

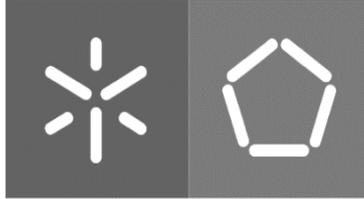


Rui Gonçalves

Desenvolvimento de soluções *lightweight* para instrumentos musicais de cordas.

Universidade do Minho
Escola de Engenharia





Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Rui Filipe Alves de Oliveira Gonçalves

**Desenvolvimento de soluções
lightweight para instrumentos
musicais de cordas.**

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Engenharia de Polímeros

Trabalho efetuado sob a orientação do:
Professor Doutor João Pedro Gil Nunes
Engenheiro José Miguel de Oliveira Vasconcelos

dezembro 2020

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



**Atribuição-NãoComercial
CC BY-NC**

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

AGRADECIMENTOS

Aproveito este espaço para agradecer a todos os que, diretamente ou indiretamente, contribuíram para a realização desta dissertação, nomeadamente:

À minha família, aos meus pais e à minha cara metade, por me terem proporcionado a oportunidade de ingressar no ensino superior bem como todo o apoio incondicional e incentivo necessário para finalizar esta etapa, agradeço também por sempre terem acreditado em mim e nas minhas capacidades, mesmo nas fases mais negativas.

A todos amigos e colegas de curso, e aos inúmeros momentos agradáveis proporcionados.

Ao corpo docente e direção de curso por todos os esclarecimentos, conhecimentos e bases transmitidas sem elas era impossível a realização deste trabalho.

Gostaria, também, de expressar os meus sinceros agradecimentos:

Ao Professor Doutor João Pedro Nunes, orientador desta tese, pelo acompanhamento, disponibilidade e paciência demonstrada ao longo deste período.

Ao Engenheiro Miguel Vasconcelos, co-orientador deste trabalho, pela disponibilidade, sugestões, opiniões e incentivos dados que proporcionaram que as barreiras e problemas que surgiam ao longo deste trabalho fossem ultrapassados.

Ao Rafael Alves pelo acompanhamento, boa disposição e disponibilidade de partilhar conhecimento, bem como toda a ajuda no trabalho experimental, desde a maquinaria, fabrico de peças e montagem de sistemas de teste.

Ao Ângelo Marques e à Andreia Vilela, pela ajuda e disponibilidade na simulação estrutural e utilização de equipamento de teste, respetivamente, bem como a partilha dos seus conhecimentos e bom ambiente de trabalho.

Ao PIEP por ter possibilitado a realização da dissertação deste tema, especialmente a todo o gabinete de I&D de Compósitos pela camaradagem e os bons momentos.

Finalmente, à Sabrafen pelo intercâmbio de informações e à Serralharia o Geirão pela possibilidade de fabricar peças, bem como a possibilidade de finalizar este capítulo da minha vida.

Um grande Obrigado a todos!

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

RESUMO

Esta dissertação está inserida num projeto de cooperação entre o Cis-Madeira e o PIEP denominado *Valornature*, em que é visada a conjugação e substituição de madeiras por compósitos de fibra de carbono, como resposta à escassez de recursos naturais.

Nesta dissertação desenvolveu-se um componente estrutural interior de uma guitarra em material compósito de fibra de carbono para substituição da peça atualmente usada e que é produzida pela Sabrafen, empresa com protocolo com o Cis-Madeira. Primeiramente, a empresa pretendia a substituição do *truss rod* das suas guitarras por uma solução mais leve e estável. Procedeu-se, então, ao estudo do componente a substituir, bem como a conceptualização e projeto de novos componentes. Contudo as soluções apresentadas, contemplando a utilização de laminados e tecnologias existentes no PIEP, foram consideradas desenquadradas dos objetivos da empresa, que preferiu, então, a substituição de um componente estrutural interior das suas guitarras *archtop*. Todo um novo processo de conceção foi realizado para desenvolver este novo componente, tendo em conta as intenções da empresa em reduzir o peso e melhorar a integridade do reforço, mantendo a rigidez equivalente ao componente em madeira atualmente usado e o fator *premium* dos seus instrumentos. Projetou-se, assim, um novo componente em resina epóxida reforçada com fibras de carbono a ser produzido por “infusão a vácuo” numa peça única. Depois de validado o *design* final, efetuou-se inicialmente o dimensionamento mecânico do laminado de modo a garantir uma rigidez semelhante à do componente atualmente utilizado procedendo-se, de seguida, à sua simulação estrutural de forma a assegurar que ele suportaria a carga nele exercida pelas cordas.

Confirmada a funcionalidade do componente, foi então projetado e construído um molde usado para a produção de dois componentes por infusão a vácuo, nas condições previamente definidas. A peça estrutural final foi depois validada através dum ensaio idealizado no PIEP com recurso a uma máquina de ensaios de tração. Finalmente, realizou-se uma análise de custos por forma a comparar o produto convencional com o desenvolvido.

Conclui-se que a peça desenvolvida pode substituir com sucesso o componente usado, reduzindo o seu peso e melhorando a sua função reforçadora, mantendo uma rigidez equivalente e aumentando até o fator *premium* dos instrumentos da empresa.

ABSTRACT

This dissertation is part of a cooperation project between Cis-Madeira and PIEP called ValorNature, which aims at the conjunction and replacement of wood by carbon fiber composites as a response to the scarcity of natural resources.

In this dissertation a product was developed in carbon fiber composite laminates, to replace a structural component inside a guitar, produced by a third company, with protocol with Cis-Madeira, Sabrafen.

Primarily the company intended the replacement of the truss rod of its guitars, by a lighter and more stable solution. The study of the component to be replaced was then carried out, as well as the conceptualization and design of new components. However, the solutions presented, according to the use of laminates and technology present in PIEP, were rejected by the company, which then preferred the replacement of an interior structural component of its archtop guitars. This whole process was done again, but applied to the new component, taking into account the company's intentions to reduce weight and improve reinforcement integrity, maintaining the rigidity equivalent to the wood component used and the premium factor of its instruments. A single piece carbon fiber composite and epoxy resin component was designed, to be produced through the vacuum infusion process. After the final design was validated, the theoretical dimensioning of the laminate thickness was made using a comparison to the stiffness of the component used, carrying out a structural simulation in order to confirm that the component would be able to withstand the load exerted on it by the strings.

After the component's functionality was confirmed, a mold was designed and manufactured. In the mold two components were manufactured by vacuum infusion using the same conditions and procedures. The component was physically validated using a test idealized in PIEP using a traction equipment. Finally, a cost analysis of the raw materials was made in order to compare the conventional product with the developed one.

After all these processes it was allowed to conclude that the substitution of the component used by a composite component was done successfully and meets the starting conditions of weight reduction, improving the integrity of the reinforcement maintaining an equivalent stiffness and increasing even the premium factor of the company's instruments.

ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo	v
Abstract	vi
Lista de Figuras	xi
Lista de Tabelas	xvi
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos	xviii
1. Introdução	1
1.1 Objetivos	1
1.2 PIEP	2
1.3 Sabrafen.....	4
1.4 Estrutura da tese	5
2. Estado de arte.....	7
2.1 História da Guitarra	7
2.2 Anatomia da Guitarra	10
2.2.1 Guitarra Acústica	10
2.2.2 Guitarra Elétrica	11
2.2.3 Componentes Internos.....	12
2.3 A Guitarra <i>Archtop</i>	13
2.4 Compósitos	14
2.4.1 Matriz	15
2.4.2 Reforço	16
2.5 Infusão a Vácuo	18
2.5 Compósitos de Fibra de Carbono no Mercado e Industria de Construção de Guitarras	21
2.6 Comparação entre Compósitos de Fibra de Carbono e Madeira como Materiais de Construção de Guitarras.....	25
3. Conceção e Projeto.....	30
3.1 <i>Truss Rod</i>	30
3.1.1 Soluções em compósito existentes no mercado	31
3.1.2 Pré-requisitos e condições de partida.....	33

3.1.3	<i>Brainstorming</i> e Projeto	33
3.1.4	Conclusão	36
3.2	Componente de Reforço Interno de uma Guitarra do Tipo <i>Archtop</i>	37
3.2.1	Pré-requisitos e condições de partida	40
3.2.2	<i>Brainstorming</i> e Projeto	40
3.2.3	Dimensionamento mecânico	44
4.	Simulação Estrutural	51
4.1	Condições de carregamento e Malha	51
4.2	Resultados	53
5.	Desenvolvimento e Fabrico do Molde	57
5.1	Estratégia de Moldação	57
5.2	Maquinagem	58
5.3	Acabamento	59
6.	Fabrico Do Componente	63
6.1	Preparação e Procedimento de Infusão	63
6.2	Cortes e Acabamento	68
6.3	Conclusões	69
7.	Validação do Componente	71
7.1	Sistema de Teste	71
7.1.1	Acessórios Necessários	71
7.1.2	Montagem <i>passo a passo</i>	73
7.2	Teste de Validação	74
7.2.1	Procedimento	74
7.2.2	Conclusões	75
8.	Análise de Custos das Matérias Primas	77
8.1	Custo das Matérias Primas do Componente Fabricado	77
8.2	Custo das Matérias Primas do Componente em Madeira	77
8.3	Conclusões comparativas	78
9.	Conclusões	80
10.	Recomendações para trabalhos futuros	82

Bibliografia.....	84
Anexo I – Propriedades da madeira “Abeto” [44].....	89
Anexo II – Desenho técnico do protótipo reforço body_complete.....	90
Anexo III – Desenho técnico do protótipo reforço Component_guitar	91
Anexo IV – Tabela de propriedades mecânicas dos laminados produzidos no PIEP92	
Anexo V – Tabela utilizada no cálculo de infusões.....	93
Anexo VI – Ficha técnica SikaBlock M700 [45]	94
Anexo VII – Ficha técnica Primário:.....	96
<i>Roberlo multyfiller express ME3</i> [46]	96
<i>Roberlo P6000</i> [47]	99
Anexo VIII – Ficha técnica do desmoldante.....	118
Anexo IX – Ficha técnica da Cola em Spray	120
Anexo X – Ficha técnica da resina	121
Anexo XI – Ficha técnica do perfil Bosch 80x80.....	124
Anexo XII – Desenho técnico das vigas de madeira	125
Anexo XIII – Desenho técnico perfil cantoneira	126
Anexo XIV – Desenho técnico prato Shimadzo	127
Anexo XV – Lista de acessórios utilizados no processo de infusão	128

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Les Paul "the LOG" [9]	9
Figura 2 - Representação esquemática de uma guitarra clássica/acústica.[10]	10
Figura 3 - Comparação esquemática de componentes de uma guitarra acústica e de uma guitarra elétrica. [10].....	11
Figura 4 - Componentes internos normalmente encontrados nas guitarras [12]	12
Figura 5- Guitarra Gibson ES-335.[13]	14
Figura 6 - Laterais e bloco interior de uma Guitarra Gibson ES-335 modelo de 1959 [14]	14
Figura 7 - Configurações de reforços utilizados em compósitos. [5]	17
Figura 8 - Gráfico ilustrativo do volume de produção, eixo dos yy, e a performance alcançada, eixo dos xx, dos diferentes processos de fabrico de materiais compósito [1]	18
Figura 9 - Ilustração do processo de infusão por vácuo (VIP) [6]	19
Figura 10 - Relógio Rolex Daytona Carbon Cream Invert[17].	22
Figura 11 - Guitarra Ovation Adamas MD80 [19]	22
Figura 12 -Matt Bellamy da banda Muse a usar uma guitarra Parker Fly. [21].....	23
Figura 13 - Guitarra Fender Stratocaster 1 [24].....	24
Figura 14 - Guitarra AVA Coal Skin [26].....	24
Figura 15 - representação de dois truss rods no interior de braços de guitarra. [8]..	31
Figura 16 - Corte transversal de dois braços de guitarra mostrando perfis em plástico reforçado com fibras de carbono em substituição dos truss rods tradicionais [31]	32
Figura 17 - Corte transversal do braço de guitarra da marca Carvin com truss rod híbrido [32]	32
Figura 18 - Representação em corte transversal do truss rod fixo desenvolvido, utilizando o programa de CAD Solidworks	33
Figura 19 - Quebra do braço duma guitarra Fender Stratocaster na zona de transição da escala / cabeça [33].....	34
Figura 20 - Desenho 3D do protótipo 1 em Solidworks	35
Figura 21 - Protótipo 1 montado no braço de uma guitarra Fender Stratocaster.....	35
Figura 22 - Desenho 3D do protótipo 2 realizado em Solidworks.....	36

Figura 23 - Protótipo 2 montado no braço duma guitarra Fender Stratocaster.....	36
Figura 24 - Modelo base da guitarra Maruxa da Sabrafen [7].	38
Figura 25 - Reforço interno da guitarra Maruxa (área marcada a vermelho) que se pretende substituir.....	38
Figura 26 – Desenho SolidWorks para corte da madeira fornecido pela Sabrafen...40	
Figura 27 – Desenho representativo da montagem final realizado no software Solidworks.	41
Figura 28 - À esquerda apresenta-se um amplificador acústico de coluna de telemóvel, utilizando um rolo de papel higiénico e dois copos de papel, e à direita um amplificador do mesmo tipo usando uma estrutura em madeira de forma tubular [35][36].	41
Figura 29 - Protótipo da peça de reforço body complete. Em cima, o componente em si, em baixo e à direita o componente em corte e, à esquerda, o componente montado numa guitarra sem tampo.....	42
Figura 30 - Protótipo para reforço do tampo, Component guitar. Em cima, o componente em si, visto de frente à esquerda e de trás à direita. No centro, montado com vista lateral da guitarra sem o aro e, em baixo, com a guitarra vista de cima sem o tampo.....	44
Figura 31 -Em cima, apresenta-se a zona do componente onde foi considerada a secção transversal usada para cálculo dos momentos de Inércia. Em baixo e à esquerda, a secção transversal da madeira maciça e, à direita a do compósito oco com espessura, t	46
Figura 32 – Aproximação a um retângulo para cálculo do momento de inércia para a secção maciça do componente em madeira [38].	46
Figura 33 - Geometria utilizada de forma a calcular a espessura do componente em compósito [38].	47
Figura 34– Carga exercida pelas cordas na ponte da guitarra	52
Figura 35 – Encastramento do componente em compósito nas suas 4 extremidades.	52
Figura 36 - Malha utilizada na simulação estrutural realizada no Abaqus.....	52
Figura 37 - Representação do tipo de elemento utilizado na simulação.	53
Figura 38 - Deslocamento máximo obtido no componente na direção da força aplicada.	53

Figura 39 - figura obtida em simulação que representa o deslocamento do componente em todas as direções.....	54
Figura 40 - Distribuição de tensões no componente.	54
Figura 41 - Peça final a fabricar. À esquerda e à direita, a peça, respetivamente. com sem abertura central.....	57
Figura 42 – Desenho do molde em Solidworks.	57
Figura 43 - Representação do bloco de resina maquinável SikaBlock M700.....	58
Figura 44 - Interface do Software PowerMill.....	58
Figura 45 - Fotografias ilustrativas do processo de maquinação do molde.....	59
Figura 46 - Fotografia do molde final após o processo de maquinação.....	59
Figura 47 - Fotografia da lixadora pneumática utilizado no processo de lixagem ao lado do molde.....	60
Figura 48 – Recipientes com os constituintes do primário à esquerda e, à direita, ilustração da aplicação do primário na estufa de pintura do PIEP.	60
Figura 49 – À esquerda, o molde após pintura e, à direita, depois da secagem da tinta.....	61
Figura 50 - Planificação do corte do tecido plain de fibras de carbono.	63
Figura 51 - Cola em spray Airtac 2E utilizada para posicionar as camadas de tecido no molde.....	64
Figura 52 - Posicionamento dos tecidos de fibras no molde. À esquerda, após deposição da primeira camada de tecido e, à direita, após colocação de todas as camadas.	64
Figura 53 – Aspeto do molde após deposição do peelply, à esquerda, e do flow mesh, à direita.....	65
Figura 54 - Molde preparado para a infusão.....	66
Figura 55 – Câmara de vácuo e copo de resina após desgaseificação.	67
Figura 56 - Fotografias ilustrativas do processo de infusão.	67
Figura 57 – Peça desmoldada após infusão a vácuo.	68
Figura 58 - Corte laser das marcações em papel à esquerda e, à direita, colagem das marcações nas peças.....	68
Figura 59 - Processos de corte (à esquerda) e de lixagem (à direita).	69
Figura 60 - Componente final fabricado e acabado (Component guitar).	69
Figura 61 -Sistema de teste projetado no Solidworks.	71
Figura 62 - Sistema de teste construído.....	73

Figura 63 –Vista geral do sistema de ensaio e os resultados obtidos. 75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Cálculo do momento de inércia para a secção maciça do componente em madeira	47
Tabela 2: Determinação do momento de inércia mínimo a considerar para o componente em compósito	47
Tabela 3: Cálculo das espessuras de laminados fabricados	49
Tabela 4: Cálculo da massa teórica do componente em madeira	70
Tabela 5: Cálculo do custo da resina epóxida.	77
Tabela 6 : Cálculo do custo dos tecidos de fibra de carbono.	77
Tabela 7: Cálculo total do custo de cada componente em matéria prima.	77

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

Premium – de alta qualidade, de excelência, luxo

Truss rod – componente interior de uma guitarra, que tem como principal função contrariar o esforço efetuado pelas cordas no braço

Luthier – artesão construtor de guitarras de alta qualidade, personalizadas

Luth – alaúde

Loop – ciclo

Feedback – som sibilante, indesejável, em aparelhos de transmissão sonora

Gospel – música vocal religiosa da comunidade negra norte-americana

Blues – estilo musical surgido no final do século XIX, com origem no folclore dos negros do sul dos Estados Unidos da América, de carácter largamente vocal, é geralmente marcado pelo tom sentimental e melancólico das letras, pelo andamento lento e pelo uso de compassos binários e quaternários

Jazz – género musical surgido no início do século XX nos Estados Unidos da América, resultante da fusão de elementos de diversas tradições musicais (bases rítmicas africanas, estruturas harmónicas europeias, vocalizações típicas do gospel, etc.), tendo dado origem a diferentes estilos que partilham a improvisação, a polirritmia e a polifonia como principais características

Pickups – captadores, capturam a vibração das cordas e convertem o seu som através de amplificadores

Jack – conector áudio com apenas um anel isolante preto, que é utilizado para transmissão de sinais mono.

