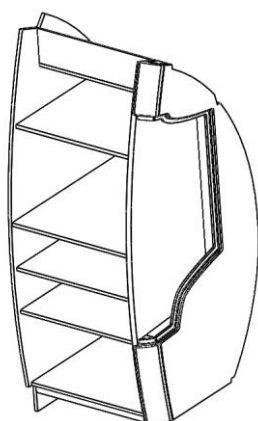
Posteriormente, foram identificados e agrupados os componentes segundo o processo produtivo.



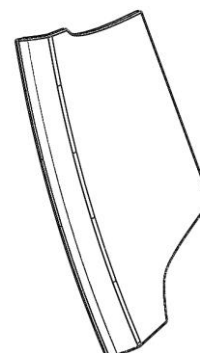
a) Mock-up;



b) Cavername;



c) Módulo de prateleiras;



d) Paineis da porta;

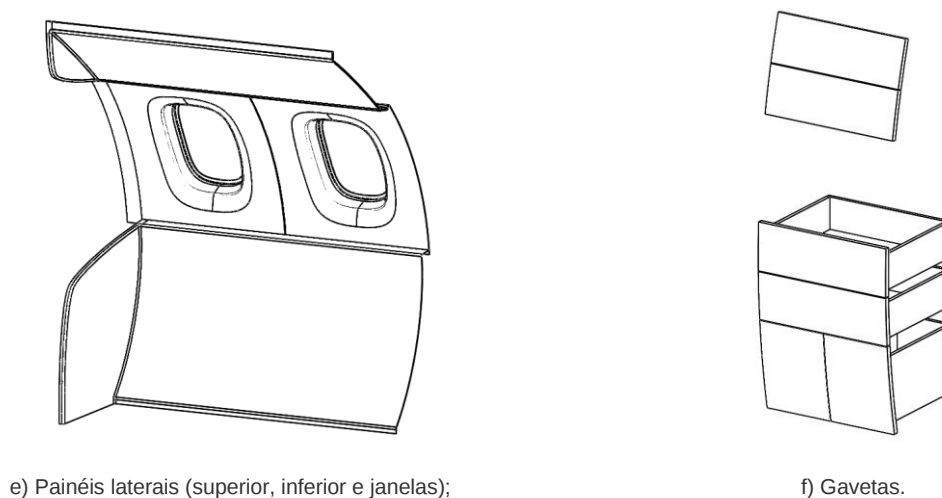


Figura 39: Vista 3D da mock-up e subconjuntos.

Módulo de prateleiras e painéis frontais das gavetas

O módulo de prateleiras é o componente principal da galley pois é a base para todos os outros subcomponentes que a constituem, tendo por isso funções essencialmente estruturais. A estratégia proposta para a sua produção baseou-se na produção de alguns painéis sandwich planos produzidos em peles de termoplástico reforçado com fibra de vidro e núcleo de cortiça, a colagem das peles ao núcleo da sandwich foi feita com recurso a uma prensa de pratos quentes. A adesão entre as peles e o núcleo foi conseguida através da aplicação de um filme adesivo termoplástico (“hotmelt”) entre os mesmos e por aplicação de calor (temperatura admissível pela cortiça) e pressão. A fixação entre painéis assim como dispositivos de abertura de gavetas e portas foi definido com base em soluções da *Blum*.

A mesma estratégia foi aplicada à produção das gavetas e painéis frontais das gavetas. Note-se que estes últimos apresentam uma ligeira curvatura obrigando à construção de um molde que apresentasse essa mesma curvatura. Por se tratarem de superfícies curvas para sua produção recorreu-se a meios como a câmara climática e a bomba de vácuo (saco de vácuo).

Painel da porta

Este componente tem funções estéticas, existindo por isso preocupações ao nível do acabamento das superfícies interior e exterior da peça. Assim, o processo selecionado para a sua produção foi o LITE-RTM em que é utilizado um molde e um contramolde. Os materiais propostos para a sua produção foram a fibra de vidro com matriz de resina epoxídica com requisito antifogo segundo as normas definido pela EASA – European Aviation Safety Agency.

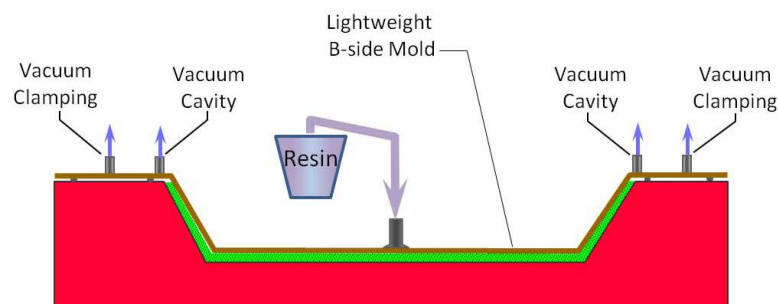


Figura 40: Esquema representativo do processo LITE-RTM.

O molde para a produção deste componente está representado na imagem seguinte. A partir do molde rígido de poliuretano (densidade 800 kg/m³) poderá ser fabricado o contramolde em fibra de vidro.

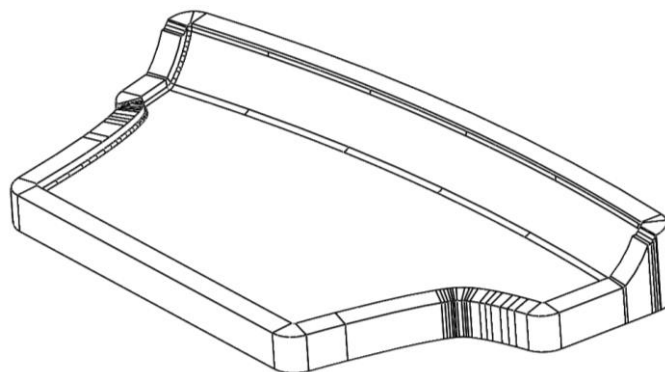


Figura 41: Vista 3D do molde do painel da porta.

Painéis laterais

Os materiais propostos para a produção dos painéis laterais foram fibra de vidro com matriz epoxídica com os mesmos requisitos antifogo acima indicados. Uma vez que apenas uma das faces tem requisitos estéticos e o peso das peças é importante para o desempenho da aeronave o processo proposto para a sua produção foi a infusão de resina, figura seguinte.

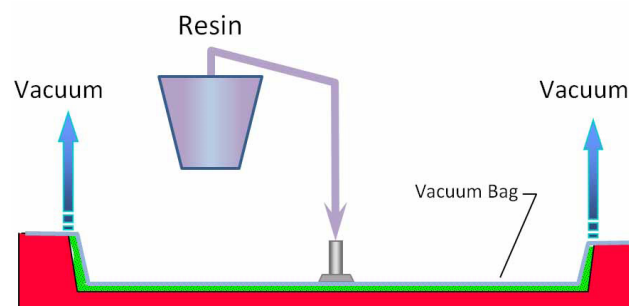
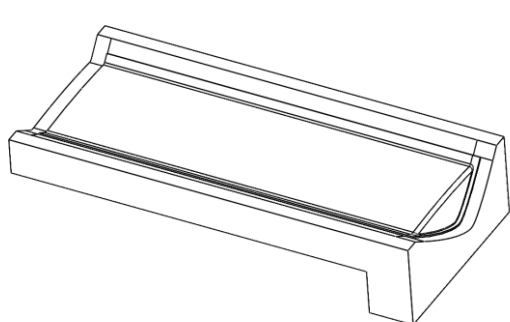
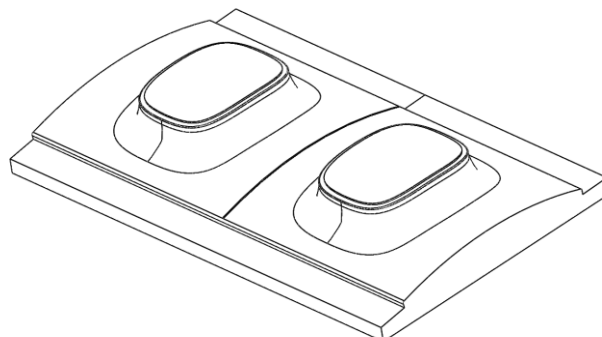


Figura 42: Esquema representativo do processo de infusão.

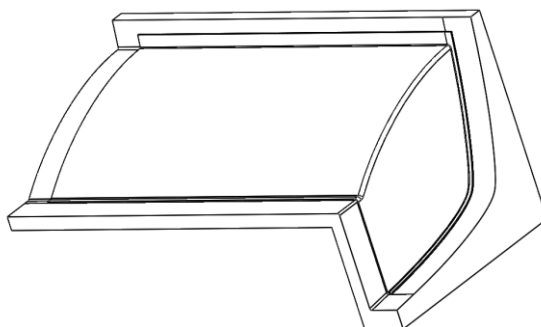
A seguir apresentam-se as representações esquemáticas 3D dos moldes dos painéis superior e inferior e da janela.



Molde do painel lateral superior.



Molde do painel lateral da janela.



Molde do painel lateral inferior.

Figura 43: Moldes dos diversos painéis para o processo de infusão.