Neck Pocket – tróculo, encaixe do braço no corpo da guitarra

Archtop – tipo de guitarra semiacústica, de topo arcado

Rock – estilo de música popular surgido nos Estados Unidos da América na década de 1950, caracterizado pela batida e ritmo fortes, geralmente tocado em instrumentos amplificados eletricamente

Sizing – acabamento superficial das fibras de carbono

Drapping – capacidade de deformação por parte de um tecido

Software – programa informático

I&D – Investigação e desenvolvimento

PIEP – Pólo de Inovação em Engenharia de Polímeros

PW – tecido de fibra de carbono do tipo de configuração *plain weave*

2D – a duas dimensões

FEM – *finite element method*, método de elementos finitos

RTM – *resin transfer moulding*, processo de fabrico de compósitos recorrendo à injeção de resina através de pressão positiva, que utiliza moldes com bucha e cavidade.

COVID 19 – doença respiratória grave causada por um coronavírus

F.S. – fator de segurança

K – coeficiente acústico

E – módulo de Elasticidade longitudinal

ρ – massa volúmica

Q – fator de qualidade sonora

ACE – eficiência de conversão acústica

Tan δ – fator de amortecimento

$E_{madeira}$ – módulo de elasticidade longitudinal da madeira, em GPa

$E_{Compósito}$ – módulo de elasticidade longitudinal do compósito, em GPa

$I_{madeira}$ – momento de inércia da secção transversal da peça em madeira

$I_{Compósito}$ – momentos de inércia da secção transversal da peça em compósito

t – espessura do laminado

b – largura da secção transversal, em mm

h – é a altura da secção transversal, em mm

t_{lamina} – espessura da lâmina, em mm

Gramagem da fibra – *peso* por unidade de superfície o tecido usado, em g/m^2

Teor de fibras – *teor* volúmico estimado de fibras no compósito final, no caso 50%

Densidade da fibra – *densidade* da fibra de carbono, 1780 kg/m^3

σ_{rup} – tensão de rotura, em MPa, que é a tensão rotura dos laminados que usam fibras de carbono do tipo PW, *plain weave*, fabricados no PIEP, 467 Mpa

σ_{adm} – tensão de rotura, em MPa, que é a tensão máxima verificada na simulação, 130 Mpa

m – massa, apresentada em g e kg

V – volume, em m^3

ν – coeficiente de *Poisson*

E_1 – módulo de elasticidade longitudinal dos laminados que usam fibras de carbono do tipo PW, *plain weave*, fabricados no PIEP, 55 GPa

1. INTRODUÇÃO

Devido à deflorestação massiva, foram impostas restrições ao abate de árvores e ao acesso a madeiras de alta qualidade utilizadas no fabrico de guitarras, levando também conseqüentemente ao aumento do seu preço. A utilização de compósitos de fibra de carbono tem surgido como uma alternativa cada vez mais viável e acreditada. Nesta dissertação pretende-se estudar e verificar a viabilidade da substituição de um componente interior de uma guitarra por um fabricado em resina epóxida reforçada com fibras de carbono.

O novo produto, que tem como objetivo principal a redução de peso, foi desenvolvido para ser utilizado nas guitarras da *Sabrafen* empregando as tecnologias, equipamentos e *softwares* de ensaio existentes nas instalações do Pólo de Inovação em Engenharia de Polímeros (PIEP).

No trabalho, começou por se rever o estado atual do conhecimento e dos conceitos tecnológicos atualmente predominantes no mundo das guitarras e compósitos.

Inicialmente, era intenção da empresa substituir o *truss rod* das suas guitarras, mas acabou por optar por substituir um componente de reforço interno das suas guitarras do tipo *archtop*.

Além do *design*, conceção e cálculo dimensional efetuou-se uma simulação estrutural do componente por forma a assegurar que ele conseguiria desempenhar adequadamente a sua função. Posteriormente, foi projetado e construído um molde que permitiu produzir o produto por infusão a vácuo. Após fabrico, determinou-se o custo das matérias-primas usadas na produção do componente que também foi validado experimentalmente através de um teste mecânico especialmente desenvolvido para simular a sua aplicação real.

1.1 Objetivos

A presente dissertação tem como objetivo o desenvolvimento e fabricação de produtos estruturais em material compósito a serem produzidos por infusão a vácuo e que possam substituir com vantagem componentes de guitarras atualmente fabricados noutros materiais mais convencionais. Este método de fabrico tem como base o escoamento de uma matriz líquida ao longo de um reforço fibroso de modo a garantir a sua impregnação.

A ideia enquadrou-se no âmbito do projeto *Valornature*, que é um projeto de cooperação existente entre o PIEP e o CIS-Madeira, que se propõe a criar um centro de excelência em materiais sustentáveis avançados que possibilite o aproveitamento de recursos naturais no norte de Portugal e da Galiza, realizado ao abrigo do Programa Operacional, EP-INNEREG V A Espanha Portugal (POCTEP).

Este produto é desenvolvido com a intenção de ser utilizado pela empresa de construção de guitarras de *luthier*, *Sabrafen*, obedecendo às cotas fornecidas.

A *Sabrafen* pretende a substituição de um componente atualmente usado no interior das suas guitarras por um outro fabricado em resina epóxida reforçada com fibras de carbono. O objetivo seria o de colmatar alguns problemas relacionados com as matérias-primas usadas no produto atual, tais como, reduzir o seu peso e eliminar questões derivadas da escassez e restrições ao acesso e utilização de algumas madeiras como materiais de reforço. A Empresa pretendia ainda que se mantivesse a classificação e características *premium* dos seus instrumentos.

Assim, os principais objetivos deste trabalho eram:

- Efetuar o projeto e a conceptualização do novo produto em material compósito;
- Efetuar o seu dimensionamento teórico;
- Simular o seu comportamento estrutural usando o software comercial (ABAQUS);
- Projetar e fabricar o molde a usar no seu fabrico através do software (PowerMILL);
- Fabricar o produto pretendido por Infusão a vácuo e analisar os resultados obtidos;
- Validar experimentalmente um protótipo final;
- Determinar o custo das matérias primas usadas no seu fabrico;

1.2 PIEP

O PIEP - Pólo de Inovação em Engenharia de Polímeros (PIEP) é uma associação privada sem fins lucrativos, de matriz marcadamente tecnológica e científica. O PIEP pretende dar resposta, em tempo oportuno, às necessidades de I&DT das empresas do sector, desenvolvendo novos materiais e apoiando a criação de produtos inovadores, tecnologias de processamento e ferramentas produtivas, potenciando a criação e a transferência de know-how resultante da atividade estruturada de I&DT. Não menos relevante, o PIEP

assume um contributo significativo na vertente da formação, apoiando o desenvolvimento de recursos humanos com competências práticas nos processos de inovação industrial no domínio da engenharia de polímeros.

Desde a sua génese vocacionado para "Converter Ideias em Produtos", as inúmeras soluções constituintes do portfólio de I&DT do PIEP são o resultado do trabalho desenvolvido pelo polo em estreita articulação com os atores industriais, desempenhando um papel fundamental na materialização de ideias através das suas práticas estruturadas de I&DT e nas competências multidisciplinares existentes. A atividade do Pólo tem-se desenvolvido em inúmeros vetores da engenharia de polímeros, orientados aos mais diversos sectores, nomeadamente a aeronáutica e defesa; o ambiente, a energia, o automóvel, a construção civil, a embalagem, equipamentos elétricos e eletrónicos, a saúde e dispositivos médicos, entre outros.

A oferta tecnológica do PIEP está focalizada sobre o conjunto de atividades necessárias para suportar, total ou parcialmente, processos de desenvolvimento de produtos em plástico - desde o desenvolvimento da matéria-prima, passando pela engenharia, processos de fabrico e teste funcional do produto final. Assim, o conjunto de meios físicos, equipamentos e recursos humanos reunidos pelo PIEP, asseguram a esta associação competências nos domínios da Caracterização de Materiais, Desenvolvimento de materiais, Engenharia de Produto e Tecnologias de Processamento, culminada numa oferta tecnológica efetiva, em vários domínios. De destacar a caracterização de materiais (mecânica, térmica, estrutural, reológica, ambiental, químico-física e ótica de matérias-primas e de produtos em plástico); a caracterização morfológica e micro estrutural de sistemas poliméricos; o desenvolvimento de materiais (desenvolvimento da composição, formulações, biopolímeros, nano materiais e novas funcionalidades, compósitos de matriz polimérica reforçados com fibras, adesivos poliméricos), a engenharia de produto (cálculo computacional avançado, modelação e otimização comportamental, modelação e otimização de processos e conceptualização de ferramentas produtivas), as tecnologias de processamento (extrusão, moldação por injeção, tecnologias de produção de compósitos por infusão, termoformação).

1.3 Sabrafen

A *Sabrafen* é uma empresa espanhola de serviços de *luthier* que está localizada na N-525 em *Cruces*, no conhecido concelho de Allariz na província de Ourense. A empresa iniciou a sua atividade em 1991.

A empresa foi criada e é gerida pelo artesão, *luthier*, *Carlos Sabrafen* que conta com 39 anos de experiência na construção de instrumentos de cordas.

Um *luthier* é nome generalizado que se dá a um artesão que constrói instrumentos de cordas, nome este que provem do francês *luth* (alaúde), podendo também ser designado por violeiro.

A empresa oferece vários tipos de serviços desde:

- Reparação de instrumentos, onde também se inclui a sua manutenção.
- Fabrico de instrumentos musicais. A empresa fabrica vários tipos de instrumentos de cordas, entre eles baixos e guitarras elétricas, instrumentos maciços ou semiacústicos, bem como, guitarras e baixos acústicos eletrificados. Os vários modelos já estandardizados que a empresa fabrica podem ser customizados ao cliente.
- Projeto de instrumentos. A empresa tem capacidade para oferecer ao cliente o projeto de um novo instrumento a partir do ponto zero ou modelos completamente diferentes dos que atualmente fabrica de acordo com as necessidades e/ou requisitos do cliente.

A *Sabrafen* é uma empresa artesã, onde cada instrumento é singular e contruído com as madeiras mais exóticas e materiais mais luxuosos. O cliente de um *luthier* pretende um instrumento único com a melhor construção e uma estética mais pormenorizada, sendo o preço um fator secundário neste ramo de negócio por os instrumentos de *luthier* se enquadrarem no setor de “artigos de luxo”.

1.4 Estrutura da tese

A presente dissertação divide-se em 10 capítulos.

O corrente capítulo (Capítulo 1) inclui uma introdução, a definição dos objetivos do trabalho, uma apresentação das entidades onde se realizou a tese e da empresa-cliente e, finalmente, uma descrição sucinta da estrutura da tese.

No capítulo 2, descreve-se o atual estado de arte relativo aos diferentes materiais, produtos e tecnologias aplicáveis nesta dissertação e inicia-se com uma breve história da guitarra, que permite obter um melhor conhecimento sobre a sua evolução e características.

O capítulo 3 inclui todo o processo criativo de conceção e projeto, explorando as condições de partida para o desenvolvimento e onde se apresenta o dimensionamento teórico do componente a produzir.

Seguidamente, no capítulo 4, descreve-se o processo e o procedimento de simulação estrutural de cargas no componente bem como os respetivos resultados.

No capítulo 5, inclui todas as etapas do desenvolvimento e construção do molde a utilizar no fabrico do produto.

No capítulo 6, descreve-se o fabrico do componente, desde a preparação e produção por infusão até ao seu acabamento.

O capítulo 7 inclui a validação do componente, o desenvolvimento e conceção do teste para ela usado e a apresentação e análise dos resultados obtidos.

No capítulo 8, avalia-se os custos das matérias primas utilizadas na construção do produto faz-se a sua análise comparativa com o componente que se pretende substituir.

Finalmente, no capítulo 9 apresentam-se as principais conclusões finais deste trabalho e, no capítulo 10, sugerem-se alguns trabalhos para futuro.

2. ESTADO DE ARTE

2.1 História da Guitarra

Não é possível precisar a origem dos instrumentos de corda mas, segundo antropologistas, os instrumentos de corda deverão ter surgido pouco tempo depois do homem primitivo ter criado a sua primeira máquina: o arco de flecha. Embora os instrumentos de corda tenham tomado formas diversas em diferentes culturas ao longo da história, a guitarra é um instrumento relativamente recente. [8]

As versões mais primitivas da guitarra apareceram no período Barroco, entre 1600 e 1750, com o famoso artesão *Antonio Stradivari*, que para além de violinos também é conhecido por ter feito guitarras. As guitarras do período barroco eram diferentes das atuais, apresentando 10 cordas agrupadas por 5 pares sendo cada par tocado simultaneamente.

Foi nos inícios do século XIX que a guitarra acústica começou a apresentar sua forma moderna de 6 cordas singulares que podem ser afinadas. Em 1800, a popularidade da guitarra estava concentrada em Itália e Espanha, onde era levada a sério como instrumento musical. Foi graças ao aparecimento de grupos de guitarristas dotados que também compunham música com o instrumento, donde se destaca *Fernando Sor* (1778-1839), que a guitarra foi introduzida às massas e se viu difundir por toda a Europa como um instrumento musical importante. [8]

Entre os vários construtores de guitarras que apareceram na Europa em meados do século XIX, destaca-se *António Torres* (1817-1892) a quem é dado o crédito de ser o pai da guitarra clássica moderna. Os seus instrumentos incorporavam melhorias incrementais em relação aos dos seus predecessores e incluíam também características de design que foram sendo adotadas por outros construtores. [8]

Quando *Torres* apresentou a sua guitarra publicamente, vários compositores importantes passaram a utilizá-la. Simultaneamente, guitarristas virtuosos passaram a atuar publicamente com ela, levando a música e a qualidade do instrumento a uma grande audiência. [8]

O passo final em legitimar a guitarra como um instrumento clássico parece ter acontecido quando *Andrés Segovia* (1893-1987) começou a sua carreira profissional.

Ele mais que ninguém, no início do século XX, demonstrou a qualidade da guitarra à opinião pública e estabeleceu-a como instrumento musical muito relevante. [8]

Enquanto na Europa a guitarra foi continuamente desenvolvida e adotada por um conjunto de músicos importantes, nos Estados Unidos a sua popularidade também aumentava, sobretudo num inesperado grupo do espectro social. Sendo a escravatura ainda praticada até meados do século XIX, os escravos que tinham levado de África a sua cultura e instrumentos tradicionais à medida que forma assimilando a cultura Americana foram também adotando a guitarra acústica como instrumento musical de base.

Em 1838, é nos Estados Unidos que *Christian F. Martin* estabelece o seu negócio de construção de guitarras que se tornariam a base da guitarra acústica moderna de cordas de aço. [8]

Os escravos libertados depois da guerra civil Americana adotaram as guitarras com o design de *Martin* para criarem estilos musicais, como o “blues” e o “gospel”, que se tornariam ícones mundiais da música. [8]

No início do século XX e partir do Sul dos Estados Unidos, grupos musicais afro-americanos tornaram-se mestres da guitarra acústica. Músicos como *Robert Johnson*, *Huddie Ledbetter* entre outros, divulgaram os “blues” e outros estilos precursores do rock a uma vasta audiência de fãs [8]. Na mesma altura, já também se tinham estabelecido e começado a produzir instrumentos algumas das maiores empresas americanas de construção de guitarras [8].

Antes de 1920, todas as guitarras eram acústicas e não havia nenhuma maneira prática de amplificar o seu som. Uma das primeiras tentativas para solucionar este problema, foi desenvolvida pela *Rickembaker* nos anos 1930 que criou uma guitarra de colo em aço apelidada de “*frying pan*” que, no entanto, apresentava severos problemas de *feedback*. O *feedback* resulta das características intrínsecas da guitarra acústica, que é propositadamente flexível para que o som se desenvolva e aumente o seu volume. Um volume alto faz com que o corpo da guitarra vibre, vibração essa que detetada pelos captadores é enviada para o amplificador que, por sua vez, a remete para as colunas fazendo com que o corpo vibre a uma amplitude ainda mais alta, o que acaba por ser repetido em *loop*. O resultado é o “guincho” familiar de *feedback* acústico [8].

Outra tentativa de amplificar efetivamente a guitarra foi feita por *Les Paul*, um conhecido músico e inventor americano. Como se pode ver na Figura 1, a tentativa

consistiu em serrar ao meio uma guitarra acústica de jazz, juntar as duas partes numa viga de madeira onde montou o resto dos componentes. O resultado foi a criação duma guitarra sem *feedback* e que conseguia manter o som por mais tempo que a guitarra acústica anterior e que se considera, na prática, como uma das primeiras guitarras elétricas [8].



Figura 1- Les Paul "the LOG" [9]

É importante frisar que os captadores magnéticos usados nas primeiras guitarras elétricas só funcionavam com cordas de aço. [8]

O próximo grande avanço foi o desenvolvimento da guitarra de corpo sólido. Em 1948, *Leo Fender*, apresentou a primeira guitarra de corpo sólido com sucesso comercial, mais tarde designada *Fender Telecaster* [8]. Esta guitarra resolveu o problema do *feedback* ao substituir o corpo flexível da guitarra acústica por um bloco rígido de madeira que fazia com que a produção de som dependesse quase exclusivamente dos captadores e do amplificador.

Como o corpo da guitarra elétrica tem apenas uma função acústica secundária, a descoberta anterior fez com que estas pudessem começar a ser fabricadas com outras formas e noutros materiais adequados. Emergiu assim a ideia da guitarra elétrica como uma obra de arte, constituindo-se o seu corpo mais como uma paleta integrante dum instrumento musical [8].

Ao longo dos tempos a guitarra tem evoluído como instrumento musical, apresentando-se presentemente no mercado tanto da maneira mais tradicional, como sendo um objeto adaptado aos tempos de hoje e capaz de adotar todos avanços

tecnológicos característicos desta era, através da incorporação de pré-amplificadores, processadores de efeitos e de tecnologias de auto afinação.

2.2 Anatomia da Guitarra

Para se saber o que é uma guitarra é preciso reconhecer individualmente os seus componentes e respetivas funções. Em seguida apresentam-se os componentes das guitarras acústica e elétrica.

A assimilação destes conceitos e conhecimentos é importante para que se possa perceber como foram desenvolvidos novos componentes nesta dissertação, entender a importância das suas funções e que requisitos de desempenho estrutural devem assegurar na guitarra.

2.2.1 Guitarra Acústica

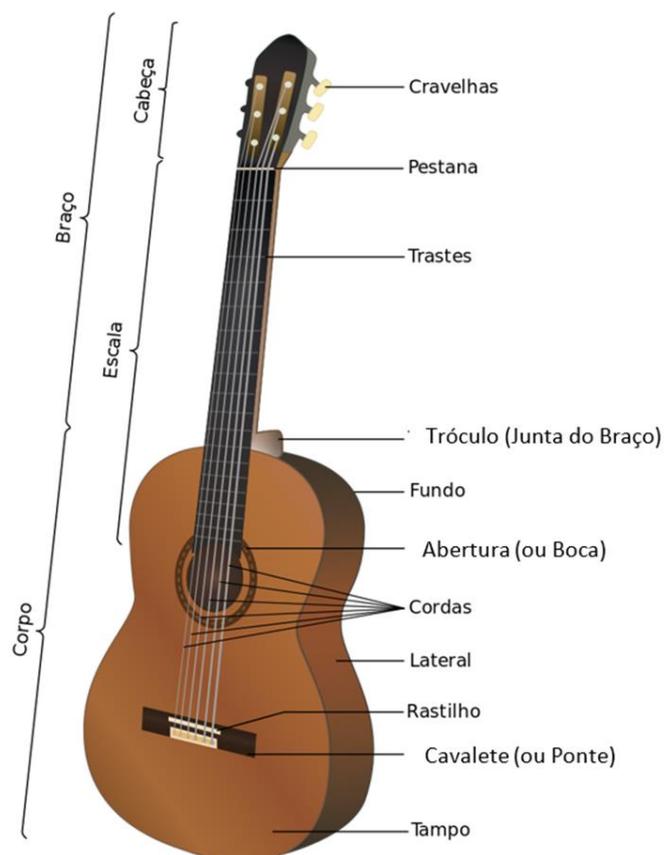


Figura 2 - Representação esquemática de uma guitarra clássica/acústica.[10]

A primeira secção da guitarra é chamada de cabeça ou mão, onde se encontram as cravelhas. As cravelhas possibilitam afinar a guitarra apertando ou desapertando as cordas [10], [11].

A parte mais estreita da guitarra é chamada de braço. No braço, a pestana é o componente que separa as cordas pela largura da escala e a parte da frente do braço, chamada de escala, é dividida por tiras metálicas ao longo do seu comprimento, chamadas de trastes, que possibilitam tocar sempre a mesma nota em cada espaçamento entre si. A parte inferior e mais larga da guitarra é chamada de corpo e é nele que se encontra uma abertura, a boca, que permite à guitarra fazer caixa de som, ou seja, amplificar o som da vibração das cordas. Na parte inferior do corpo, a ponte e o rastilho seguram e distribuem as cordas [10] [11].

2.2.2 Guitarra Elétrica



Figura 3 - Comparação esquemática de componentes de uma guitarra acústica e de uma guitarra elétrica. [10]

Apesar de partilhar muitos dos componentes com a guitarra acústica, a guitarra elétrica tem alguns componentes singulares, como por exemplo: [10][11]

-Captadores ou *Pickups*

-Potenciômetros

-Seletor de captadores

-Entrada de cabo *jack*

Os captadores, ou *pickups*, capturam a vibração das cordas e convertem o seu som através de amplificadores. Os potenciômetros controlam o volume e o tom. O seletor de captadores, como o nome indica, permite selecionar os captadores determinando o som da guitarra. É na entrada de cabo *jack* que se liga o cabo a que é conectado o amplificador, que possibilita a amplificação e posterior transmissão do som para as colunas por onde se faz a sua saída.

2.2.3 Componentes Internos

Os componentes interiores normalmente encontrados nas guitarras são apresentados na Figura 4, sendo as suas principais funções descritas abaixo.

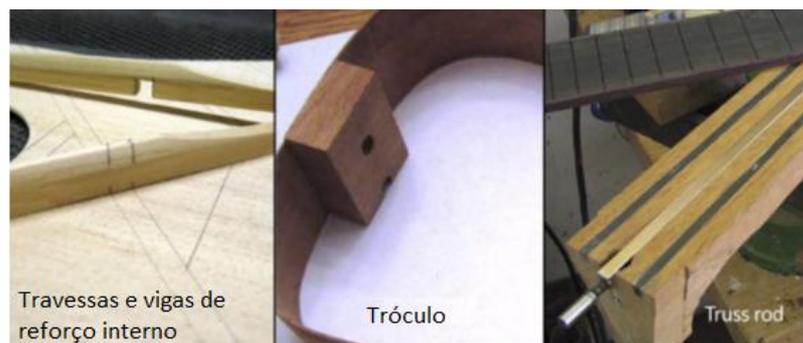


Figura 4 - Componentes internos normalmente encontrados nas guitarras [12]

Travessas e vigas de reforço interno - As travessas e vigas de reforço interno providenciam integridade estrutural ao corpo da guitarra. Como a carga aplicada nas cordas não consegue muitas vezes ser suportada apenas pelo tampo, as vigas de reforço interno desempenham um importante papel nesse trabalho e também ajudam a interligar melhor as diferentes partes do instrumento, o que permite aumentar a transferência de vibrações no instrumento [12].

Truss Rod - É o elemento responsável por manter o braço da guitarra direito. A maior parte dos *truss rods* são ajustáveis e constituídos por dois componentes que podem ser tensionados de modo a que o momento causado pelas cordas seja mais ou menos contrariado [12].

Tróculo ou “Neck Pocket” - É um componente de madeira que proporciona o encaixe do braço ao corpo da guitarra. É colado firmemente às laterais, ao tampo e ao fundo da guitarra de maneira a proporcionar uma adequada transferência de esforços. É normalmente construído no mesmo material do braço [12].

2.3 A Guitarra *Archtop*

As guitarras *archtop* são um grupo de guitarras que fazem parte da família das guitarras semiacústicas. As guitarras semiacústicas ocupam um espaço intermédio entre as guitarras elétricas de corpo sólido e as acústicas de caixa. A ideia básica é ser uma guitarra que parece e toca praticamente como uma guitarra elétrica, retendo algumas qualidades da acústica ao nível de som [8].

As guitarras *archtop* são únicas porque o seu tampo e fundo não são lisos, mas sim convexos como os dos violinos. Sendo popularmente associadas ao *jazz*, também são usadas nos *blues* e *rock*. Constituem-se, portanto, como um instrumento intermédio entre a família dos violinos e das guitarras convencionais de topos lisos [8].

Tradicionalmente, o tampo e o fundo da guitarra são esculpidos de placas sólidas de madeira, utilizando-se equipamentos computadorizados de maquinaria na construção das guitarras *archtop* pelas grandes empresas que as produzem [8].

Existem guitarras deste tipo que têm o corpo completamente oco e outras não. Por exemplo, a *Gibson ES-335* (ver Figura 5), tornada famosa por grandes lendas da música, como *B.B. King*, *Chuck Berry* entre outros, apresenta um pesado bloco de madeira (ver Figura 6) no centro do corpo da guitarra e que ocupa toda a sua profundidade de modo a conectar o topo ao fundo da guitarra, bem como, o braço à ponte. Trata-se dum desenvolvimento do conceito previamente descrito que foi sugerido por *Les Paul* na guitarra *Les Paul “the LOG”*. O bloco permite diminuir o *feedback* da guitarra quando ela é tocada a um volume muito alto e aumentar a retenção de vibrações por mais tempo, tornando o instrumento mais atrativo para músicos de rock. Este tipo de instrumento, no fundo, não é feito para ser tocado sem amplificação [8].



Figura 5- Guitarra *Gibson ES-335*. [13]



Figura 6 - Laterais e bloco interior de uma Guitarra *Gibson ES-335* modelo de 1959 [14]

2.4 Compósitos

Os materiais compósitos, nomeadamente os de matriz polimérica, têm vindo a ganhar terreno, ocupando um lugar destacado entre os materiais de engenharia, devido às várias vantagens em relação aos materiais tradicionais, nomeadamente a facilidade de processamento, elevada rigidez, resistência mecânica e o baixo peso específico que têm associado. Um material compósito consiste na combinação de dois ou mais materiais à escala macroscópica para dar origem a um terceiro material com propriedades diferentes dos materiais que o originaram. Na prática, a maior parte dos compósitos são constituídos por um material contínuo, a matriz, que preenche os espaços vazios entre uma fase dispersa dum outro material, o reforço, que confere maior resistência e rigidez à matriz. Os mais clássicos e vulgares são os compósitos reforçados com fibras, que são constituídos por uma fase dispersa fibrosa no seio duma matriz. Uma das principais razões para as excelentes propriedades dos compósitos resulta do facto das fibras promoverem propriedades mecânicas muito

superiores à dos materiais idênticos na sua forma maciça, podendo ser alcançadas propriedades como elevada resistência, rigidez, resistência à corrosão, resistência ao desgaste, baixo peso, resistência à fadiga, isolamento térmico e condutividade térmica. [1]

Os materiais compósitos vão assim combinar as propriedades da resina com as propriedades das fibras.

A configuração da fibra e o seu tratamento da superfície, *sizing*, de acordo com as características de interface requeridas, também determinam as propriedades e a durabilidade do seu material compósito. [2]

No geral as propriedades do material compósito reforçado com fibra são determinadas por [2]:

- i) propriedades da fibra
- ii) propriedades da resina
- iii) rácio quantitativo fibra/resina no compósito (fração volúmica ou mássica de fibras)
- iv) geometria e orientação das fibras no material compósito.

2.4.1 Matriz

A matriz tem como principais funções proteger o reforço do ambiente externo evitando que este entre em contacto com meios corrosivos, manter o reforço no seu lugar, transferir cargas para o reforço e em determinados casos ter de suportar cargas aplicadas transversalmente à direção das fibras [3].

Quando se seleciona uma determinada matriz para uma aplicação específica, deve-se ter em conta vários parâmetros de serviço, tais como: temperatura, humidade, corrosão química, radiação violeta e outros efeitos ambientais [3].

O método de processamento também deve ser levado em consideração, pois influencia o aparecimento de falhas e fissuras estruturais e microestruturais, de tensões residuais e da qualidade da interface matriz-fibra [3].

As matrizes normalmente utilizadas nos materiais compósitos reforçados com fibras são polímeros. Todos os polímeros exibem longas cadeias moleculares constituídas por várias unidades repetitivas simples e podem ser do tipo termoplástico ou termoendurecível [2].

Enquanto os termoplásticos fundem com o aumento da temperatura, os termoendurecíveis, endurecem (curam) com esse aumento.

As matrizes termoendurecíveis mais utilizadas são as resinas de poliéster insaturado, epóxicas e viniléster. São formadas por uma reação química in situ, onde a resina e endurecedor, no caso das resinas epóxicas, ou a resina e o catalisador, no caso das resinas de poliéster, são misturados submetendo-se assim a uma reação química irreversível (designada cura) dando origem um produto rígido e infusível.

A família das resinas epóxicas representa algumas das matrizes com maior desempenho usadas atualmente. Geralmente as resinas epóxicas superam a maior parte de outros tipos de resina em termos de propriedades mecânicas, maior poder de adesão, resistência à degradação ambiental e à temperatura, mas o seu elevado preço leva à sua utilização em apenas componentes de alto desempenho [2].

As resinas termoendurecíveis apresentam valores de viscosidades bastante inferiores à dos termoplásticos, promovendo deste modo, uma melhor capacidade de impregnação, elevada rigidez e um comportamento estável à temperatura, e têm como principal desvantagem o facto de não poderem ser facilmente recicladas [2].

2.4.2 Reforço

A principal função do reforço é suportar e implementar elevados níveis de resistência e rigidez a um material compósito. A combinação de uma matriz de baixo peso específico com um reforço de alta resistência pode levar à obtenção de um material compósito com um excelente desempenho e elevada aplicabilidade.

Atualmente, as fibras representam o principal material de reforço utilizado em materiais compósitos [2].

As propriedades mecânicas da maior parte das fibras utilizadas como reforço são consideravelmente maiores do que as da matriz. As propriedades mecânicas do material compósito são, por isso, dominadas pela presença das fibras que o constituem [2].

A influência das fibras usadas nos compósitos nas propriedades finais destes materiais, depende de diversos parâmetros, nomeadamente, das propriedades mecânicas da fibra especificamente usadas, da superfície de contacto da fibra com a resina, do teor de fibra no compósito e da sua orientação. Pode-se inferir que, quanto menor for o diâmetro das fibras e menor o espaçamento entre elas, maior será a fração de volume de fibra do compósito, conferindo a este material uma elevada resistência mecânica em relação ao peso [2].

Finalmente, já que as fibras suportam muito maiores esforços na direção do seu comprimento do que na direção transversal a ele, a orientação das fibras tem uma influência na variação das propriedades com a direção no material compósito (anisotropia). Esta característica anisotrópica dos materiais compósitos pode ser utilizada com vantagem no projeto, através da orientação das fibras nas direções em que atuam as cargas mais relevantes. Isto minimiza a quantidade de material que possa ser usado em direções sujeitas a esforços menos significativos.