3.4.4 Tarefa 4 – Desenvolvimento do processo

Considerando os resultados das experiências anteriores de aplicação direta das peles sobre um núcleo de cortiça, foi necessário encontrar alternativas que garantissem a adesão entre o núcleo e as peles sem degradação do núcleo. A solução proposta foi a de usar adesivos “hot melt” de matriz termoplástica cuja temperatura de processamento fosse inferior à temperatura de degradação da cortiça ($< 150^{\circ}\text{C}$) mantendo as propriedades mecânicas do conjunto. A temperatura de serviço do conjunto fica assim limitada a 80°C , temperatura a partir da qual o adesivo perde propriedades (as peles têm uma temperatura de serviço de 120°C). No entanto, uma interessante vantagem no uso deste tipo de adesivo é a possibilidade de “desassemblar” a sandwich, ou seja, com a aplicação de calor, elevando a temperatura acima da temperatura de fusão do adesivo é possível remover as peles do núcleo e garantir a sua reutilização para outra aplicação, permitindo também o fácil acesso ao núcleo de cortiça para reutilização.

Para comparação destes adesivos com outros, já extensivamente aplicados, para aplicação no fabrico de sandwiches, foram efetuados provetes para ensaios de flexão segundo a norma ASTM C 393.

Com efeito, foram seleccionadas peles e adesivos com certificação aeronáutica (incluindo a resistência ao fogo).

Assim foram fabricados provetes com base nas seguintes peles:

- Matriz termoplástica Cetex® TC925 FST - Polycarbonate Resin System
- Matriz fenólica PH840-300-42
- Matriz Epoxy EF452

Foram somente aplicados adesivos termoplásticos para adesão das peles Cetex TC925, sendo que para os restantes, foi usada diretamente a pele sobre o núcleo, esperando-se que a resina existente nos “prepreg” fosse capaz de gerar a adesão. Na figura seguinte pode-se visualizar o empilhamento dos provetes de dimensão 150X50X5mm consoante a constituição da matriz das peles.

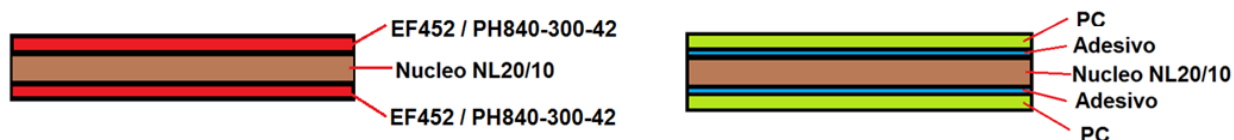
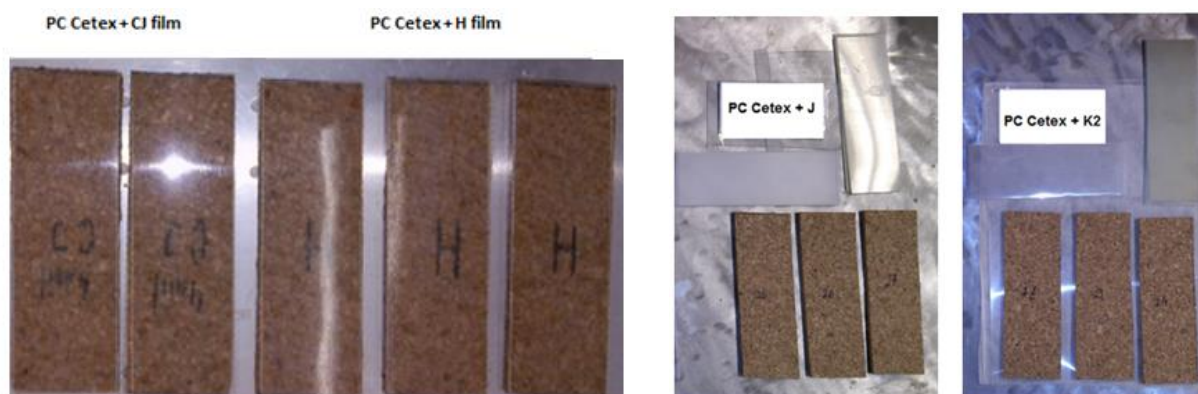


Figura 44: Constituição das sandwiches com peles de matriz termoendurecível (à esquerda) e matriz termoplástica (à direita).

Para o processamento das sandwiches foram seguidos os ciclos térmicos designados pelos respetivos fornecedores. Estes ensaios foram efetuados com recurso a equipamentos do INEGI, nomeadamente a uma bomba de vácuo, para criar pressão entre as peles e o núcleo durante o processamento, e à câmara climática Weiss para implementação do ciclo térmico. As figuras seguintes apresentam os provetes e respetivos ensaios realizados segundo a norma ASTM C 393.



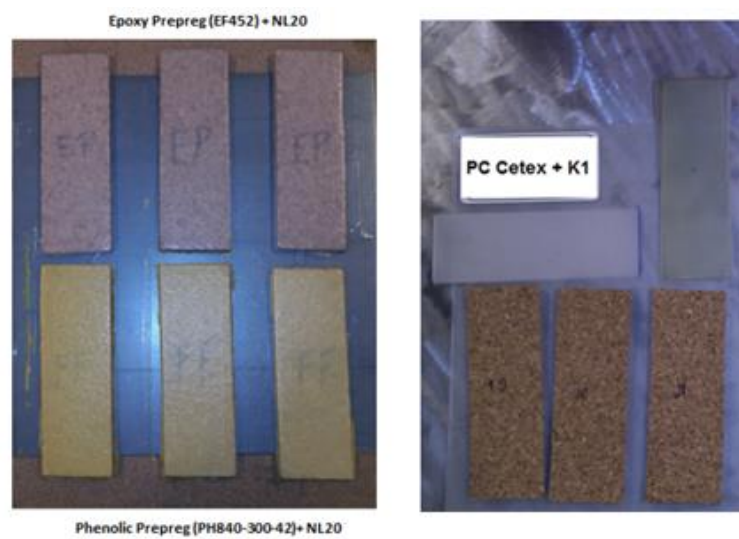


Figura 45: Alguns dos provetes produzidos para ensaios de flexão.

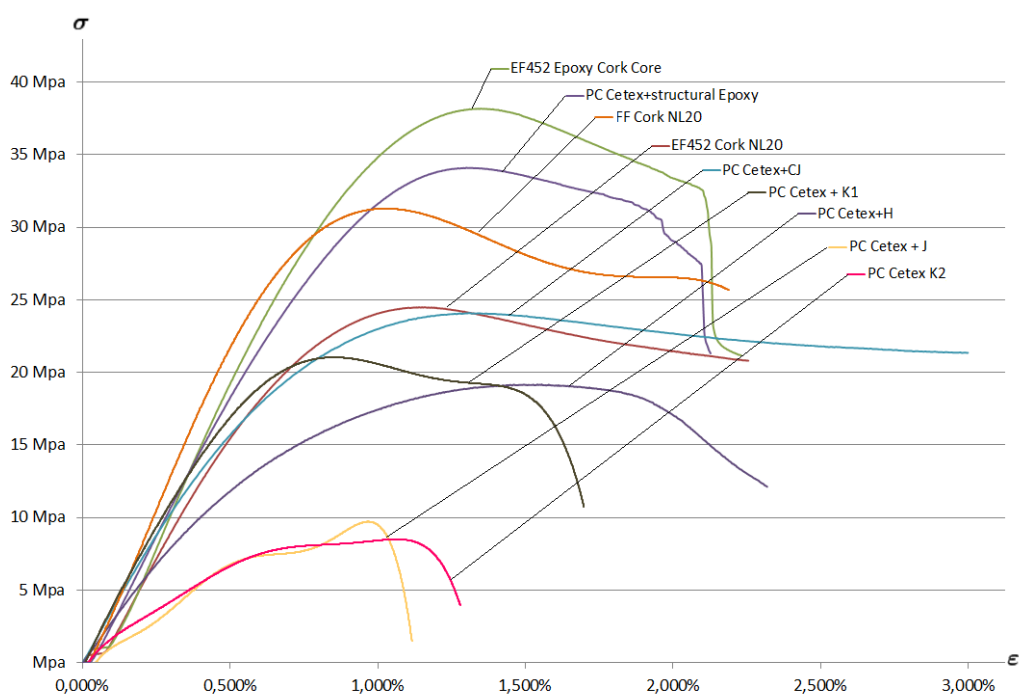


Figura 46: Gráfico Tensão x Deformação dos provetes ensaiados.

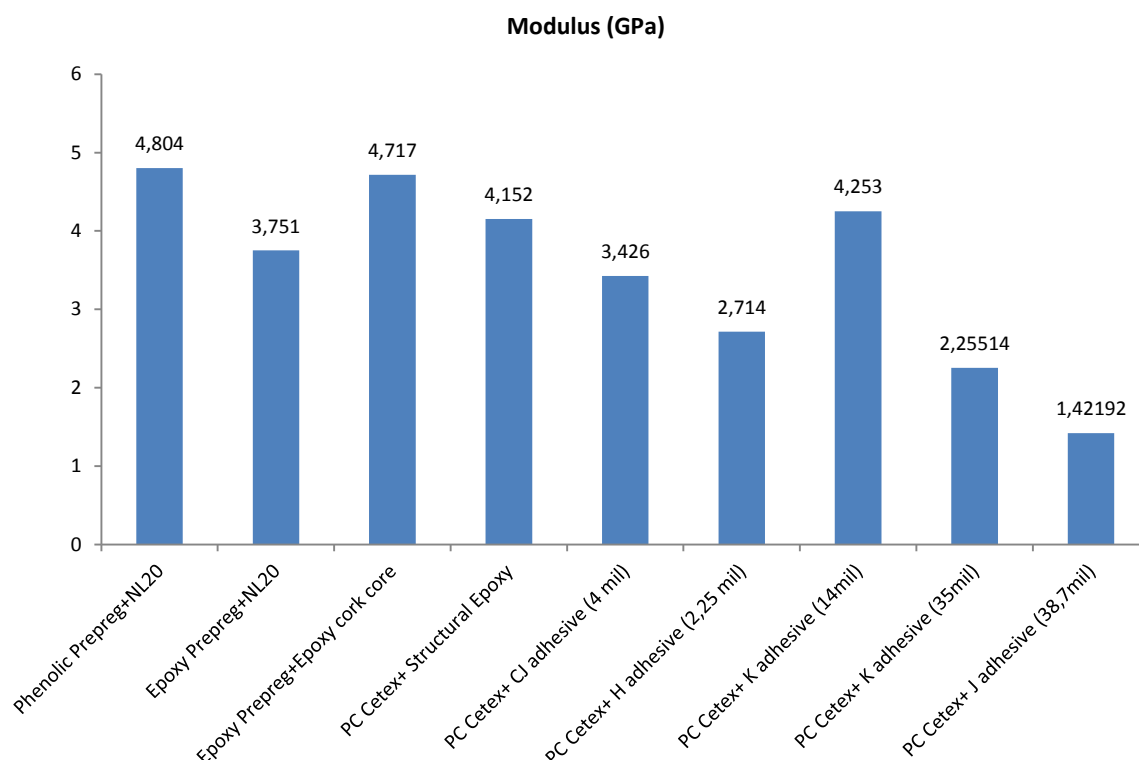


Figura 47: Comparação do módulo dos provetes ensaiados.