Em processos de moldagem, como a infusão a vácuo, são utilizados reforços com arquiteturas complexas que conferem ao compósito uma melhor estabilidade dimensional. No entanto, eles dificultam a sua impregnação, influenciando deste modo a velocidade do decorrer do processo. Alguns tipos de configurações de reforços usados nos compósitos são apresentados pela Figura 7 [5].

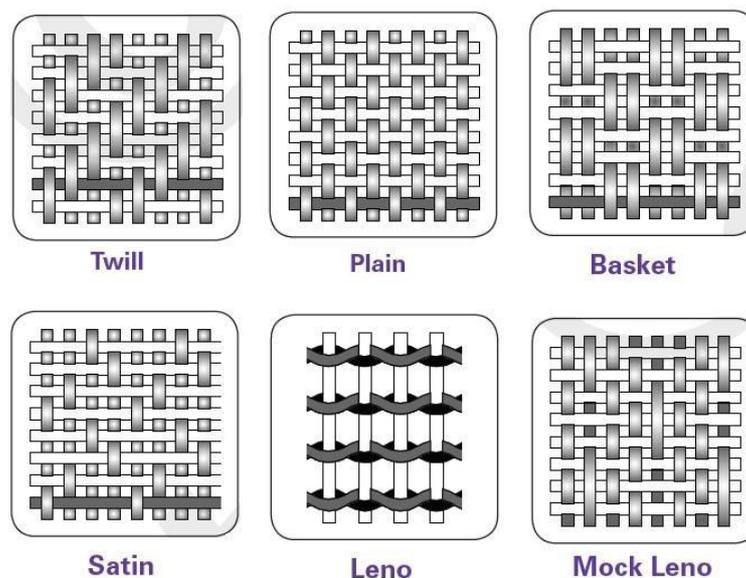


Figura 7 - Configurações de reforços utilizados em compósitos. [5]

Os reforços geralmente utilizados nos compósitos de matriz polimérica são as fibras de vidro, de carbono e de aramida (Kevlar®). [2] [4]

As fibras de carbono têm maior rigidez específica que todas as outras fibras disponíveis comercialmente, apresentam uma resistência à tração e à compressão muito elevada e uma resistência elevada à corrosão e à fadiga. Contudo, a sua resistência ao impacto é menor que as fibras de vidro e aramida. São normalmente produzidas pela oxidação, carbonização e, finalmente, grafitação de precursores orgânicos já na forma de fibra. O precursor mais comum é o PAN (poliacrilonitrilo),

que permite a fabricação de fibra de carbono com as melhores propriedades, mas também podem ser fabricadas a partir do *pitch* ou da celulose [2].

2.5 Infusão a Vácuo

O crescimento da indústria dos compósitos e o esforço contínuo para produzir componentes rígidos e leves com maiores cadências de produção, promoveu o uso de técnicas de pressão para consolidar e formar materiais com excelentes propriedades mecânicas (Figura 8). Uma das principais barreiras à inserção da área dos compósitos no mercado é o elevado custo que está associado a algumas tecnologias de produção destes materiais, nomeadamente, o processamento em Autoclave. Em resposta a estes desafios têm-se destacado processos de moldação líquida de compósitos, tais como, o RTM, Resin Transfer Molding, e o VIP, Vacuum Infusion Process. Estes dois métodos de fabrico têm como base o escoamento de uma matriz líquida ao longo de um reforço e permitem obter produtos de elevado desempenho.

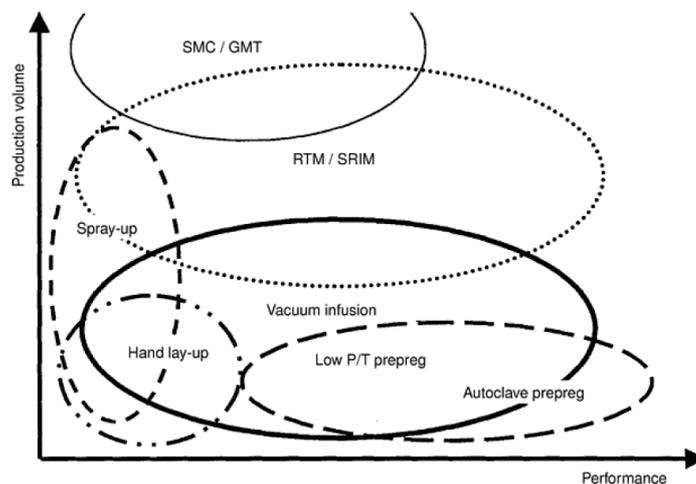


Figura 8 - Gráfico ilustrativo do volume de produção, eixo dos yy, e a performance alcançada, eixo dos xx, dos diferentes processos de fabrico de materiais compósito [1]

O Processo de Infusão a Vácuo, esquematicamente apresentado na Figura 9, é uma técnica de injeção de resina sob pressão negativa, em molde fechado, para a

produção de compósitos, com elevada potencialidade na fabricação de peças com forma simples, de grandes dimensões, em pequena série e com baixos custos de produção. Esta técnica é simples e fácil de executar e consiste nas seguintes etapas de processamento:

- (i) Colocação do material de reforço no interior da cavidade de um molde;
- (ii) O molde é selado com um saco de vácuo que comprime o material de reforço contra o molde;
- (iii) A resina flui ao longo do molde impregnando o material de reforço;
- (iv) Cura da resina;
- (v) Abertura do molde e desmoldagem da peça. [1]

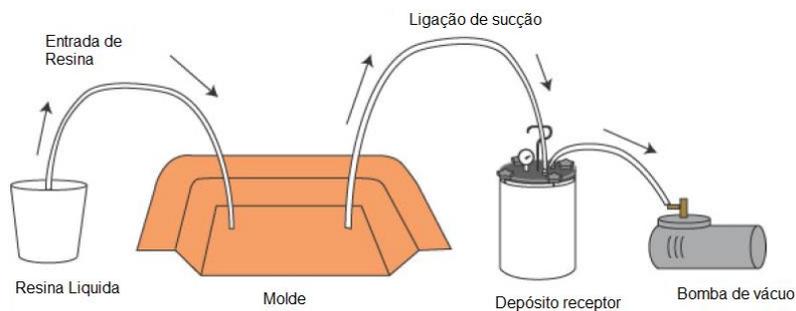


Figura 9 - Ilustração do processo de infusão por vácuo (VIP) [6]

Enquanto num processo típico de Laminagem Manual os reforços são colocados sobre o molde, a resina é impregnada manualmente com o auxílio de pincéis ou rolos, no Processo de Infusão a Vácuo a impregnação dos reforços colocados no molde é conseguida por aplicação de vácuo que, através da ação da pressão negativa e por meio de tubos estrategicamente posicionados, suga a resina para o interior do molde e faz com que ela se escoe através do estratificado fibroso. No final, qualquer excesso de resina que entra no interior do laminado é conduzido para um depósito recetor, *resin trap*, que é colocado entre o molde e a bomba de vácuo. Como resultado, a pequena quantidade de resina utilizada garante a obtenção dum compósito com peso e quantidade de vazios reduzidos e elevada rigidez (elevada fração volúmica de fibra). Além disso, como o processo faz uso de pressão negativa permite, ainda, que a metade superior do molde seja feita de um material flexível de baixo custo, por exemplo um saco de plástico ou de silicone, não impõe nenhum limite de tamanho das peças e garante ainda uma baixa exposição aos vapores voláteis (tóxicos) das resinas. Relativamente ao processamento tradicional em autoclave, esta tecnologia

apresenta uma redução significativa dos custos, tanto ao nível de investimento inicial (custo elevado de um autoclave) como ao produtivo (moldes e ferramentas com muito menor custo e poupança de energia por utilizar resinas com menor temperatura de cura), eliminando também todos os constrangimentos dimensionais associados ao uso do autoclave. Este processo é utilizado para fabricar compósitos de largas dimensões, particularmente na indústria aeroespacial, automóvel, naval e eólica como, por exemplo, o fabrico de barcos e das pás dos aerogeradores [1] [5].

A principal dificuldade encontrada durante o planeamento do processo de infusão remete para o tamanho, a forma e o tipo de laminado que se pretende fabricar, o que requer uma diferente disposição dos canais de entrada e saída de resina para cada formato de peça, para que se garanta o adequado escoamento e a impregnação de todo o laminado, sem que ocorram desfasamentos da progressão do fluído, bolhas de ar nem a cura da resina antes da infusão estar completa [1] [5].

Alguns dos acessórios utilizados no processo de infusão são descritos no Anexo XV.

2.5 Compósitos de Fibra de Carbono no Mercado e Indústria de Construção de Guitarras

Devido à deflorestação desenfreada, foram impostas restrições ao abate de árvores e ao acesso a madeiras de alta qualidade utilizadas no fabrico de guitarras. Madeiras como o pau-rosa, proveniente do Brasil, que há algumas décadas era considerada a melhor madeira para construir guitarras, têm cada vez mais restrições burocráticas e limitações de acesso o que, conseqüentemente, também causa o aumento do seu preço. Este problema tem levado tanto a que empresas como artesãos procurem novas alternativas [15].

Os novos avanços no campo dos plásticos e compósitos mostram a capacidade da utilização materiais sintéticos aplicando-os na construção de instrumentos musicais [8].

Atualmente várias empresas recorreram ao desafio da construção de guitarras de alta qualidade utilizando materiais compósitos. A maior parte dessas guitarras são fabricadas recorrendo a compósitos de fibras de carbono.

Os compósitos em fibra de carbono têm ganho espaço como material de luxo, o seu aspeto característico em padrão, o seu fator peso/resistência, que leva à sua utilização em carros de luxo e alta performance bem como na indústria aeronáutica e aeroespacial, e o seu preço elevado faz com que seja um material associado a uma qualidade superior e ao pico do desenvolvimento tecnológico. [8][16]

Nos dias de hoje temos inúmeras aplicações dos compósitos em fibra de carbono, desde canas de pesca, que utilizam características marcantes destes materiais como a sua flexibilidade e baixo peso em prol de melhor desempenho da sua função, a joalheria, como o exemplo na Figura 10 de um relógio Rolex Daytona com um preço de 37 290€, deixando as características mecânicas destes materiais para segundo plano utilizando-os pela sua capacidade estética, decorativa e simbólica.[17][18]



Figura 10 - Relógio *Rolex Daytona Carbon Cream Invert*[17].

Existem algumas empresas que já utilizam compósitos de fibra de carbono na construção de guitarras já colocadas no mercado.

A *Ovation*, que é dos maiores fabricantes de guitarras a nível mundial, foi a primeira empresa do meio a utilizar estes materiais. É uma empresa que constrói primariamente guitarras acústicas eletrificadas. Oferece uma gama diversificada de guitarras em materiais compósitos, um exemplo está presente na Figura 11, uma das suas guitarras que contem o tampo em fibra de carbono, com preço de 3 114,74€. [20]



Figura 11 - Guitarra *Ovation Adams MD80* [19]

No que consta a guitarras elétricas, a *Parker Fly*, da *Parker Guitars*, lançada em 1993 foi um dos marcos na história do instrumento em si, criada por *Ken Parker* inspirado por um amigo que utilizava compósitos de fibra de carbono na construção de lanchas rápidas, decidiu utilizar o material para construção das suas guitarras. Apesar de aclamadas e tocadas por artistas como *Matt Bellamy* (Figura 12) ou *Eddie Van Alen*,

tinham um preço cerca de 2000€ para competirem com guitarras de topo de linha da altura. Esse preço tornava-se demasiado baixo para o preço de produção do instrumento, que no futuro ditou a sua insustentabilidade no mercado. [22] [23]

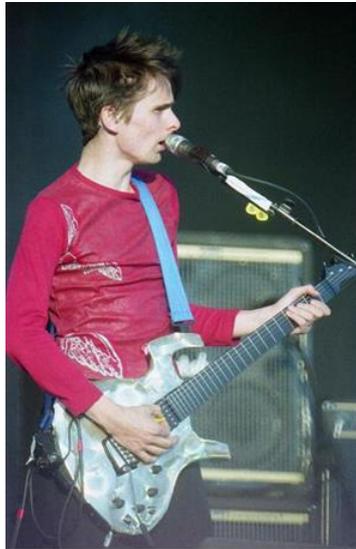


Figura 12 -*Matt Bellamy* da banda *Muse* a usar uma guitarra *Parker Fly*. [21]

Devido à *Parker Fly* ser um instrumento acima da sua era, demasiado revolucionário, e a incapacidade da *Parker Guitars* de ter plataformas e o nome/marca estabelecida em relação aos seus competidores, contribuiu para que o ato de ganhar a confiança do consumidor tradicionalmente purista fosse difícil. Em 2006 foi vendida por o seu fundador e a partir daí fez uma trajetória descendente até o encerramento da fábrica da empresa em 2016 [22] [23].

Como já enunciado os compósitos em fibra de carbono têm construído um nome no mundo como uma matéria prima de excelência, valorizando e acreditando novos produtos fabricados hoje em dia. Talvez se a *Parker Fly* fosse lançada hoje, poderia ser lançada a um preço muito mais elevado, devido à confiança ganha por parte do consumidor no material em si, o que poderia ter ditado um final diferente à marca.

Um exemplo da mudança da percepção do público para o material é a *Fender Stratocaster 1*, apresentada em 2020 com um preço de 27811,72€ (Figura 13). A *Fender Stratocaster 1* é uma guitarra criada pela divisão mais exclusiva, *Custom Shop*, da *Fender*, que por si só é uma das maiores, se não a maior empresa do meio.

Demonstrando mais uma vez a colocação dos compósitos de fibra de carbono como um material de excelência na construção de guitarras. [25]



Figura 13 - Guitarra *Fender Stratocaster 1* [24]

Em Portugal também existe uma empresa vocacionada na construção de guitarras elétricas em compósitos de fibra de carbono, a *AVA Guitars*. Situada no Porto a *AVA Guitars*, exemplo na Figura 14, dedica-se à construção de guitarras elétricas de excelência sem utilizar madeira e misturando nas suas guitarras um design clássico com materiais avançados, têm preços desde 3750€ a 4200€. [26]



Figura 14 - Guitarra *AVA Coal Skin* [26]

2.6 Comparação entre Compósitos de Fibra de Carbono e Madeira como Materiais de Construção de Guitarras

Desde sempre que a madeira é o material tradicionalmente mais utilizado na construção de guitarras devido às suas propriedades acústicas e boa relação peso/resistência [12].

Atualmente, compósitos reforçados com fibra de carbono, que apresentam certas características semelhantes às da madeira, começam a posicionar como materiais alternativos e adequados à construção de instrumentos musicais. Ambos são materiais fibrosos e anisotrópicos, isto é, que apresentam variação das suas propriedades mecânicas com a direção [12].

Em termos acústicos, existem vários estudos que comprovam que os compósitos reforçados com fibras de carbono apresentam características acústicas superiores às da madeira [27].

As propriedades acústicas dos materiais dependem de algumas propriedades específicas de cada um, como seja, o seu coeficiente acústico que dado pela seguinte expressão [27]:

$$K = \left(\frac{E}{\rho^3}\right)^{0,5} \quad (1)$$

onde:

K - Coeficiente acústico do corpo em vibração.

E - Módulo de elasticidade longitudinal.

ρ – Massa volúmica

Apesar da massa volúmica da madeira ser teoricamente mais baixa que constitui uma vantagem, a característica anterior é contrabalançada pelo módulo de elasticidade longitudinal muito superior nos compósitos reforçados com fibras de carbono [27].

Outras características importantes de cada material são o fator de qualidade sonora, Q, e a eficiência de conversão acústica, ACE, que são dados pelas expressões seguintes [27]:

$$Q = \frac{1}{\tan\delta} \quad (2)$$

$$ACE = \frac{K}{\tan\delta} \quad (3)$$

Onde:

Q - Fator de qualidade sonora

ACE - Eficiência de conversão acústica

K - Coeficiente acústico do corpo em vibração.

$\tan\delta$ – Fator de amortecimento

As duas equações anteriores mostram que tanto a qualidade sonora como a eficiência de conversão acústica são inversamente proporcionais ao fator de amortecimento [27]. O amortecimento, que pode ser determinado experimentalmente, é uma medida da capacidade que cada material tem de reduzir da energia de vibração com o tempo após sofrer um impulso inicial, devido essencialmente a fenômenos de atrito interno [27].