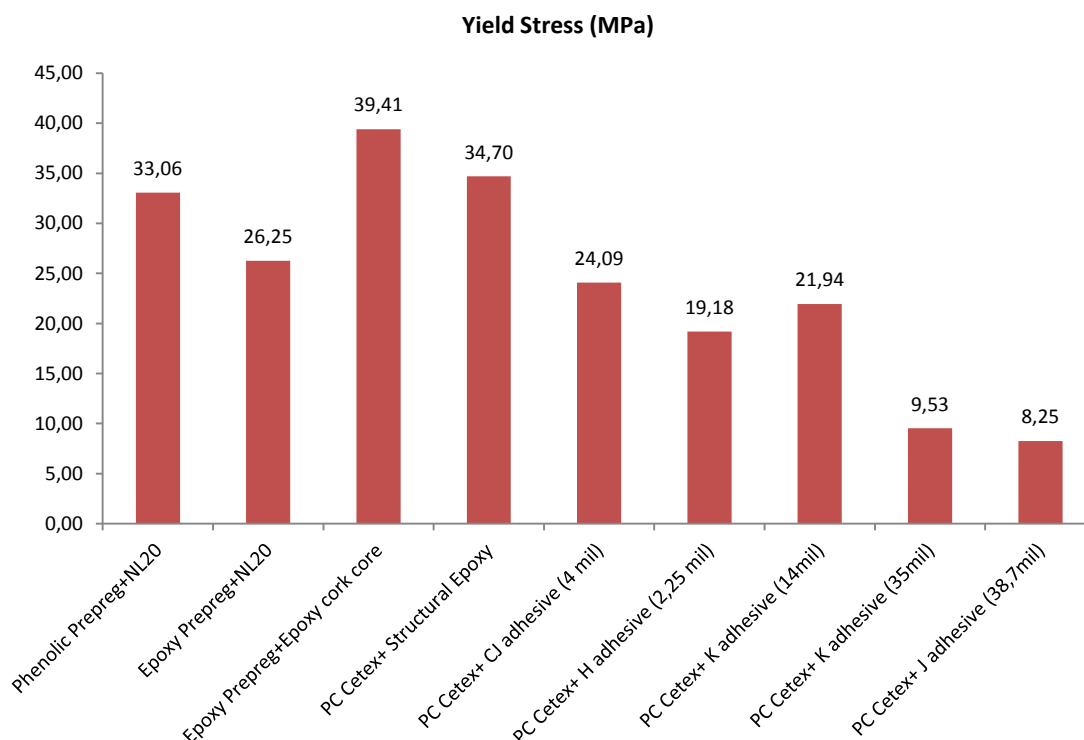


Figura 48: Comparação da tensão de cedência dos provetes ensaiados.

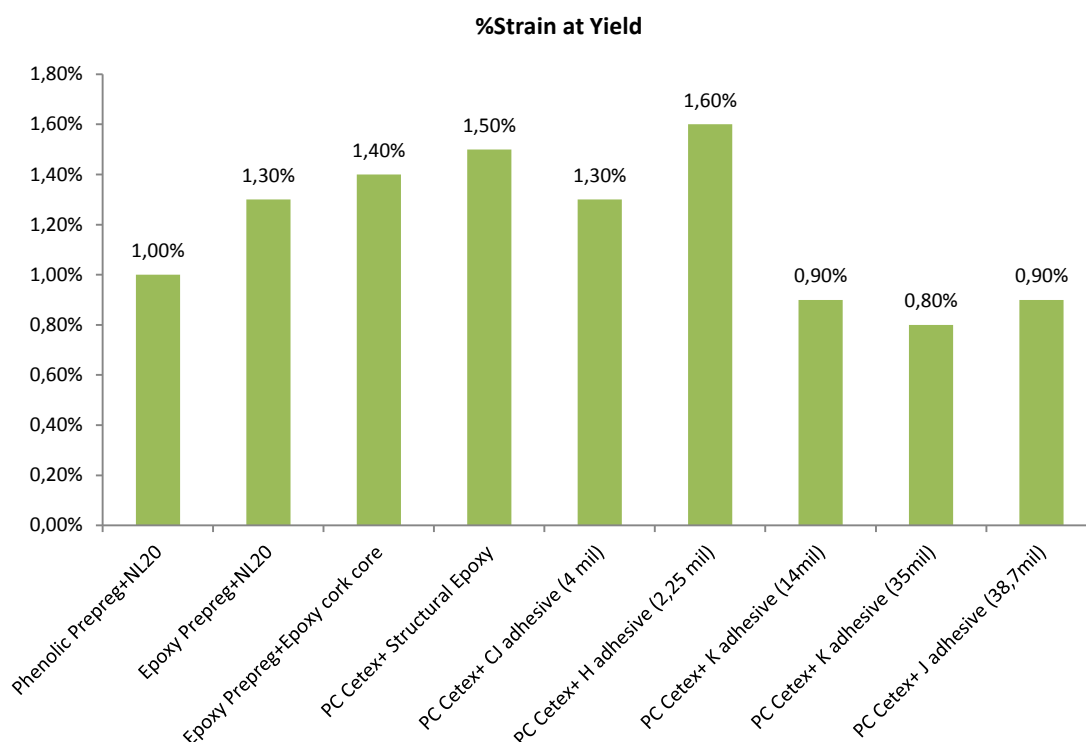


Figura 49: Comparação da deformação dos provetes ensaiados.

Da análise dos resultados anteriores, verificou-se que os melhores resultados pertencem aos provetes constituídos por peles de pré-impregnado de resina epoxídica com núcleo de cortiça também aglomerado com a mesma resina (epoxídica). No entanto, considerando que a produção dos núcleos de cortiça aglomerados com resina epoxídica ainda se encontra numa fase de desenvolvimento, foi decidido comparar somente os resultados de provetes com núcleo NL20. Com efeito foi efetuado o cálculo da massa volúmica das diversas sandwiches (tabela seguinte) com núcleo NL20.

	<i>Phenolic Prepreg</i>	<i>Epoxy Prepreg</i>	<i>PC Cetex Structural epoxy</i>	<i>PC Cetex CJ</i>	<i>PC Cetex H</i>	<i>PC Cetex K1</i>	<i>PC Cetex K 2</i>	<i>PC Cetex J</i>
Glass fibre weight (g/m ²)	300	300	303	303	303	303	303	303
Prepreg weight (g/m ²)	525	568	468,5	468,5	468,5	468,5	468,5	468,5
Number of plies per surface	2	2	2	2	2	2	2	2
Fibre content per surface (g/m ²)	600	600	606	606	606	606	606	606
Adhesive content per surface (g/m ²)	450	536	386	98	55	342	855	945
Total weight (g/m ²)	1050	1136	1323	1035	992	1279	1792	1882

Figura 50: Cálculo da massa volúmica das várias sandwiches.

Assim dos resultados obtidos destaca-se a combinação do PC Cetex com adesivo estrutural epóxi. Esta performance pode dever-se à absorção do adesivo por parte do núcleo, conferindo-lhe por isso rigidez e peso adicional.

No que toca aos provetes com adesivos e peles de matriz termoplástica, o melhor resultado pertence aos provetes com adesivo tipo CJ, sendo que apesar de ter um pior comportamento que os provetes de pele fenólica está sensivelmente ao nível dos provetes de pele epóxi. A massa volúmica desta solução também é interessante, sendo a 2ª mais leve de todos os provetes ensaiados. Considerando as inúmeras vantagens anexadas a estes materiais, foi decidido fabricar alguns dos componentes do módulo de prateleiras e os painéis frontais das gavetas com recurso a peles de compósito de matriz termoplástica com adesivo CJ.

Também o processo de produção dos painéis sandwich para a componente piso foi alvo de desenvolvimento e assim abaixo se descreve sucintamente a metodologia a seguir para o fabrico destas estruturas. Desta forma de seguida apresenta-se o método seguido para o fabrico de um pequeno painel sandwich com peles de alumínio e núcleo em aglomerado de cortiça, sendo estes procedimentos extensíveis a painéis de outras dimensões e/ou formas, ainda que com algumas possíveis nuances dado o diferente grau de complexidade que essas estruturas possam tomar.