Alguns estudos têm vindo a verificar que os compósitos reforçados com fibras de carbono apresentam fatores de amortecimento muito inferiores ao da madeira, o que faz que eles vibrem durante mais tempo e tenham o fator de qualidade sonora e a eficiência de conversão acústica superior às das madeiras tradicionalmente usadas na construção de instrumentos. Estas são as principais razões que têm vindo a sustentar a cada vez maior utilização dos compósitos reforçados com fibras de carbono na construção de instrumentos musicais em substituição da madeira.

Tratando-se de um produto natural, a madeira apresenta, por outro lado, um comportamento mecânico em serviço muito mais imprevisível e inconstante. Para além desta desvantagem, existem ainda outros fatores que jogam em desfavor da utilização da madeira em instrumentos musicais por serem prejudiciais para o seu desempenho, como por exemplo:

- A grande sensibilidade à temperatura e à humidade da madeira, o que faz com que variações destas condições provoquem deformações no instrumento e, conseqüentemente, a sua desafinação, o aparecimento de fendas e a degradação das suas capacidades acústicas. Variações rápidas de temperatura provocam dilatações e contrações indesejáveis do material que potenciam a acumulação de tensões locais que levam à formação de fendas [29] [28] [12]. Quando exposta a ambientes com humidade relativa superior a 60% a madeira aumenta o fator do amortecimento, o que deteriora a qualidade acústica do instrumento. Ambientes com humidade demasiado baixa (abaixo de 35%) podem, por outro lado, induzir concentrações de tensões semelhantes às que ocorrem com a variação de temperatura, potenciando aparecimento de fendas e folgas nas ligações entre componentes internos dos instrumentos [29] [28] [12.] A localização geográfica pode, portanto, potenciar este efeito, uma vez que um instrumento produzido num país, com um determinado clima, poderá ter um comportamento bastante diferente do esperado num outro ponto do globo.

- As tensões nas cordas podem facilmente transformar-se em deformações no instrumento devido ao relativamente baixo módulo de elasticidade da madeira que, ao longo do tempo, se podem transformar em deformações permanentes, dando origem a empenos [29] [28] [12].
- Os instrumentos em madeira estão também fortemente sujeitos a desgaste resultante da sua utilização, o que chega mesmo a gerar a sua inutilização [29] [28] [12].
- O peso é, também, uma desvantagem para a utilização da madeira em instrumentos musicais. Tendo em conta as suas relativamente baixas e, sobretudo, inconstantes propriedades mecânicas a construção dos instrumentos envolve a utilização de blocos maciços de madeira de volume considerável, para que a madeira consiga suportar adequadamente a tensão das cordas o que aumenta o peso do equipamento [29] [28] [12].

Em contraste, o uso de compósitos reforçados com fibras de carbono pode refletir-se em claras vantagens para o utilizador, nomeadamente:

- Os produtos fabricados em resina epóxida reforçada com fibras de carbono são praticamente insensíveis às condições de temperatura e humidade. Apresentam, por isso, uma excelente estabilidade dimensional, o que contribui para uma afinação mais precisa e constante do instrumento ao longo do tempo.
- Têm, à partida, também maior capacidade em reterem vibrações que a madeira por apresentarem menor fator de amortecimento e coeficiente de absorção de água, o que faz com que mantenham as suas propriedades mais constantes ao longo do tempo e permite também tornar mais imutáveis e sem deterioração as capacidades acústicas do instrumento a longo prazo [5].
- Redução significativa dos problemas de desgaste, empenos e peso são por apresentarem maior resistência e rigidez que a madeira, o que possibilita a construção de guitarras mais leves e resistentes.
- A maior reprodutibilidade e controlo dos componentes contruídos em compósitos também trará certamente uma maior qualidade e fiabilidade aos instrumentos [29] [28].
- Os instrumentos contruídos em material compósito dispensarão certamente a utilização dum *luthier* (especialista construtor de instrumentos) como acontece com os fabricados em madeira, que por requerem uma construção na maioria dos casos

artesanal e demorada acabam por ter custos e tempos de produção consideravelmente elevados, sobretudo se a guitarra ou outro instrumento em madeira for considerado de qualidade [29] [28] [12]. Deste ponto de vista, a substituição da madeira pelos materiais compósitos permitirá a utilização de processos de fabrico mais rápidos, mais rentáveis e com mais possibilidade de se desenvolverem.

Aliando os aspetos acima referidos ao atual aumento da dificuldade de acesso a madeiras de qualidade e consequente aumento dos seus preços, pode-se perceber melhor as razões que levam os compósitos reforçados com fibras de carbono a constituir-se como real alternativa ao uso da madeira em instrumentos musicais, tanto em termos de desempenho, mas também como de resposta ambiental e económica. O maior obstáculo à sua utilização continua a ser o preço mais elevado dos instrumentos de material compósito, que faz com que eles ainda sejam apenas procurados pelos clientes mais puristas, com sejam, os músicos profissionais e colecionadores. No entanto, a cada vez maior e continua difusão destes materiais como materiais de excelência e a sua utilização pelas marcas de instrumentos mais prestigiadas certamente contribuirão, futuramente, para a sua maior divulgação pelos mercados e clientes mais comuns [27].

3. CONCEÇÃO E PROJETO

Neste trabalho, pretendia-se inicialmente substituir o *truss rod* metálico das guitarras da empresa *Sabrafen* por um componente fabricado em compósito reforçado com fibras de carbono. No entanto, a empresa acabou por optar por substituir o reforço interno em madeira de um componente das suas guitarras *archtop* por uma peça em compósito reforçado com fibras de carbono.

A empresa pretendia que esta solução, para além de lhe resolver alguns problemas de escassez e restrições ao acesso a alguns tipos de madeiras, lhe permitisse diminuir o peso dos seus instrumentos e lhe garantisse a manutenção das excelentes qualidades das guitarras, isto é, a sua atual classificação *premium*, bem como, todas as suas restantes características.

3.1 *Truss Rod*

Na proposta inicial de substituição do *truss rod*, a *Sabrafen* apenas pretendia diminuir o peso e anular alguns defeitos presentes nas soluções existentes no mercado.

Como foi referido anteriormente, este componente garante a estabilidade do braço da guitarra que, quando sujeito à tensão causada pelas cordas, assegura que elas mantenham a mesma distância ao longo da escala. No fundo, tem como função reforçar o braço que está sujeito ao momento causado pelos esforços transmitidos às cordas.

As soluções presentes no mercado utilizam componentes metálicos com tensores roscados ajustáveis que podem estar mais ou menos apertados por forma a adaptar a tensão no braço à utilização da guitarra. Como a utilização de componentes metálicos adiciona peso indesejável ao instrumento e a tensão constante a que o *truss rod* fica sujeito pode causar deformações plásticas que originam empenos, qualquer nova solução de substituição implica a utilização de materiais com elevada rigidez e desempenho mecânico. As atuais soluções metálicas apresentam mais alguns problemas na zona roscada, como sejam o desgaste e perda de aperto, que acabam por não permitir ajustar adequadamente o *truss rod* ao local em que o músico pretende colocar o braço para interpretar a música como deseja.

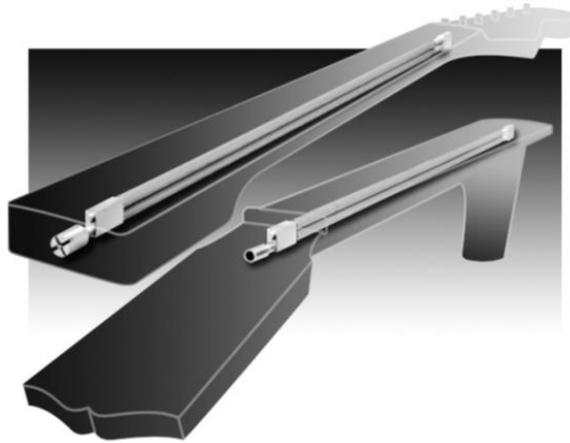


Figura 15 - representação de dois truss rods no interior de braços de guitarra. [8]

3.1.1 Soluções em compósito existentes no mercado

A utilização de compósitos reforçados com fibras de carbono no *truss rod* apresenta vários benefícios relativamente aos componentes metálicos convencionais. A sua superior relação rigidez/peso possibilita, por exemplo, a produção dum braço mais rígido e mais leve. A excelente resistência à fadiga também assegurará ao braço a manutenção da sua rigidez por mais tempo, sobretudo quando o instrumento for mais intensamente sujeito a esforços resultantes de viagens efetuadas pelo seu proprietário. Finalmente, a boa estabilidade dimensional que este tipo de compósito é capaz de assegurar em diferentes condições de humidade e temperatura permite também garantir uma qualidade sonora constante do instrumento mesmo quando tocado em diversas condições [27].

No fundo, utilizar um compósito de fibra de carbono no *truss rods* resulta na obtenção dum braço da guitarra mais leve e rígido e com maior ressonância/propagação de frequências. O aumento de rigidez do braço de guitarra e as reduzidas características de amortecimento do plástico reforçado com fibras de carbono possibilitam uma muito melhor transferência da energia gerada nas cordas, ao longo do braço, para o corpo da guitarra [30].

Existem já dois tipos de soluções em compósito atualmente no mercado: o *truss rod* fixo e o *truss rod* híbrido.

Os *truss rods* fixos utilizam perfis *pultrudidos* em plástico reforçado com fibras de carbono inseridos ao longo do braço da guitarra. Tradicionalmente, como mostra a Figura 16, apresentam um perfil ao longo do eixo do braço ou dois perfis simétricos relativamente a esse eixo em substituição do *truss rod* metálico convencional.

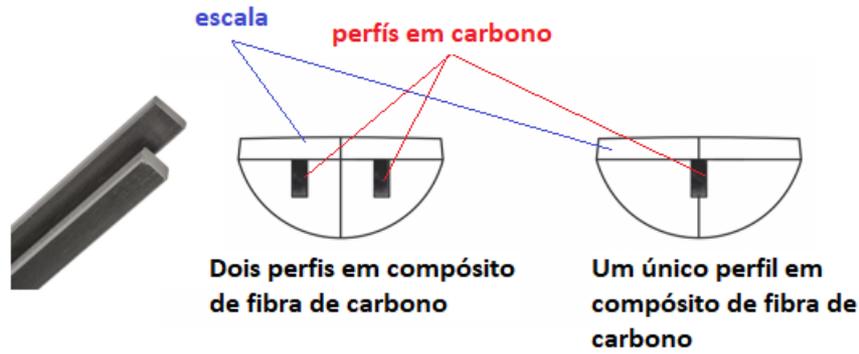


Figura 16 - Corte transversal de dois braços de guitarra mostrando perfis em plástico reforçado com fibras de carbono em substituição dos truss rods tradicionais [31]

Este tipo de solução apresenta como principal vantagem a diminuição do peso do braço e, como desvantagem, a perda da capacidade de ajustabilidade.

O *truss rod* híbrido, como o próprio nome denota, combina o *truss rod* fixo em compósito de fibra de carbono, acima referido, com o *truss rod* metálico convencional. Enquanto o plástico reforçado com fibras de carbono permite melhorar a sua resistência à fadiga a utilização da componente metálica permite-lhe manter a possibilidade de ajuste tradicional.

Na Figura 17 apresenta-se um *truss rod* híbrido atualmente usado nas guitarras da marca *Carvin* [32].

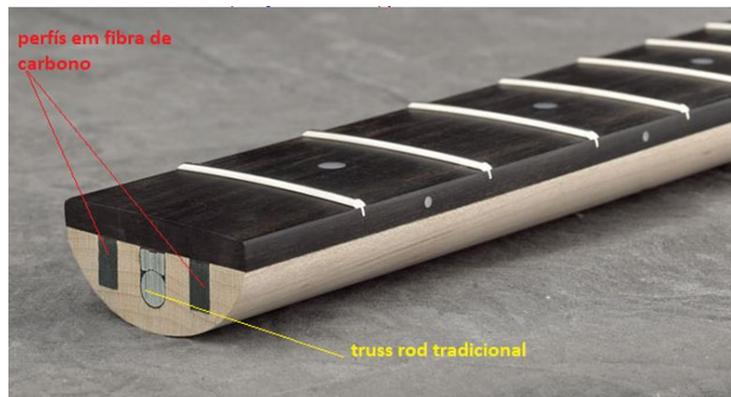


Figura 17 - Corte transversal do braço de guitarra da marca *Carvin* com *truss rod* híbrido [32]

Este último tipo de solução tem como principal desvantagem a manutenção do peso que continua a ser induzido pela manutenção do metal. Além disso, exige mais mão de obra na construção, maior tempo de maquinagem do braço e dificuldades inerentes ao processo de colagem e corte dos perfis em carbono.

3.1.2 Pré-requisitos e condições de partida

Para criação dos novos protótipos de *truss rod* a desenvolver no presente trabalho, começou-se por definir os seguintes requisitos de base:

- utilizar um compósito em resina epóxida reforçada com fibras de carbono na sua construção, por forma a garantir a obtenção de boas propriedades e, consequentemente, o posicionamento das guitarras no mercado como equipamento *premium*, tal como era solicitado pela empresa fabricante;
- conseguir reduzir o peso do equipamento relativamente aos que usassem soluções convencionais em metal;
- reforçar o braço da guitarra, tornando-o mais rígido por forma que ele não se deforme menos quando tracionado pelas tensões geradas nas cordas.

3.1.3 *Brainstorming* e Projeto

Atendendo às limitações do PIEP e às dificuldades em criar as superfícies roscadas existentes nos *truss rods* mecânicos nos laminados em compósito, optou-se por se desenvolver um *truss rod* fixo em perfil tubular de espessura variável e em forma de “D” (ver Figura 18). A espessura deveria ser a mínima capaz de absorver a carga exercida pelas cordas de modo a que se garantisse o menor peso possível.

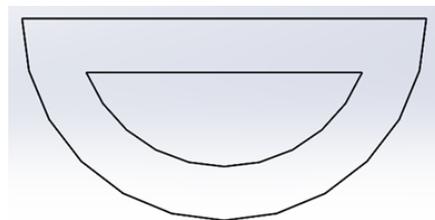


Figura 18 - Representação em corte transversal do *truss rod* fixo desenvolvido, utilizando o programa de CAD *Solidworks*

O projeto permitiria assim diminuir o tempo de maquinagem na guitarra, ao eliminar o processo de mandrilagem necessário para permitir inserir um perfil retangular de fundo, por tornar necessário apenas efetuar um desbaste com uma fresa de topo esférico.

O novo componente em compósito poderia também ser construído usando um laminado em resina epóxida reforçada com fibras de carbono usando núcleos solúveis para formação da parte oca. O núcleo solúvel a utilizar na criação da parte oca do perfil, a retirar mais tarde, serviria de suporte para deposição das fibras a impregnar.

A introdução do núcleo solúvel para além de se constituir, por si só, como um elemento inovador desenvolveria novos predicados no novo componente estrutural. Um deles seria a possibilidade de melhoria do reforço do braço, já atrás discutido, e outro o permitir solucionar os problemas de fragilização habitualmente localizados na transição da zona da escala para a da cabeça nas guitarras atuais. Trata-se de uma zona por onde o instrumento quebra muitas vezes devido a quedas inesperadas ou manuseio incorreto durante o transporte. Na Figura 19 mostra-se a quebra sofrida por uma guitarra nessa zona.



Figura 19 - Quebra do braço duma guitarra *Fender Stratocaster* na zona de transição da escala / cabeça [33].

Tendo em conta os requisitos acima definidos e usando o software *Solidworks*, projetaram-se dois protótipos 3D a seguir descritos para um novo braço a utilizar em guitarras elétricas *Fender Stratocaster*, uma das consideradas *standard* e mais comercializadas a nível mundial:

- i) Protótipo 1 (ver Figura 20 e Figura 21): usando um componente compósito em resina epóxida reforçada com fibras de carbono, constituído por um tubo oco em forma de “D”, capaz de reforçar o braço, que se alongasse até à parte inicial da cabeça de modo a eliminar a zona mais frágil da guitarra. Reforçando apenas a parte inicial da cabeça aumentava-se a polivalência do componente, isto é, poder-se-ia eventualmente vir a usar o mesmo componente em outros modelos de guitarra com cabeças diferentes, simplificava-se a peça e reduzir-se-iam custos ao diminuir a quantidade de matéria prima a usar e operações de maquinação e/ou acabamentoo eventualmente necessárias.