O fabrico dos painéis inicia-se, seguindo as boas práticas, pela preparação dos materiais necessários, fase que inclui a limpeza das superfícies a colar com recurso a um agente de remoção de sujidade/gordura.



Figura 51: Operação de limpeza.

De seguida inicia-se de deposição da cola que fará a fixação adesiva do conjunto sobre as peles de alumínio. Esta operação manual exige um cuidado atento para que a camada de cola disposta sobre as peles seja, tanto quanto possível numa aplicação manual, uniforme e que tenha uma quantidade controlada para que se garanta a existência de adesivo em toda a superfície a colar e que a resistência desse elo adesivo seja uniforme ao longo de toda a superfície.



Figura 52: Aplicação manual de cola (esquerda) e aplicação concluída (direita).

Concluída a aplicação da cola segue-se o posicionamento das várias camadas na sua disposição final. Para o efeito começa-se por dispor a camada de material de núcleo sobre a primeira pele de alumínio, colocando-se de seguida a ultima camada de alumínio sobre esta.

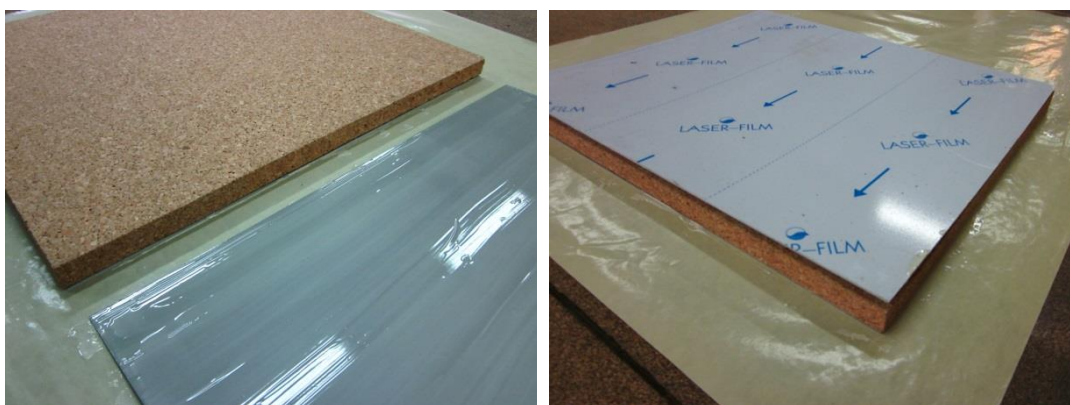


Figura 53: Adição do material de núcleo (esquerda) e da última pele (direita).

Concluída a “assemblagem” do painel sandwich torna-se necessário efetivar de forma definitiva a ligação adesiva entre as várias camadas. Para tal é necessária a aplicação de pressão uniforme sobre estas camadas, situação que se consegue mediante a colocação do conjunto numa prensa de pratos aquecidos. A função de aquecimento desta prensa não é no entanto necessária pelo facto de a cola utilizada curar à temperatura ambiente.



Figura 54: Colocação em prensa (esquerda) e prensagem (direita).

3.5WP5 Construção Protótipo

O objetivo da tarefa 1, desta atividade, consistiu na preparação dos meios produtivos capazes para a produção dos componentes que compõem o demonstrador. Na tarefa 2 o objetivo foi o de obter as peças através da capacidade produtiva instalada para subsequente integração, prevista na tarefa 3.

3.5.1 Tarefa 1 – Preparação de instalação para fabrico de demonstrador

No âmbito desta tarefa, foram preparados todos os meios produtivos necessários à concretização do demonstrador bem como revisto o *layout* do laboratório da unidade de materiais compósitos do INEGI (integrador) por forma a se agilizar o trabalho necessário. A figura seguinte apresenta a prensa e pratos de aquecimento/arrefecimento utilizados para a produção das *sandwiches* de compósitos de matriz termoplástica (placas planas das gavetas).



Figura 55: Prensa com pratos de aquecimento/arrefecimento controlados.

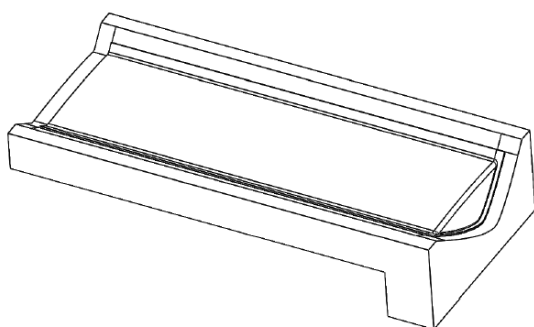
Para a produção das *sandwiches* dos painéis frontais das gavetas foi produzido um molde com vista à conformação a quente das peles sobre a cortiça com recurso a um adesivo também termoplástico. Para o efeito foi necessário recorrer a mais dois equipamentos, nomeadamente a uma bomba de vácuo e uma câmara climática.



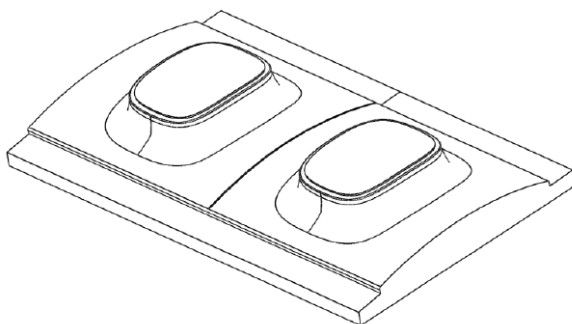


Figura 56: Bomba de vácuo e câmara climática e preparação do saco de vácuo sobre o molde das gavetas.

Os restantes painéis foram produzidos pelo processo de infusão, para isso uma série de moldes foram também produzidos.

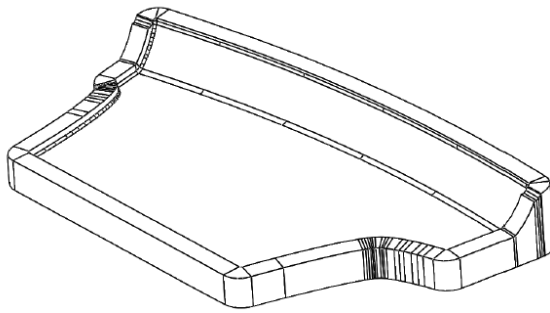


Molde do painel lateral superior

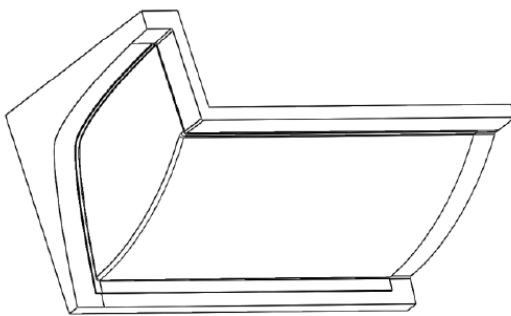


Molde do painel lateral da janela





Molde do painel da porta



Molde painel lateral inferior

Figura 57: Moldes para a produção dos painéis.

3.5.2 Tarefa 2 – Fabrico de demonstrador

Relativamente ao fabrico do demonstrador, foi em primeiro lugar produzida uma estrutura base sobre a qual foram posteriormente montados os diversos elementos constituintes do demonstrador. A figura seguinte mostra a estrutura virtual e real dessa estrutura.





Figura 58: Estrutura virtual e real do demonstrador.

Por outro lado, no âmbito desta tarefa foram também produzidos os restantes componentes integrar no demonstrador, nomeadamente as gavetas sandwich com núcleo em cortiça e “peles” em compósitos de matriz termoplástica (com certificação aeronáutica), o painel da janela e painéis laterais em compósito de fibra de vidro com resina termoendurecível certificada ao fogo e o piso. Para o efeito foram nesta fase definidas as estratégias de infusão para cada painel bem como definidas as suas respetivas espessuras em função dos requisitos inicialmente especificados.



Figura 59: Exemplos de alguns dos componentes produzidos.

3.5.3 Tarefa 3 – Integração de demonstrador

Uma vez produzidos os diversos componentes deu-se início ao processo de integração dos mesmos na estrutura previamente apresentada. As figuras seguintes ilustram algum do trabalho realizado.



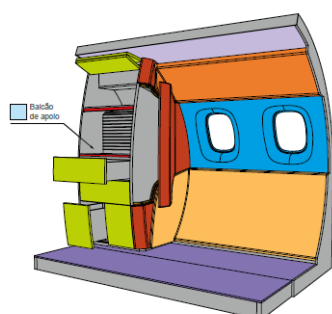
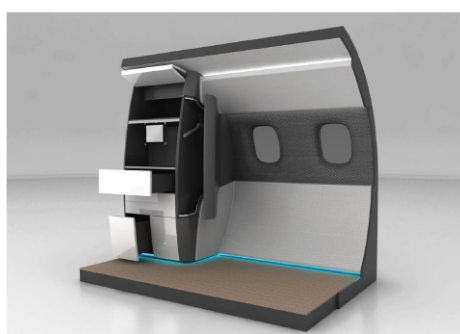
Figura 60: Integração dos diversos elementos constituintes da mock-up.

3.5.4 Tarefa 4 – Acabamento do protótipo

No âmbito desta tarefa foi desenvolvido um painel de materiais representativo dos revestimentos e acabamentos a aplicar a cada elemento do demonstrador de forma a proporcionar uma visão global do conjunto e relações cromáticas, texturas e acabamentos dos vários materiais. Esta tabela foi sofrendo alterações tanto ao nível de materiais como de fornecedores.

Os fornecedores foram contactados, as amostras dos materiais foram analisadas e validadas pelo consórcio, definindo-se a empresa Tapis para o revestimento do piso, a empresa FrontWave para o “veneer” de pedra para o balcão e a empresa Couro Azul para os revestimentos em couro.

No caso destes revestimentos, a Almadesign desenvolveu ainda um esquema representativo para a definição das costuras nas peças, de forma a homogeneizar as costuras dos vários painéis (têxteis e couro).



	COR	COMPONENTE	FORNECEDOR	REFERÊNCIA	RESPONSÁVEL
TÊXTIL		Tecto	Spradling	DIA-6601 Snow	ACC
		Painel Lateral / Forra das janelas	Spradling	DIA-6614 Meteor	ACC
		Piso	TAPIS	Tretford 523	ACC
COURO		Painel Lateral Superior	Couro Azul	Couro Texturado Cinza Claro	Couro Azul
		Painel Lateral Inferior	Couro Azul	Couro Texturado Cinza Claro Perforação: SUPERB Backing: Castanho	Couro Azul
LACADOS		Painéis, prateleiras e estrutura Gavetas e nichos (interior) Rodapé Bengaleiro (Interior)	—	RAL9011 Lacado alto brilho	INEGI
		Gavetas (tampas frontais)	—	RAL9016 Lacado alto brilho	INEGI
		Bengaleiro (exterior)	—	RAL9015 Lacado alto brilho	INEGI
OUTROS		Vídras Janelas		Acrílico Azul Prespex Blue 7704	
		Balcão de apoio	Front Wave	Veneer de Pedra (= 6mm) Acabamento brilhante	Front Wave
		Remates Metalizados (balcão de apoio)	“Chapa” Alumínio escovado	—	—
		Friso metalizado / batentes			

Figura 61: Painel de aplicação de materiais.

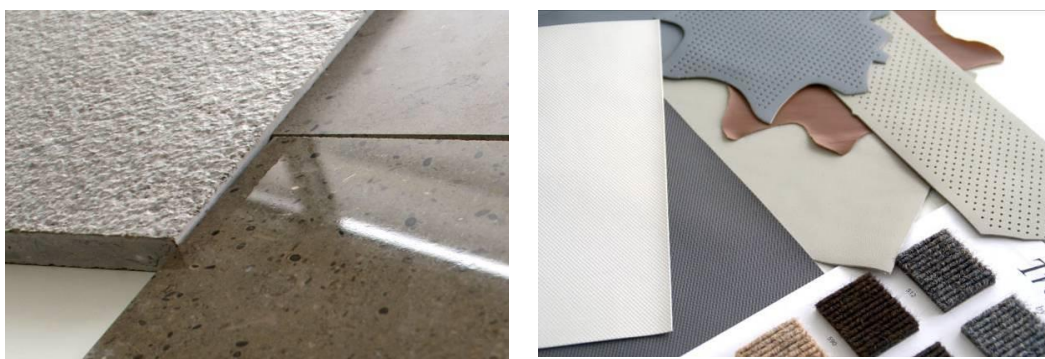


Figura 62: Amostras de materiais e acabamentos FrontWave, Spradling, Tapis e Couro Azul.

Assim foram numa primeira fase estofados os elementos assinalados na figura anterior pertencentes aos grupos têxtil e couro e montada a pedra do balcão de apoio como atestam as figuras seguintes.



Figura 63: Painéis estofados em pele (em cima) e em tecido (em baixo).



Figura 64: Aspeto geral da integração dos elementos estofados.



Figura 65: Balção de apoio em Veener de pedra (6mm), acabamento brilhante.

Uma vez finalizadas as estofagens dos componentes acima apresentados, seguiram-se os processos de validação dos sistemas de montagem definidos e de ajustes dos diversos elementos entre si. Foi feita uma análise detalhada ao demonstrador de forma a corrigir falhas e imperfeições de produção, nomeadamente ajustes no posicionamento de peças, correspondência e continuidade de superfícies em peças adjacentes, definição de aplicação de remates posteriores à pintura de algumas peças, entre outros.



Figura 66: Análise ao acabamento do demonstrador.

A mock-up foi então desmontada para se poder dar início ao processo de pintura (lacados).

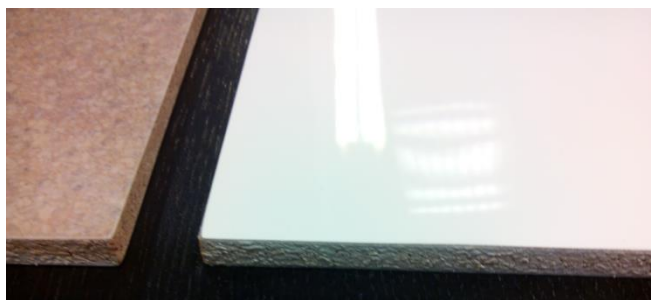


Figura 67: Resultados dos testes de pintura às sandwiches termoplásticas.

Outros acabamentos como a colocação dos vidros nas janelas, os remates metalizados, a iluminação, a carpete do piso, etc. foram por fim realizados. As imagens seguintes ilustram a mock-up final.



Figura 68: Mock-up final.

3.6WP6 Testes e Ensaaios

O objetivo desta atividade foi o de realizar testes e ensaios aos materiais e processos desenvolvidos com vista à validação das suas propriedades. Foi composta por quatro tarefas que visaram validar as soluções desenvolvidas e aperfeiçoar a capacidade dos co-promotores responderem com eficácia à solicitação de determinados testes e ensaios. Para tal, foram realizados quatro grupos de testes, ao material (núcleo) desenvolvido, aos painéis compósitos e respetivo processo de fabrico.

3.6.1 Tarefa 1 – Execução de plano de ensaios de material (núcleo)

Para efeitos de estudo da caracterização mecânica do material do núcleo, procedeu-se à preparação de um número significativo de provetes de aglomerado de cortiça com diferentes geometrias de perfuração através do recurso a um equipamento de maquinação e perfuração por controlo numérico (CNC) existente nos laboratórios da UBI.

Os provetes destinados para os ensaios de flexão a quatro pontos adotaram uma configuração sandwich de acordo com as recomendações das normas de ensaio, pelo que houve necessidade de fabricar as faces em material compósito (fibra de vidro), recorrendo ao processo de hand-layup assistido por saco de vácuo. No entanto, para os ensaios de corte e tração (flatwise) também realizados, as amostras de teste consistiram somente nos núcleos de aglomerado de cortiça.

Na Figura 69 é possível visualizar-se o mecanismo de falha verificado para um caso de uma sandwich com perfuração circular quando submetida à flexão. Este ficou caracterizado por uma fenda irregular com um ângulo de aproximadamente 45° começando no ponto de carregamento inferior e progredindo através de toda a espessura do núcleo. Tal comportamento sugeriu que a rutura do material se deu, não devido ao efeito do aumento das tensões de corte do núcleo, mas antes devido a uma fraca resistência de agente de ligação do aglomerado NL10®. De facto, o falha manifestou-se entre os grãos do aglomerado na medida em que estes foram literalmente arrancados uns dos outros, ou seja, foi verificada uma falha do tipo intergranular.



Figura 69: Falha do núcleo de aglomerado de cortiça durante ensaio de flexão.

3.6.2 Tarefa 2 – Execução de plano de ensaios de componente (painel)

Para possibilitar a execução do plano de ensaios do componente painel tendo por base evidências práticas (ensaios reais – não computacionais), verificar a performance mecânica, térmica e acústica de painéis sandwich fabricados com recurso a materiais de núcleo de aglomerados de cortiça com geometria otimizada foram fabricados, em contexto industrial, três painéis com as dimensões de 1500x1250x20mm. A produção destes painéis teve também como intuito validar a efetividade dos modelos numéricos utilizados, e por fim, ponderando os resultados obtidos, selecionar a geometria mais adequada à aplicação pretendida.

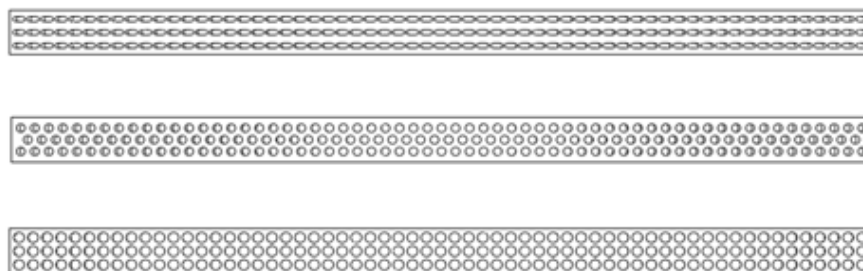


Figura 70: Vista superior dos três padrões de perfuração selecionados para fabrico de painéis de teste.

Abaixo podem ser vistas as composições das várias configurações de painéis de piso idealizadas para teste e que foram efetivamente fabricadas para tal. Convém referir que a referência DesAIR_Piso_01 é a configuração de base com núcleo em cortiça mas sem qualquer tipo de perfuração ou geometria otimizada e para a qual foram obtidos os resultados de referência que serviram de base de comparação aos restantes.

Tabela 4: Lista de configurações de painéis protótipo para execução de plano de ensaios.