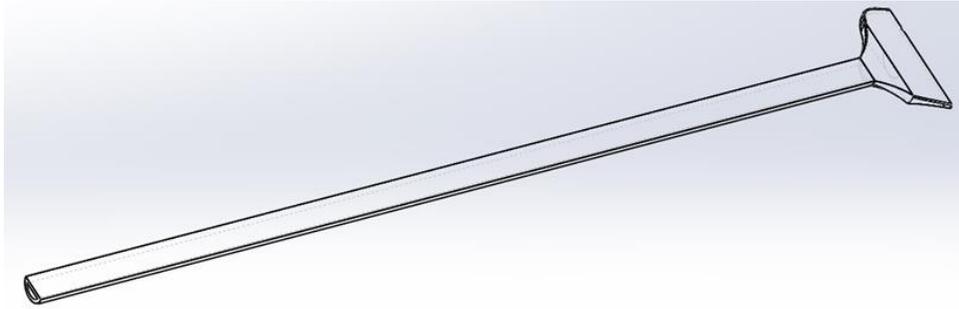


Figura 20 - Desenho 3D do protótipo 1 em *Solidworks*

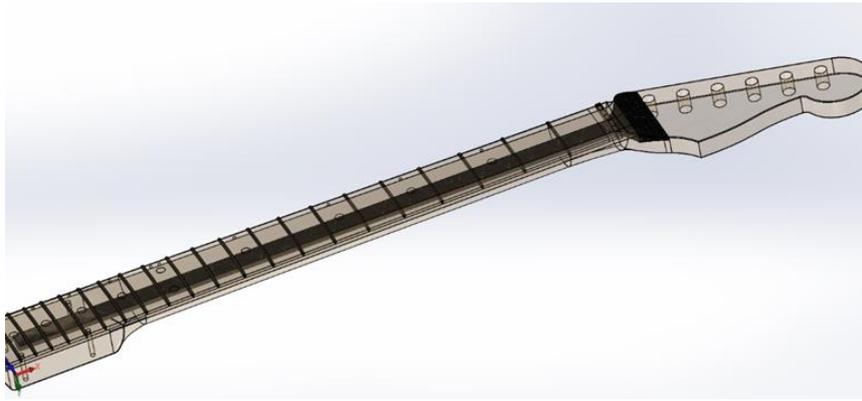


Figura 21 - Protótipo 1 montado no braço de uma guitarra *Fender Stratocaster*.

ii) Protótipo 2 (ver Figura 22 e Figura 23): semelhante ao protótipo 1, mas prolongando o componente tubular em compósito a toda a zona da cabeça da guitarra. Ao estender a peça em compósito por toda a cabeça da guitarra aumentava-se a sua capacidade de reforço do braço, tal como simulações efetuadas posteriormente demonstraram, e também se melhorava a parte estética da guitarra. Atualmente, torna-se bastante mais atrativo e constitui-se mesmo como sinal de luxo, mostrar que a parte frontal da cabeça da guitarra é totalmente construída com fibras de carbono. Em termos de desvantagem relativamente ao protótipo anterior, este componente é maior, mais complexo, será mais caro e apresentará um fabrico mais demorado, para além de deixar de ser compatível com outros modelos de guitarra.

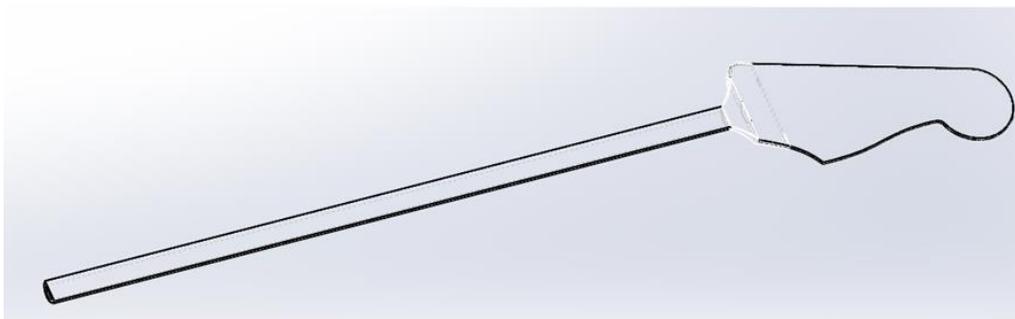


Figura 22 - Desenho 3D do protótipo 2 realizado em *Solidworks*

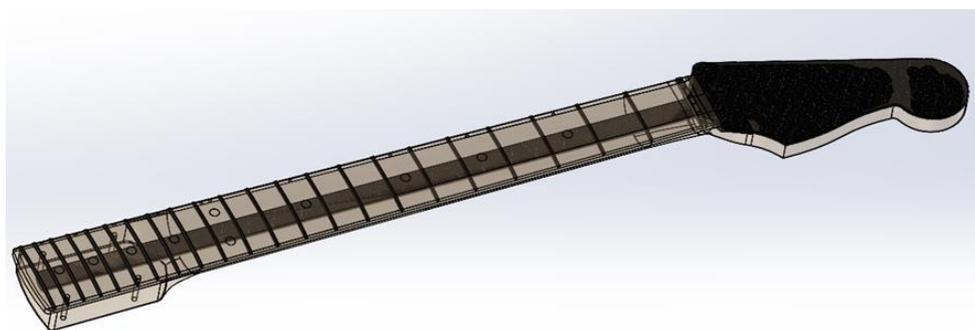


Figura 23 - Protótipo 2 montado no braço duma guitarra *Fender Stratocaster*

3.1.4 Conclusão

Os dois protótipos-modelos de *truss rod* anteriores foram apresentados à *Sabrafen* que acabou por decidir não os implementar nas suas guitarras por ver alguma desvantagem no facto de o guitarrista não poder vir a ajustar o braço do instrumento. Sendo a música uma forma de arte e não uma ciência exata, os guitarristas gostam sempre de poder jogar com a curvatura do braço, adaptando-o às suas preferências, deficiências ou busca de singularidade. De acordo com a empresa, as limitações dos laminados no que diz respeito à implementação de roscas não seria adequado fabricar o componente unicamente em material compósito. Qualquer tentativa de implementação de elementos roscados nos laminados seria também bastante arriscada tendo em conta o aparecimento de problemas futuros durante o fabrico, de desgaste ao longo do tempo e eventuais delaminagens em consequência das constantes situações previsíveis de aperto e desaperto. As únicas soluções que poderiam ser eventualmente aceites, passariam pela utilização dum *truss rod* híbrido ou pela substituição de apenas de um dos perfis metálicos do *truss rod* convencional,

mantendo um componente metálico ajustável, mas ambas as soluções não garantiriam um ganho significativo de redução de peso.

Conjuntamente com a empresa decidiu-se, então, que seria preferível optar por substituir um outro componente interno nas suas guitarras, onde se obteriam ganhos mais significativos em termos de redução de peso e de estabilidade relativamente à solução atualmente usada.

Acreditamos, todavia, que os dois protótipos acima apresentados poderão vir a ter viabilidade e espaço no atual mercado das guitarras se convenientemente desenvolvidos e dimensionados.

3.2 Componente de Reforço Interno de uma Guitarra do Tipo *Archtop*

A *Sabrafen* sugeriu então que este trabalho se dedicasse à substituição dum componente de reforço interno para o seu modelo de guitarra *Maruxa*.

De acordo com a *Sabrafen* a sua guitarra *Maruxa* tinha sido projetada como uma guitarra oca com comportamento semelhante ao de uma guitarra semiacústica tipo *archtop*. Trata-se de um modelo tipicamente destinado ao jazz, como preço base de 3017€ ou superior se personalizada, com suficiente versatilidade para poder ser usado noutras vertentes musicais, nomeadamente, *blues* e *rock*. A Figura 24 e a Figura 25 apresentam, respetivamente, o modelo básico da guitarra *Maruxa* e o elemento interno de reforço da caixa que a *Sabrafen* pretende substituir neste trabalho [7].



Figura 24 - Modelo base da guitarra *Maruxa* da *Sabrafen* [7].



Figura 25 - Reforço interno da guitarra *Maruxa* (área marcada a vermelho) que se pretende substituir.

Apesar da imagem da Figura 25 dar a ideia de que serão utilizados dois tipos de madeira no fabrico do componente interior de reforço, a *Sabrafen* garantiu que apenas se usa na sua construção um abeto com grão vertical com as fibras orientadas verticalmente, uma madeira espanhola com as características apresentadas no Anexo I. Trata-se duma madeira sensível, com tendência a empenar e que tem uma densidade de 450 kg/m^3 . No que diz respeito às suas propriedades mecânicas, embora elas variem bastante por se tratar dum produto natural, após pesquisa extensiva foi possível verificar, por exemplo, que o seu módulo de elasticidade poderia variar desde os 7 GPa até aos 12 GPa [34].

A peça a desenvolver insere-se no grupo das vigas de reforço interno previamente apresentado na secção 2.2.3 (Cap. 2) do presente trabalho, relativo aos componentes internos da guitarra. Como nessa altura se referiu, trata-se de um elemento para reforço do corpo da guitarra para garantir que o tampo suporte adequadamente a tensão exercida pelas cordas, sem riscos de perda da sua integridade estrutural. Este componente garante ainda uma maior ligação entre as diferentes partes do instrumento e, conseqüentemente, uma melhor transferência de vibrações.

Atendendo às características da madeira em que é atualmente fabricado a peça, parece fazer todo o sentido usar em sua substituição um elemento em epóxido reforçado com fibras de carbono pelas seguintes razões:

- a menor relação peso/rigidez do compósito de fibra de carbono poderá tornar o componente mais leve;
- a excelente resistência à fadiga compósito assegurará ao componente a manutenção da sua rigidez e garantirá a não existência de deformações permanentes no tampo por mais tempo, mesmo se o instrumento for sujeito a diversas tensões que a utilização de diferentes tipos de cordas possam causar ou a viagens mais intensas do seu proprietário;
- a maior estabilidade dimensional em diferentes condições de humidade e temperatura e o menor amortecimento do compósito garantirá ainda a manutenção duma qualidade sonora mais constante do instrumento, mesmo se tocado em diferentes condições climatéricas;
- todos os benefícios que derivam da possibilidade de substituição dum componente formado por várias peças em madeira por uma peça única, dado o fabrico duma peça em compósito passar a garantir não só a sua maior multifuncionalidade mas também a obtenção formas mais complexas, como sejam: redução de mão de obra e número de acoplamentos necessário, permitindo assim que o instrumento propague melhor as vibrações;
- a maior reprodutibilidade de propriedades garantidas tanto pelo compósito como pelo seu processo de fabrico face à utilização de um material natural (madeira) mais imprevisível, o que poderá contribuir para a melhoria da fiabilidade, comportamento constante e qualidade final da guitarra [28], [29], [34].

3.2.1 Pré-requisitos e condições de partida

O projeto e desenvolvimento da peça de reforço em compósito pretendida tiveram em conta as seguintes condições iniciais:

- utilização dum laminado em resina epóxida reforçada com fibras de carbono na sua construção por forma a beneficiar das excelentes propriedades deste material e a manter o posicionamento *premium* da guitarra *Maruxa* da *Sabrafen* no mercado;
- Garantir que a peça pudesse ser montada na caixa da guitarra *Maruxa* da *Sabrafen*, nomeadamente em termos dimensionais:
- garantir uma redução efetiva de peso comparativamente à solução em madeira;
- garantir que a nova peça apresente uma rigidez equivalente à do atual componente em madeira de modo a assegurar o reforço necessário do tampo;
- fabricar numa só peça o novo componente em compósito para que ele possa substituir o atual elemento em madeira que é constituído por 3 peças diferentes.

3.2.2 *Brainstorming* e Projeto

A nova peça em compósito começou a ser desenvolvida apenas a partir duma fotografia fornecida pela *Sabrafen*, já apresentada na Figura 25, e do desenho no *SolidWorks* mostrado na Figura 26 onde se encontram definidas as dimensões dos componentes da guitarra (tampo, fundo e braço) que são utilizadas para cortar a madeira para construção da solução atual. A partir deste último ficheiro *Solidworks* fornecido, foram então criados desenhos 3D de cada componente da guitarra, bem como o ficheiro com o desenho final de montagem mostrado na Figura 27.

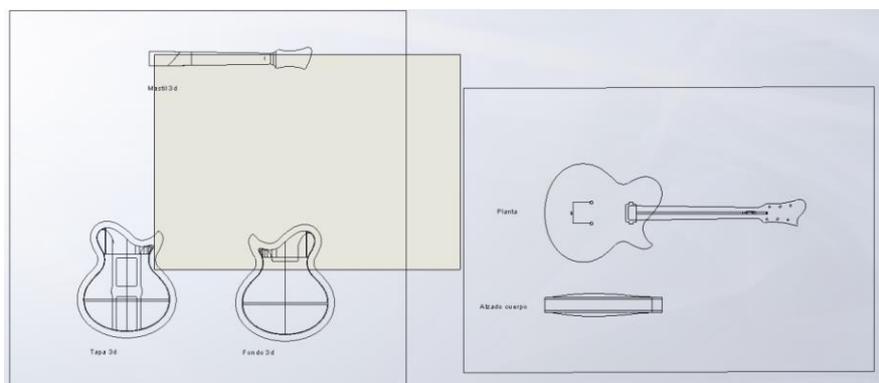


Figura 26 – Desenho *SolidWorks* para corte da madeira fornecido pela *Sabrafen*.



Figura 27 – Desenho representativo da montagem final realizado no software *Solidworks*.

A grande flexibilidade de processamento do laminado permite o fabrico duma nova peça apresentando espessura e volume bastante inferiores aos da solução atual em madeira. Tendo em conta esta nova capacidade, procurou-se também explorar a hipótese de conseguir uma superior amplificação sonora do som com inspiração nalguns amplificadores acústicos simples já existentes, como é, por exemplo, o caso (ver Figura 28) em que as ondas sonoras são transmitidas a partir dum telemóvel para dentro de uma estrutura tubular para que sejam refletidas de modo a aumentar o volume. Com base nessa ideia, tentou-se que o novo componente em compósito tivesse uma forma capaz de gerar efeito semelhante através da implementação duma estrutura em forma de casca ou tubular.



Figura 28 - À esquerda apresenta-se um amplificador acústico de coluna de telemóvel, utilizando um rolo de papel higiénico e dois copos de papel, e à direita um amplificador do mesmo tipo usando uma estrutura em madeira de forma tubular [35][36].

Seguindo estas ideias e com inspiração na guitarra “*The LOG*” construída por *Les Paul*, atrás referida e apresentada na Figura 1 (Cap. 2), começou por se desenhar o protótipo 3D apresentado na Figura 29 no software *Solidworks*, que se designou por

body complete. Um desenho técnico mais detalhado deste protótipo pode ser consultado no Anexo II.

Este protótipo apresenta uma abordagem completamente diferente da solução atualmente utilizada pelo construtor. Tem forma tubular e uma espessura bastante mais reduzida que seria calculada para suportar a carga exercida pelas cordas na ponte do instrumento, dado este último ficar colado diretamente debaixo dela.

Esta nova peça em compósito seria moldada utilizando núcleos solúveis e a sua geometria poderia ser mais próxima da real final ou ter dimensões maiores para que pudesse ser posteriormente cortada na periferia de forma a se adaptar às formas mais complexas da guitarra. À imagem da “*the LOG*” de *Les Paul*, o novo componente ocuparia toda a profundidade do instrumento e seria colada ao tampo dum dos lados e, do outro ao fundo da guitarra de modo a diminuir o *feedback*.

Concluindo, pretendia-se que este protótipo conjugasse simultaneamente na guitarra o melhor reforço do seu tampo, a redução de peso, uma melhor ligação entre componentes, maior capacidade de amplificação acústica e a diminuição do *feedback*.

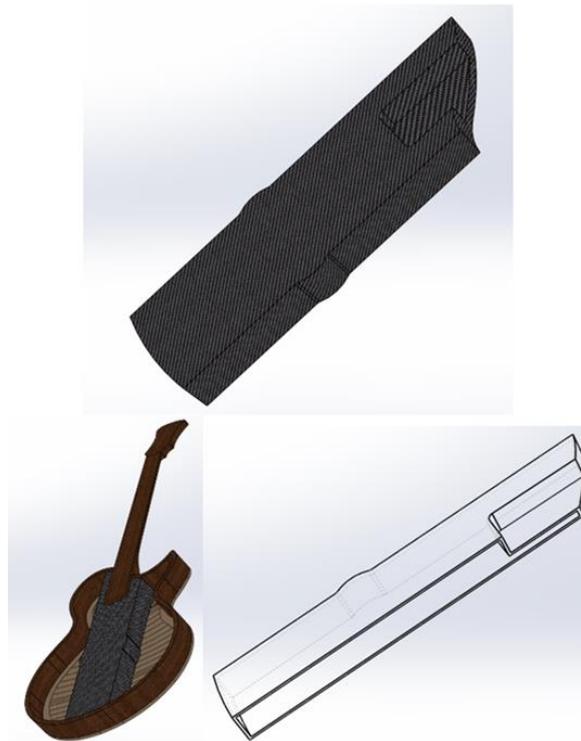


Figura 29 - Protótipo da peça de reforço *body complete*. Em cima, o componente em si, em baixo e à direita o componente em corte e, à esquerda, o componente montado numa guitarra sem tampo.