Referência	Pele Superior	Núcleo	Pele Inferior
DesAIR_Piso_01	Chapa de Alumínio com 1,0mm de espessura	Placa de NL20 com 18mm de espessura (Sem perfuração)	Chapa de Alumínio com 1,0mm de espessura
DesAIR_Piso_02	Chapa de Alumínio com 1,0mm de espessura	Placa de ZE08 com 18mm de espessura (Through Hole – d=8mm / e=12mm / 90° Pattern)	Chapa de Alumínio com 1,0mm de espessura
DesAIR_Piso_03	Chapa de Alumínio com 1,0mm de espessura	Placa de NL20 com 18mm de espessura (Through Hole – Aligned Bracket Pattern)	Chapa de Alumínio com 1,0mm de espessura
DesAIR_Piso_04	Chapa de Alumínio com 1,0mm de espessura	Placa de NL20 com 18mm de espessura (Through Hole – Staggered Circular Pattern)	Chapa de Alumínio com 1,0mm de espessura
DesAIR_Piso_05	Chapa de Alumínio com 1,0mm de espessura	Placa de NL20 com 18mm de espessura (Non-Through Hole – Aligned Circular Pattern)	Chapa de Alumínio com 1,0mm de espessura

A fim de ser efetivamente possível fabricar os painéis acima descritos a UBI, fazendo recurso ao seu equipamento CNC, fabricou uma quantidade assinalável de placas de NL20 que totalizou 12 placas, correspondendo a 4 placas de NL20, com dimensão de 1000x500mm, por padrão de perfuração. Estas operações, não só pela enorme quantidade de furos a executar mas também pela complexidade de algumas geometrias (como é o caso das chavetas), tornou-se num procedimento bastante moroso e que não prescindiu de uma fase inicial de testes para validar quais as melhores condições de processamento (velocidades de corte, avanço, fresa mais adequada, etc.).

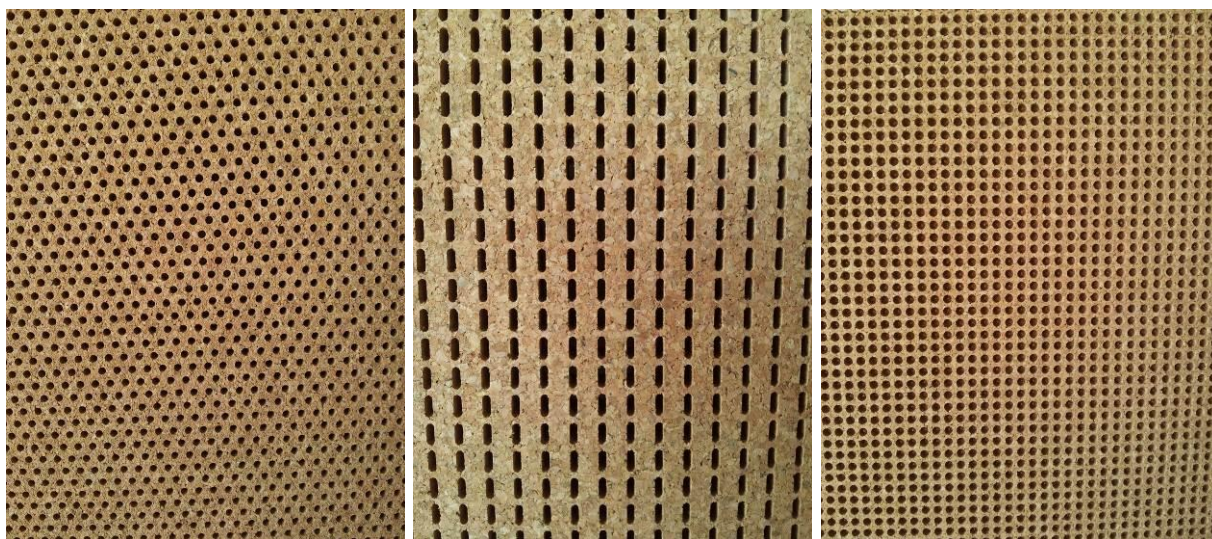


Figura 71: Placas de NL20 maquinadas pela UBI para fabrico dos painéis de teste.



Figura 72: Painéis fabricados para execução do plano de ensaios.

3.6.2.1 Ensaios Dinâmicos

A componente experimental dos ensaios dinâmicos dos painéis foi realizada nas instalações do Instituto Politécnico de Setúbal (IPS) o qual já tinha colaborado por diversas ocasiões com a ACC. Neste caso, um total de oito provetes foram inicialmente fabricados na UBI, com duas amostras para cada tipo de configuração anteriormente referida. Aqui, a máquina de perfuração CNC existente nos laboratórios da UBI, foi utilizada para fins de corte e perfuração dos núcleos de NL20 de acordo com as configurações pretendidas. Uma vez fabricados, os núcleos foram envoltos com recurso a uma cola de dois componentes (SIKA Sikaforce-7710) em faces de Alumínio (Aalco 5754) fornecidas também pela ACC e já cortadas nas medidas pretendidas. As amostras das sandwiches foram por último submetidas a uma condição de pressão uniformemente distribuída com o intuito de acelerar o processo da cura.



Figura 73: Fabrico dos provetes utilizados para os ensaios dinâmicos.

No que respeita aos ensaios propriamente ditos, os mesmos foram realizados segundo o princípio da viga suspensa de acordo com a montagem experimental que pode ser observada na figura seguinte. Aqui, cada amostra foi suportada através de dois fios de Nylon e consequentemente excitada por uma carga de impacto com recurso a martelo instrumentado Dyna Pulse.



Figura 74: Montagem experimental e equipamento utilizado.

As funções de resposta de frequência foram por sua vez obtidas por um acelerómetro ((Brüel & Kjaer 4374) colocado na extremidade oposta do ponto de impacto. De modo a se obter uma resolução considerável, estas foram medidas de acordo com a resolução máxima do analisador de espectro (CSI 2120), no qual um total de 1600 linhas foram especificadas para um intervalo de frequência de 0-1200Hz (0,75 resolução Hz). A configuração experimental está esquematizada na figura abaixo, para uma melhor compreensão.



Figura 75: Esquematização do procedimento experimental.

No total, cada provete foi testado três vezes consecutivas, sendo cada teste resultante de uma média de seis pancadas do martelo, considerando as mesmas válidas sempre que o valor da coerência estivesse próximo de valores unitários. As curvas de resposta de frequência foram de seguida processadas pelo software VibPro®, e mais tarde lidas por uma aplicação especialmente desenvolvida em Labview® capaz de calcular os fatores de perda relacionados com cada uma das frequências de ressonância.

3.6.2.2 Ensaios Térmicos

No que diz respeito aos ensaios térmicos, e para assegurar que os provetes seriam todos submetidos às mesmas condições simultaneamente, estes foram colocados em cima de uma placa de aquecimento retangular. A temperatura desta placa foi controlada através de um autotransformador de corrente alterna capaz de atingir um valor máximo de 80°C. Esta é por sua vez, a temperatura máxima de serviço da espuma poliuretano que envolve os provetes, isolando-os termicamente e assegurando a unidimensionalidade da transferência de calor.



Figura 76: Placa de aquecimento com provetes.



Figura 77: Autotransformador.

A temperatura da placa em cada instante foi medida através de um termopar do tipo T ligado à mesma.



Figura 78: Termopar de contacto.



Figura 79: Câmara Termográfica.

O termopar de contacto mede diretamente a temperatura no centro da face superior dos provetes. Imediatamente acima da placa de aquecimento foi colocada uma câmara termográfica que teve como objetivo fazer o registo da distribuição de temperatura nas faces superiores dos provetes. As imagens captadas pela câmara são processadas e exibidas pelo sistema termográfico Thermo Tracer TH1100 (San-ei Inc.).



Figura 80: Sistema Termográfico Thermo Tracer TH1100.

A figura abaixo ilustra a configuração experimental completa incluindo a placa de aquecimento, os provetes, o autotransformador, os termopares, a câmara e o sistema termográfico.



Figura 81: Configuração experimental.

3.6.2.3 Ensaios de Caracterização de painel

Por forma a possibilitar uma clara leitura e interpretação dos resultados obtidos, abaixo se apresenta uma tabela onde esses mesmos resultados se encontram agregados. Esta tabela representa valores, segundo várias propriedades ensaiadas, para a configuração inicial (sem otimização do núcleo), para uma configuração fazendo uso de um material de núcleo alternativo e já com perfurações (mas sem otimização), e para três novas configurações que fazem uso do material de núcleo otimizado.

Tabela 5: Resultados dos ensaios ao componente painel.

Material	DesAIR_Piso_01	DesAIR_Piso_02	DesAIR_Piso_03	DesAIR_Piso_04	DesAIR_Piso_05
Core Material	NL20	ZE08	ZE08	ZE08	ZE08
Core Thickness (mm)	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0
Perfuração	N/A	d=8mm / e=12mm / 90°	Through Hole Aligned Bracket Pattern	Through Hole Staggered Circular Pattern	Non-Through Hole Aligned Circular Pattern
Skin Material	Aluminum 5754 H48	Aluminum 5754 H48	Aluminum 5754 H48	Aluminum 5754 H48	Aluminum 5754 H48
Skin Thickness (mm)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Adhesive Material	SikaForce-7710 L100	SikaForce-7710 L100	SikaForce-7710 L100	SikaForce-7710 L100	SikaForce-7710 L100
Adhesive Quantity per Bond Line (g/m²)	200	200	200	200	200
Total Thickness (mm)	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
Surface Weight					
Results: Surface Weight (kg/m ²)	9,9	8,4	7,8	7,7	7,7
Density					
Results: Density (kg/m ³)	495	420	389	385	386
Bending Test Norm: EN 310 (Adapted)					
Dimensions (Span) (mm)	400 x 50 (350)	400 x 50 (350)	400 x 50 (350)	400 x 50 (350)	400 x 50 (350)
Results: Bending Strength (MPa)	16,0	15,0	13,6	15,8	12,4
Results: Modulus (GPa)	3,3	3,2	1,9	3,0	1,6
Results: Strain at Peak Stress (%)	0,8	0,7	1,6	0,9	1,5
Results: Elongation at break (mm)	9,2	9,0	23,0	11,7	19,8
Flatwise Tensile Strength Test Norm: ASTM C297					
Dimensions (mm)	50 x 50	50 x 50	50 x 50	50 x 50	50 x 50
Results: Tensile Strength (MPa)	0,80	0,55	0,43	0,53	0,31
Impact Resistance Test Norm: ASTM C272					
Dimensions (mm)	220x220 (Suspended 220x200)	220x220 (Suspended 220x200)	220x220 (Suspended 220x200)	220x220 (Suspended 220x200)	220x220 (Suspended 220x200)
Results: Indentation (mm)	0,89	1,10	1,03	0,93	1,07
Acoustical Insulation Test Norm: ISO 140-3 / ISO 717					
Results: Airborne Sound Insulation RW (dB)	30	27	29	29	29

3.6.2.3.1 Massa Superficial, Isolamento Acústico, e Performance Acústica

Uma vez que dois dos essenciais critérios de avaliação, e de resto objeto de estudo para este consórcio tendo motivado o objetivo da criação de materiais de núcleo otimizados, são justamente o peso da solução (painel sandwich) e o isolamento acústico que essa mesma solução potencia, foi absolutamente necessário analisar a relação de causa efeito entre as poupanças em peso obtidas e o impacto que as mesmas têm no isolamento acústico da estrutura.

Desta forma, através dos valores mapeados no gráfico que se apresenta abaixo, foi possível verificar que, pela utilização de materiais de núcleo otimizados, foi conseguida uma redução de peso em torno dos 20% (por comparação com a solução não otimizada) sem que se tenha verificado igual variação no isolamento acústico conseguido com estas novas configurações. Na verdade, e mesmo tendo havido um impacto negativo no isolamento acústico, esse impacto é negligenciável dado que se traduziu apenas na redução de 1dB.

Por outro lado, e analisando a Performance Acústica das soluções, aqui definida pelo rácio entre o Isolamento acústico e o Peso por unidade de área, pôde verificar-se que da otimização realizada por este consórcio resultou de facto em importantes melhorias. Isto é, é possível verificar um incremento na ordem dos 30% significando em termos práticos que para um isolamento acústico idêntico seria conseguida uma potencial redução de peso bastante relevante.

Neste aspeto as três novas soluções mostraram comportamentos muito semelhantes, sendo praticamente indistintas, o que demonstra que o consórcio efetivamente cumpriu com o objetivo de obter três novas soluções com peso idêntico e com o menor impacto possível no comportamento acústico.

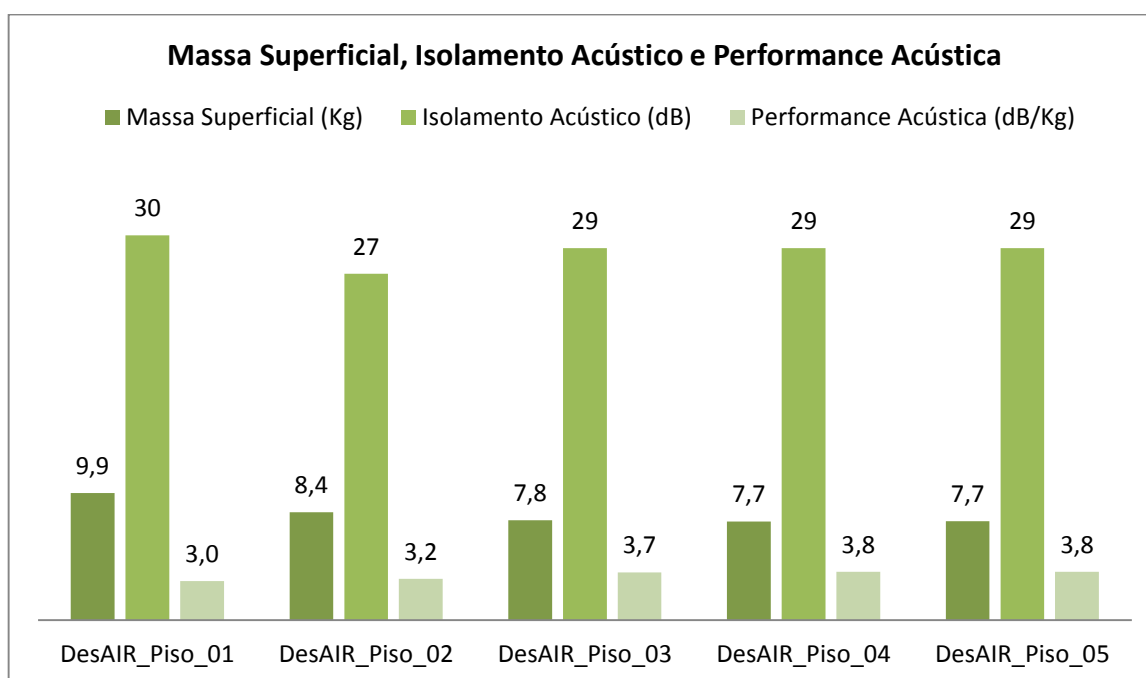


Figura 82: Massa Superficial, Isolamento Acústico e Performance Acústica.

3.6.2.3.2 Performance mecânica e Resistência ao dano

Exposto o acima, e provada a indiferenciação do ponto de vista acústico das novas soluções, o critério de seleção da melhor de entre as mesmas teve de ter por base a sua performance mecânica e a resistência que as mesmas oferecem ao dano. Assim tornou-se também essencial avaliar a Resistência à Flexão e o Módulo elástico das três novas soluções, por comparação direta entre elas e por comparação também com a configuração de partida (sem otimização).

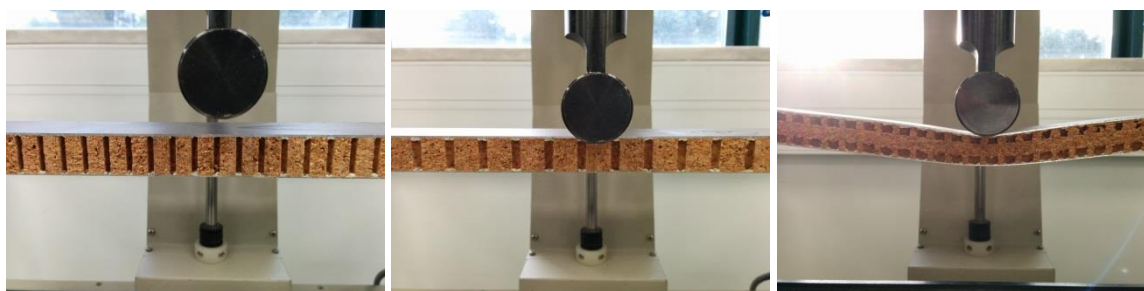


Figura 83: Ensaio flexão a 3-pontos DesAIR_Piso_03 (esquerda), DesAIR_Piso_04 (centro), e DesAIR_Piso_05 (direita).

No gráfico abaixo é possível visualizar essas propriedades para todas as configurações. Foi também possível verificar que em duas das novas configurações (DesAIR_Piso_03 e DesAIR_Piso_05) o impacto foi bastante significativo de forma prejudicial à Resistência à Flexão (com reduções compreendidas entre 15% e 22%) e ao Módulo Elástico à Flexão (com reduções compreendidas entre 40% e 52%). Estes valores por si só não invalidam a utilidade da solução em aplicações onde a performance mecânica seja secundária (como por exemplo divisórias acústicas verticais) porém, para um cenário altamente técnico como é o caso da aeronáutica, estes valores não são de todo encorajáveis.

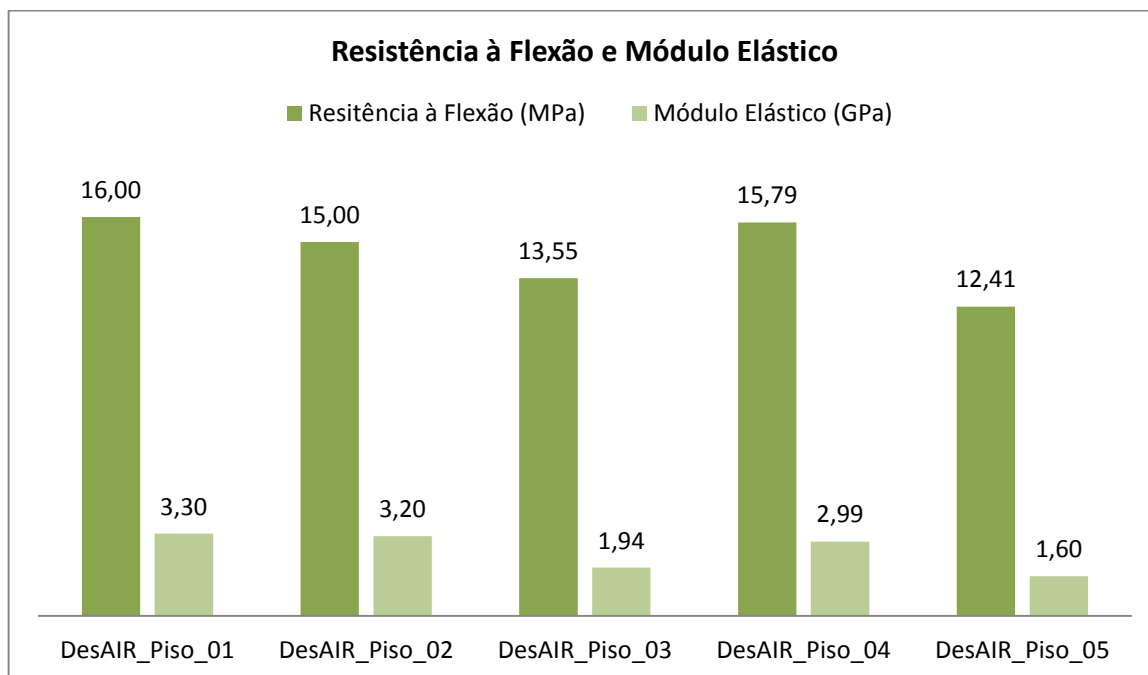


Figura 84: Resistência à Flexão e Módulo Elástico.