Quando se apresentou este protótipo à *Sabrafen*, a empresa mostrou-se algo reticente em avançar com uma solução com *design* tão inovador e diferente da solução atualmente usada com receio que uma alteração tão acentuada acabasse por

modificar completamente o som da guitarra, preferindo que tivesse inicialmente uma abordagem mais conservadora que utilizasse uma forma mais próxima da do componente atual em madeira. Por outro lado, também mostrou preferência de que o novo componente em material compósito a desenvolver ficasse apenas colado ao tampo, e não ao fundo da guitarra, como acontece presentemente.

Atendendo às exigências da empresa, avançou-se então com uma abordagem mais conservadora e também com base na a fotografia fornecida (Figura 25) e no ficheiro usado para corte da madeira (nunca se obteve acesso às dimensões efetivas do componente a substituir), desenvolveu-se um novo protótipo para reforço do tampo, designado por *Component guitar*, que se mostra na Figura 30 e para o qual também se apresenta um desenho técnico no Anexo III.

Como se pode ver, este protótipo apresenta uma forma muito semelhante ao da solução atual em madeira sendo, no entanto, construído numa peça única em vez de constituído por três componentes e que em vez de ser sólido (como a solução atual de madeira) é oco, por se ter optado por realizar uma estrutura e forma de casca com espessura a ser mecanicamente dimensionada para resistir ao esforço exercido pelas cordas na ponte do instrumento. A utilização de uma peça única, tal como foi já anteriormente referido, permite assegurar uma melhor ligação entre os diferentes componentes da guitarra e, conseqüentemente, para além de a tornar mais sólida melhora significativamente a capacidade de transferir as vibrações ao longo do próprio instrumento.

Tal como os protótipos anteriores, projetou-se o *Component guitar* de modo a ser fabricado num laminado de resina epóxida reforçada com fibras de carbono produzido por infusão a vácuo. O molde a usar terá apenas uma só cavidade já que apenas pretendemos maior precisão e qualidade do lado da peça que vai ser efetivamente ligado ao instrumento. Conforme o componente original, a nova peça terá as suas extremidades encastradas no corpo da guitarra e não estará em contacto com o fundo da caixa, tal como mostra a vista lateral da guitarra na Figura 30.

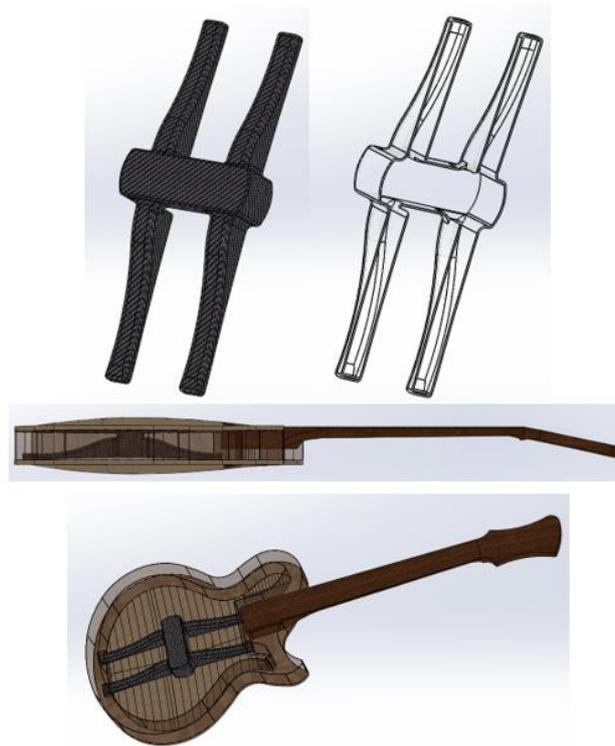


Figura 30 - Protótipo para reforço do tampo, *Component guitar*. Em cima, o componente em si, visto de frente à esquerda e de trás à direita. No centro, montado com vista lateral da guitarra sem o aro e, em baixo, com a guitarra vista de cima sem o tampo.

O componente apresentará ainda um raio na sua parte inferior para que a sua parte central fique a uma distância de 5mm do fundo da guitarra. Posteriormente, a parte inferior da peça pode ser desgastada com uma lixa por forma a aumentar essa distância e a permitir a sua personalização, dando ao *luthier* a oportunidade de encontrar a distância ideal e de aumentar a flexibilidade do componente.

O *Component guitar* foi assim definido como o protótipo final a desenvolver neste trabalho. Ele assegurava todos requisitos exigidos pela empresa de que a peça tivesse um *design* muito semelhante à solução original e que não comprometesse o som da guitarra atual, mas que no entanto, também incorporava significativas melhorias ao nível da qualidade do reforço, diminuição de peso e da ligação entre componentes o que significaria uma maior eficácia de transferência de vibrações.

3.2.3 Dimensionamento mecânico

Definida a forma final do componente procedeu-se ao seu dimensionamento mecânico.

Tendo a peça as dimensões perfeitamente definidas para que possa ser montado na guitarra, a espessura do laminado será a única dimensão que interessa dimensionar para que ele suporte os esforços aplicados e garanta que a sua deformação não ultrapasse o valor máximo admissível. Para assegurar esta última condição, a nova peça em compósito terá de apresentar, pelo menos, a mesma rigidez que o atual componente de madeira. Para garantir à empresa que a nova solução teria a mesma rigidez que a solução que ela agora utiliza nas suas guitarras *Maruxa* começou-se, como base no dimensionamento, por igualar a rigidez à flexão do novo componente oco em material compósito à do componente sólido de madeira atualmente usado. Sabendo que a deflexão causada por esforços de flexão numa viga é inversamente proporcional ao produto do módulo de elasticidade, E , do material que a constitui pelo momento de inércia da sua seção transversal, que normalmente se designa por rigidez à flexão, começou por se igualar estes dois produtos para o caso da peça atual em madeira e a que se pretende desenvolver em compósito conforme é mostrado na Equação 4 [37][38][34]:

$$E_{\text{madeira}} \times I_{\text{madeira}} = E_{\text{compósito}} \times I_{\text{compósito}} \quad (4)$$

onde:

E_{madeira} e $E_{\text{compósito}}$ são, respetivamente, os módulos de elasticidade da madeira e do compósito e,

I_{madeira} e $I_{\text{compósito}}$ são os momentos de inércia da seção transversal da peça em madeira e em compósito, respetivamente.

Tendo em conta valores típicos determinados pelo PIEP em laminados idênticos ao que se pretendia desenvolver e processados por infusão (ver Anexo IV), foi atribuído um valor de 55 GPa para o módulo de elasticidade do material compósito. Para o efeito, considerou-se a utilização de um laminado reforçado com tecidos, da estrutura *plain weave*, *PW*, contendo fibras de carbono orientadas $0^{\circ}/90^{\circ}$, longitudinalmente, no fabrico do novo componente em compósito, por forma a garantir que a peça pudesse suportar melhor os esforços causados em múltiplas direções pelas vibrações das cordas.

Sendo a madeira um material natural, neste caso o abeto, apresentando grande variação de propriedades mecânicas, como foi já atrás referido, admitiu-se para o abeto o valor mais alto de módulo de elasticidade encontrado na bibliografia, isto é 12 GPa, de maneira a garantir que o novo componente em compósito possui, de facto, maior rigidez à flexão que a peça em madeira atualmente utilizada nas guitarras [34].

Seguidamente determinou-se o momento de inércia da secção transversal da peça numa zona em torno do seu eixo central (Figura 31), considerando o facto de a peça em compósito ser oca e ter uma espessura “t” e o componente em madeira ser maciço. A secção transversal considerada apresenta como dimensões: 30mm de altura por 20mm de largura.

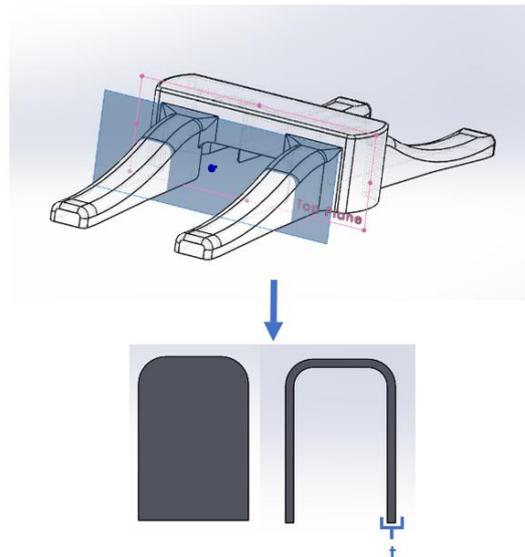


Figura 31 -Em cima, apresenta-se a zona do componente onde foi considerada a secção transversal usada para cálculo dos momentos de Inércia. Em baixo e à esquerda, a secção transversal da madeira maciça e, à direita a do compósito oco com espessura, t .

De forma a calcular analiticamente o momento de inércia correspondente ao componente maciço, em madeira, foi feita uma aproximação a um retângulo, Figura 32. O momento de inércia, para esse caso, corresponde ao valor de 45000 mm^4 , apresentado na Tabela 1 com recurso à Equação 5.

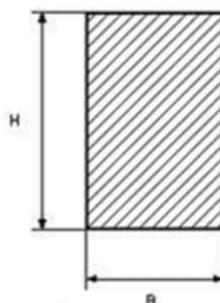


Figura 32 – Aproximação a um retângulo para cálculo do momento de inércia para a secção maciça do componente em madeira [38].

$$I = \frac{BH^3}{12} \quad (5)$$

Tabela 1: Cálculo do momento de inércia para a seção maciça do componente em madeira

B	20	mm
H	30	mm
$I_{madeira}$	45000	mm ⁴

Substituindo o valor do momento de inércia acima determinado na Equação 5 e resolvendo-a em relação ao momento de inércia do compósito, Equação 6, pôde determinar-se que ele devia possuir valor mínimo de 9818 mm⁴, como é mostrado na Tabela 2. Seguidamente, a partir deste valor, efetuou-se o cálculo da espessura mínima, t, que a seção transversal da peça em compósito deveria ter.

$$\frac{E_{madeira} \times I_{madeira}}{E_{compósito}} = I_{compósito} \quad (6)$$

Tabela 2: Determinação do momento de inércia mínimo a considerar para o componente em compósito

$I_{madeira}$	$E_{madeira}$	$E_{compósito}$	$I_{compósito\ estimado}$
45000 mm ⁴	12000 MPa	55000 MPa	9818 mm ⁴

Para se conseguir efetuar esse cálculo, começou por se considerar o momento de inércia do perfil em forma de “U” do componente em compósito conforme mostra a Figura 33.

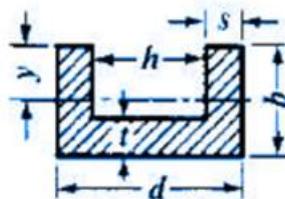


Figura 33 - Geometria utilizada de forma a calcular a espessura do componente em compósito [38].

$$I = \frac{2sb^3 + ht^3}{3} - A(b - y)^2 \quad (7)$$

$$A = bd - h(b - t) \quad (8)$$

$$y = b - \frac{2b^2s + ht^2}{2bd - 2h(b - t)} \quad (9)$$

Determinadas as expressões e momento de inércia, I , apresentadas nas Equações 7, 8 e 9, passou-se ao cálculo da espessura, t . Para isso, considerou-se que $d = 20mm$ e $b = 30mm$ e que $t = s$ e $h = d - 2t$, dada a espessura no componente ser constante e os valores de d e b serem respetivamente, a largura e a altura da secção transversal. Substituindo $t = s$ e $h = d - 2t$ nas Equações 7, 8 e 9, obtém-se:

$$I = \frac{1}{3}(2tb^3 + (d - 2t)t^3) - A(b - y)^2 \quad (10)$$

$$A = 2bt + dt - 2t^2 \quad (11)$$

$$y = -\frac{bd}{2(-2b-d+2t)} + \frac{b}{2} - \frac{t}{2} \quad (12)$$

Substituindo seguidamente as expressões de A e de y das Equações 11 e 12 na Equação 10 do momento de inércia, I , obtém-se:

$$I = \frac{1}{3}(2tb^3 + (d - 2t)t^3) - (2bt + dt - 2t^2) \left(b - \left(-\frac{bd}{2(-2b-d+2t)} + \frac{b}{2} - \frac{t}{2} \right) \right)^2 \quad (13)$$

ou, simplificando:

$$I = \frac{1}{3} \left(2b^3t - \frac{3t(2b^2+t(d-2t))^2}{4(2b+d-2t)} + t^3(d-2t) \right) \quad (14)$$

De seguida, considerando $d = 20mm$ e $b = 30mm$ a Equação 14 pode rescrever-se como:

$$I = - \left(\frac{t(t^4 - 140t^3 + 6700t^2 - 162000t + 1890000)}{6(t-40)} \right) \quad (15)$$

Resolvendo a Equação 15 em ordem à espessura, t , e considerando o momento de inércia anteriormente calculado de $9818 mm^4$ para o momento de inércia da secção transversal da peça em compósito, obteve-se finalmente o valor para a espessura, $t \approx 1,35mm$, para o laminado reforçado com fibras de carbono a fabricar por infusão de resina [39].

Seguidamente, calculou-se o número de camadas de tecido de fibras de carbono orientadas a 0°/90° com que seria necessário fabricar o estratificado para se obter a espessura mínima calculada anteriormente ($t \geq 1,35 \text{ mm}$) no laminado. Para isso, começou por se utilizar a fórmula empírica, normalmente usada no PIEP e seguidamente apresentada na Equação 16, para calcular a espessura final duma lâmina fabricada com o tecido usado neste trabalho:

$$t_{lamina} = \frac{\text{Gramagem da fibra}}{\text{Densidade da Fibra} \times \text{Teor de fibras} \times 0,01} \quad (16)$$

onde,

t_{lamina} espessura da lâmina
 Gramagem da fibra peso por unidade de superfície o tecido usado, no caso 195 g/m²
 Teor de fibras teor volúmico estimado de fibras no compósito final, no caso 50%

Resolvendo a Equação 16, obteve-se para cada lâmina a espessura de 0,22 mm (ver Anexo V).

Envolvendo a infusão a vácuo o empilhamento de várias camadas de tecido para obtenção da peça final em compósito, a sua espessura final terá de ser um múltiplo inteiro da espessura de uma lâmina. A Tabela 3 apresenta as espessuras que se podem prever obter em empilhamentos contendo número inteiro crescente dos tecidos de fibras de carbono a usar.

Tabela 3: Cálculo das espessuras de laminados fabricados

Espessura de uma lâmina (mm)	Número de lâminas	Espessura do laminado (mm)
0,22	1	0,22
	2	0,44
	3	0,66
	4	0,88
	5	1,1
	6	1,32
	7	1,54
	8	1,76

Pretendendo-se obter, no mínimo, uma espessura de 1,35mm, verifica-se que a peça de reforço em compósito deverá ser construída com 7 lâminas de tecido de fibras de carbono orientadas a 0°/90°, a que corresponderá uma espessura final do laminado de 1,54mm.

4. SIMULAÇÃO ESTRUTURAL

Para confirmar que o *Component guitar*, com a geometria e dimensões anteriormente definidas, resistiria adequadamente aos esforços desenvolvidos na guitarra, efetuou-se a simulação do seu comportamento mecânico no *software* de análise de elementos finitos *Abaqus*.

4.1 Condições de carregamento e Malha

Como música é uma forma de arte, e como arte se encontra sujeita à experimentação não se podendo impor limites à criatividade, é impossível prever que *kit* (conjunto) de cordas que o guitarrista colocará na guitarra. Assim sendo, neste estudo considerou-se que estaria montado na guitarra o conjunto comercial mais desfavorável de 6 cordas que se pode atualmente adquirir no mercado.

Recorrendo ao catálogo da *D'Addario*, um dos maiores fabricantes de cordas para instrumentos musicais, foi escolhido o produto *EJ18 Heavy*, um conjunto de 6 cordas revestidas a bronze com respetivamente 0,014 – 0,018 – 0,027 – 0,039 – 0,049 – 0,059 polegadas, correspondente a 0,36 – 0,46 – 0,69 – 0,99 – 1,25 – 1,5 milímetros de diâmetro. Este conjunto de cordas têm uma tensão global de 98.4 kgf, o que corresponde a aproximadamente 965 N [8].