Não obstante a configuração DesAIR_Piso_04 apresentou valores bastante mais interessantes do ponto de vista estrutural uma vez que as reduções verificadas, ainda que existentes, não são de todo tão significativas (cerca de 1,3% na Resistência à Flexão e cerca de 9,4% no Módulo Elástico) sobretudo tendo em conta a redução em peso que ronda os 20%.

Ao mesmo tempo, e para além da performance mecânica direta destes painéis sandwich, foi importante ter em consideração qual a modificação induzida em propriedades relacionadas com a resistência ao dano como sejam a Adesão entre camadas e a Resistência ao impacto. Assim, e conforme apresentado no gráfico abaixo foi possível verificar que o comportamento segundo essas propriedades segue o verificado para a performance mecânica à flexão acima referido.



Figura 85: Ensaio adesão entre camadas DesAIR_Piso_03 (esquerda), DesAIR_Piso_04 (centro), e DesAIR_Piso_05 (direita).

De facto provou-se que as configurações onde o decréscimo na adesão entre camadas e na resistência ao impacto foi maior são justamente as DesAIR_Piso_03 e DesAIR_Piso_05. Por comparação com estas a configuração DesAIR_Piso_04, ainda que afetada, demonstrou o menor impacto especialmente no que toca à resistência à indentação por impacto.

Em contraponto, a adesão entre camadas, ainda que impactada nesta configuração, assim o foi (diga-se sem forma de evitar) essencialmente pela menor área resistente causada pela inclusão de perfurações resultantes do processo de otimização uma vez que em todos os ensaios a falha do provete de teste se deu por rutura do núcleo e não das ligações adesivas/coesivas entre peles e núcleo.

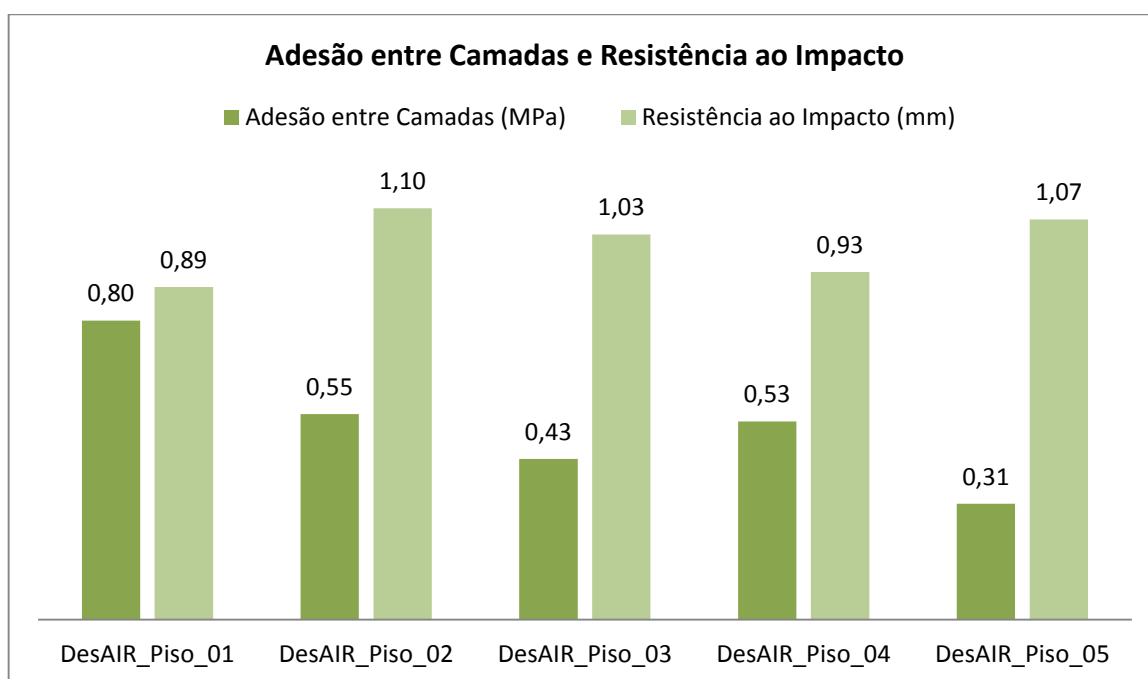


Figura 86: Adesão entre Camadas e Resistência ao Impacto.

Concluir-se então que das três novas configurações testadas, com origem nos materiais de núcleo com as otimizações desenvolvidas ao longo deste projeto, a que melhores resultados apresentou e da qual resultou o melhor compromisso entre redução de peso e performance global (acústica, mecânica, e de resistência ao dano) é a DesAIR_Piso_04.

3.6.3 Tarefa 3 – Execução de plano de ensaios no demonstrador

Uma vez finalizado o demonstrador uma série de ensaios de funcionalidade e ergonomia foram realizados com vista à aferição de todas as capacidades do mesmo. Assim foram efetuados testes de encaixe, movimentos, interferências e ajustes, cargas suportadas, integridade geométrica etc. A tabela seguinte apresenta os principais tópicos de análise:

Tabela 6: Testes e ensaios ao demonstrador final.

Testes e ensaios ao demonstrador final
• Ciclos de fecho e abertura de portas e gavetas • Facilidade de montagem e desmontagem de alguns dos elementos (validação das soluções de integração) • Carregamento dos espaços destinados a colocação dos elementos típicos das galleys (materiais e refeições) • Verificação da ergonomia (facilidade de acesso a todas as áreas funcionais do demonstrador).

De uma forma geral, os sistemas de integração definidos mostraram-se efetivos, permitindo uma fácil montagem e desmontagem dos diversos elementos com vista à sua manutenção/substituição. A modularidade da geometria proposta facilita também essa manutenção/substituição de componentes aquando necessários. Por outro lado os sistemas definidos mostraram-se também robustos e portanto resistentes aos diversos ciclos de utilização impostos. As imagens seguintes ilustram alguns dos mecanismos definidos e em teste. Os ensaios realizados às corredeiras das gavetas e sua respetiva ligação à estrutura consistiram na aplicação de cerca de 30000 ciclos de fecho/abertura da gaveta sem sinais de desgaste evidentes.



Figura 87: Ensaio ao demonstrador.

3.6.4 Tarefa 4 – Execução de plano de ensaios para o processo de fabrico de painéis

Vimos já que todos os painéis laterais foram produzidos via infusão de resina sobre fibra de vidro seca, processo bastante familiar ao INEGI, já com um nível de controlo considerável (incluindo o recurso a simulação virtual do processo). No entanto a este nível foram realizados alguns testes aos materiais a utilizar, essencialmente relacionados com a permeabilidade do meio (fibra de vidro), viscosidade da resina e definição da estratégia de infusão para cada componente.

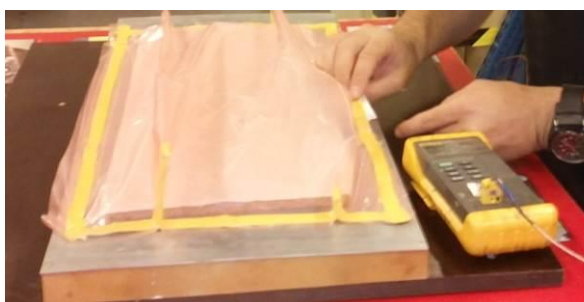
Por outro lado, e menos maduro foi o processo utilizado para a produção dos vários elementos que integram as gavetas e que a seguir se descreve de forma gráfica. Assim, a figura seguinte apresenta a sequência de operações necessárias para a produção das frentes das gavetas (com curvatura). Os restantes elementos que constituem a gaveta, sendo planos foram produzidos de forma similar mas sem necessidade de saco de vácuo e com recurso à prensa e pratos de aquecimento/ arrefecimento para o ciclo térmico necessário. Todas as operações de acabamento como a colagem de orlas e abertura de rasgos são posteriores ao processo apresentado.



Corte dos materiais (cortiça (núcleo); adesivo termoplástico e compósitos de matriz termoplástica (peles))



Molde e construção do laminado



Aplicação do saco de vácuo e colocação do conjunto na câmara climática.

**Ciclo térmico aquecimento/arrefecimento****Remoção do saco de vácuo****Frentes das gavetas acabadas, após colagem das orlas.****Figura 88:** Sequência de operações necessárias para a produção das frentes das gavetas (com curvatura).

Convém referir que uma série de iterações foram necessárias para se encontrar o conjunto de variáveis do processo que atestam a qualidade final dos componentes produzidos, nomeadamente do no que diz respeito aos ciclos de aquecimento/arrefecimento e à pressão necessária que têm influência direta na qualidade da colagem e em questões como contração e o empeno (estabilidade dimensional). Por outro lado verificou-se a necessidade de se colocar uma chapa metálica extra, antes do saco de vácuo com vista a uma distribuição térmica mais uniforme e a uma planeza melhorada da superfície.