A simulação foi efetuada com o objetivo de se encontrar um valor máximo de tensões obtidas no componente em resposta à carga que é sujeito, com a finalidade de as comparar com os valores conhecidos de tensões de rutura dos laminados em fibra de carbono *plain weave*, PW, 0/90° obtidos no PIEP, referidos no Anexo IV. Foram também utilizados valores característicos deste tipo de laminados, nomeadamente, um coeficiente de *Poisson*, $\nu = 0,04$ e o módulo de Young, $E_1 = 55$ GPa.

Nas simulações foi utilizado um modelo anisotrópico com propriedades constantes. No modelo, considerou-se as cargas das cordas exercidas na ponte da guitarra (Figura 34) na mesma direção da orientação das fibras, eixo dos *yy*, e a peça em compósito totalmente encastrada nas suas extremidades (Figura 35).

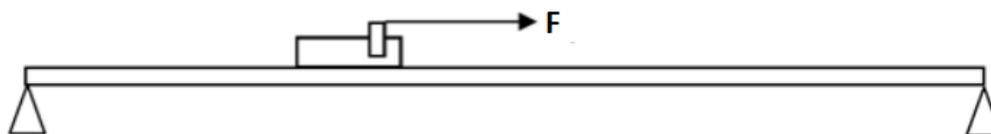


Figura 34– Carga exercida pelas cordas na ponte da guitarra

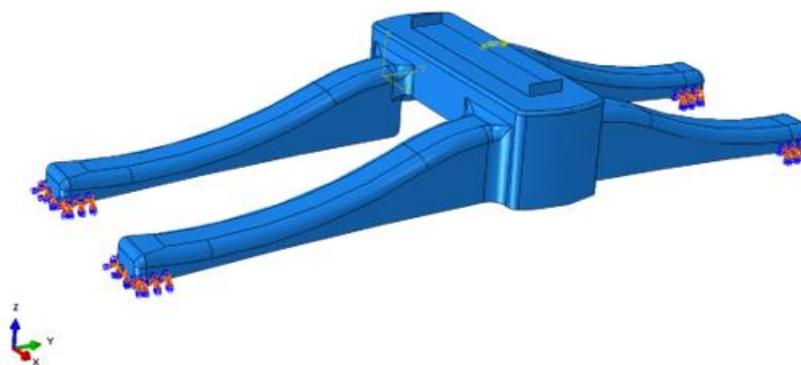


Figura 35 – Encastramento do componente em compósito nas suas 4 extremidades.

Como se podem usar diferentes tipos de pontes com fixações distintas nas guitarras, criou-se um componente auxiliar de simulação para garantir uma distribuição da carga, através da utilização dum “ponto de referência” por toda a superfície de contacto do componente com a parte inferior do tampo da guitarra. Este componente auxiliar também pode ser visto na Figura 35. Seguidamente foi definida a malha mostrada na Figura 36, usando o tipo de elemento definido conforme se apresenta na Figura 37. A malha tem elementos com dimensão global de $0,8mm$ refinados para $0,5mm$ nas partes arredondadas, por forma a que nestas zonas de transição do componente houvesse maior definição, dado que quanto menor for elemento mais elementos terá e maior será definição da malha. No total, a malha definida apresenta 1730851 elementos.



Figura 36 - Malha utilizada na simulação estrutural realizada no *Abaqus*.

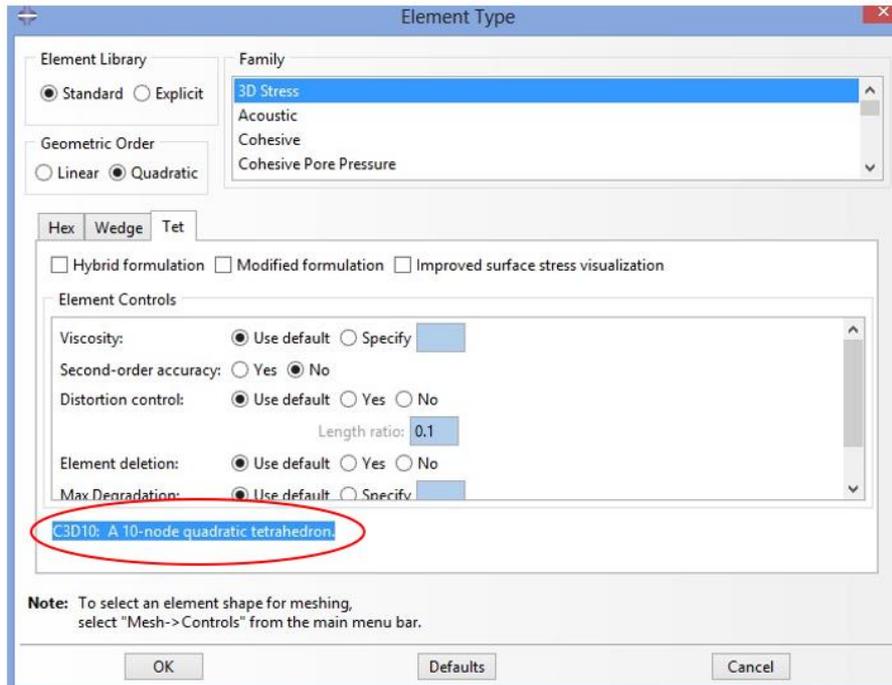


Figura 37 - Representação do tipo de elemento utilizado na simulação.

4.2 Resultados

Após estabelecimento das condições de carregamento e estabelecida a malha, procedeu-se à simulação da peça em compósito obtendo-se os resultados apresentados nas Figuras 38, 39 e 40. Dos resultados apresentados pode concluir-se que:

- a peça sofre uma deslocação máxima de, aproximadamente, $0,097 \text{ mm}$ na direção de aplicação da força na parte superior da sua zona central (Figura 38).

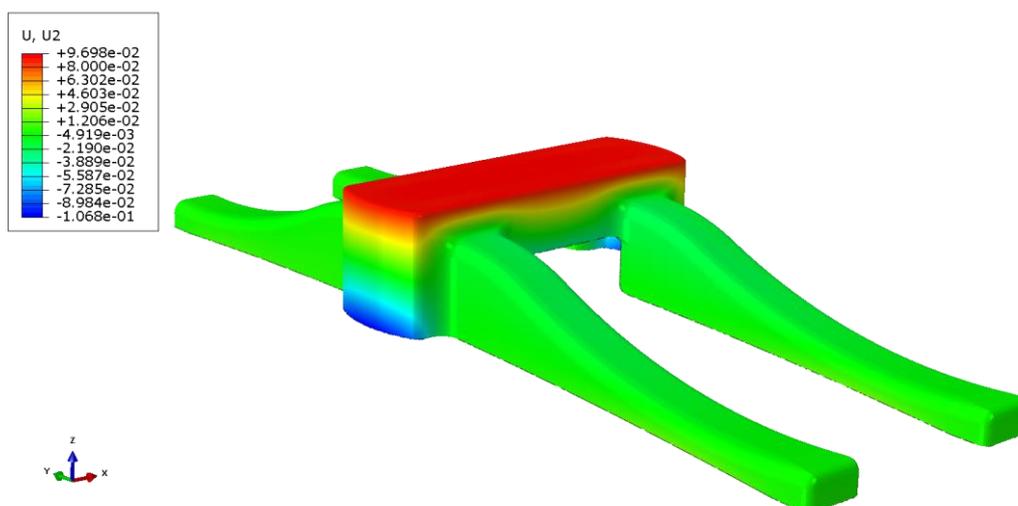


Figura 38 - Deslocamento máximo obtido no componente na direção da força aplicada.

- como se pode ver na Figura 39, o valor máximo do deslocamento nas outras direções foi de $0,2473 \text{ mm}$. Esse deslocamento verificou-se na zona inferior dos braços do componente na zona onde se encontram ligados à sua parte central.

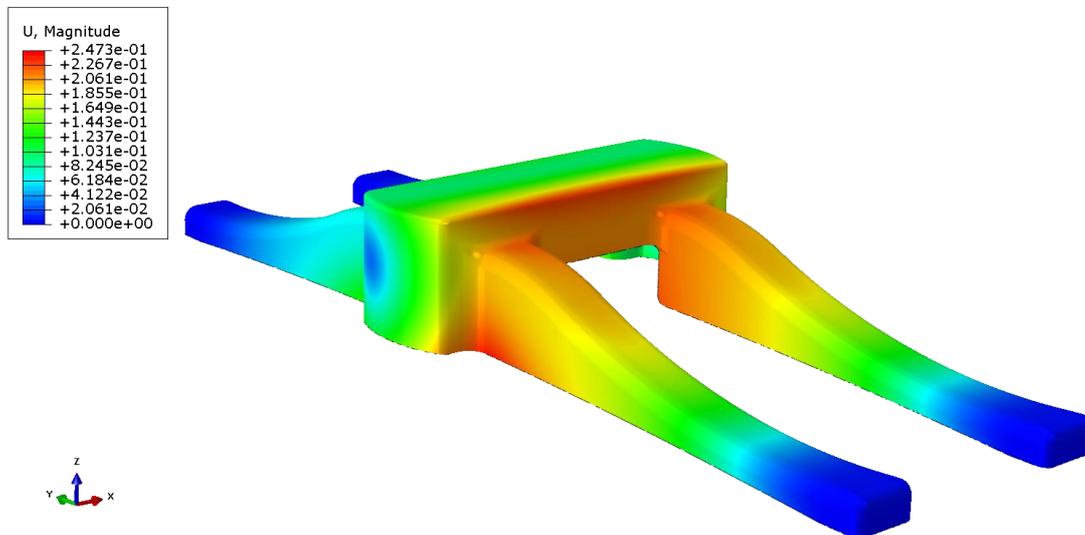


Figura 39 - figura obtida em simulação que representa o deslocamento do componente em todas as direções.

- Relativamente à distribuição de tensões, como mostra a Figura 40, constatou-se que as tensões mais elevadas também se localizam na região superior e inferior das ligações dos braços da peça à sua zona central. O valor mais elevado, de aproximadamente de 130 MPa , verificou-se na zona inferior desses encastramentos dos braços com a parte central da peça.

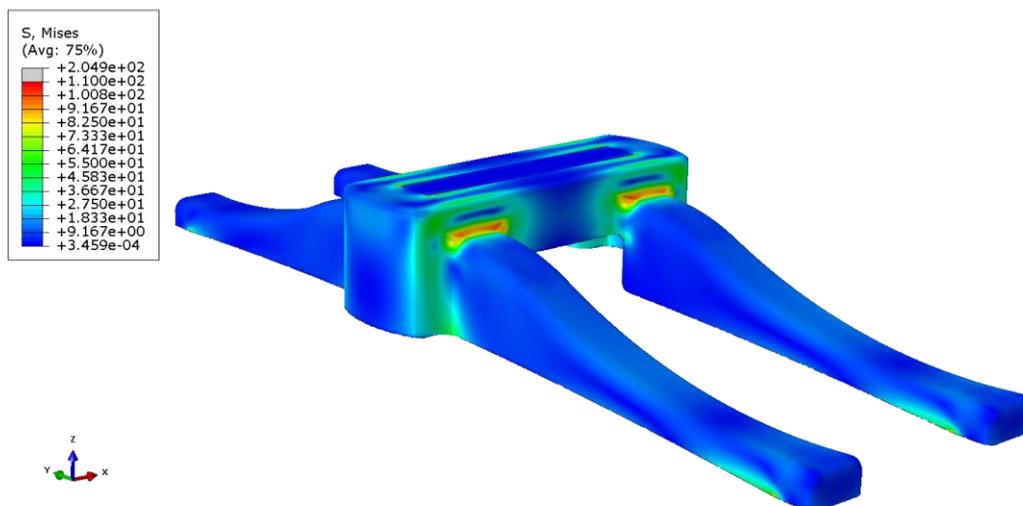


Figura 40 - Distribuição de tensões no componente.

Analisados os resultados das simulações, atendendo que se obtiveram tensões máximas em redor dos 130 MPa e que o laminado é capaz de suportar uma tensão de rotura de 467 MPa (ver Anexo IV), foi possível verificar, visível na Equação 17, que

o componente suportará as cargas previstas com um fator de segurança de cerca de 3,6.

$$F. S. = \frac{\sigma_{rup}}{\sigma_{adm}} = \frac{467}{130} = 3,6 \quad (17)$$

Apesar de elevado, este fator de segurança permitirá assegurar a resistência do componente a condições mais adversas e imprevisíveis que possam surgir, como por exemplo:

- O aumento da tensão das cordas devido a diminuições de temperatura, por exemplo no transporte aéreo.
- Liberdade artística, como afinar as cordas acima do tom ou utilizar conjuntos de cordas personalizados.
- Uso indevido do instrumento, o guitarrista pode pegar na guitarra pelas cordas.

5. DESENVOLVIMENTO E FABRICO DO MOLDE

Efetuada a verificação do comportamento estrutural do novo componente através das simulações computacionais, iniciou-se o projeto e fabrico do molde a usar para produção da peça por infusão a vácuo.

5.1 Estratégia de Moldação

Para fabricar o componente num molde com uma cavidade, utilizou-se um ângulo de desmoldagem de 1° para facilitar a sua extração. Como se pode ver na Figura 41, não foi também considerada a execução da abertura central da peça durante a infusão. Essa abertura será cortada após a moldação da peça.

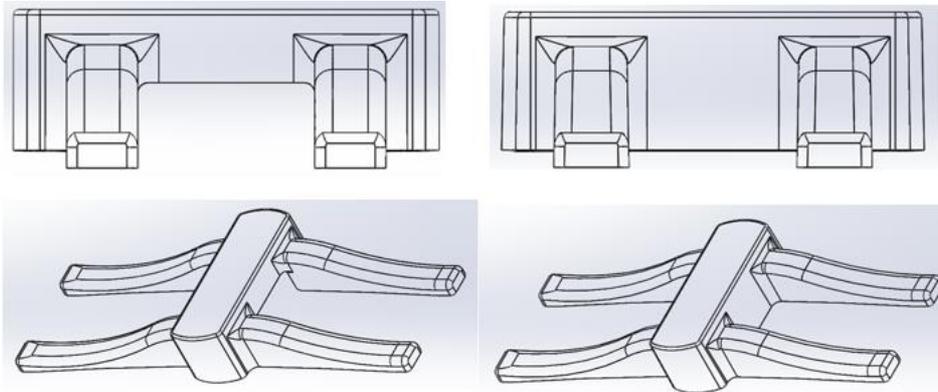


Figura 41 - Peça final a fabricar. À esquerda e à direita, a peça, respetivamente, com sem abertura central.

Considerando a peça a moldar, desenhou-se o molde 3D apresentado na Figura 42.

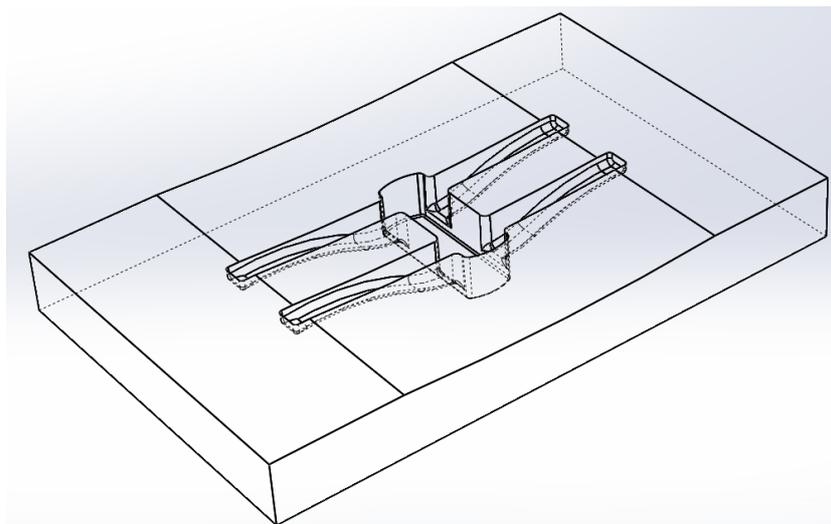


Figura 42 – Desenho do molde em *Solidworks*.

O molde foi projetado de modo a poder ser construído por maquinagem, a efetuar por um robot, de um bloco de poliuretano (PUR) *SikaBlock M700* de dimensões $550 \times 375 \times 75 \text{ mm}$ (Figura 43). As propriedades deste PUR podem ser consultadas na respetiva ficha técnica colocada na Anexo VI.



Figura 43 - Representação do bloco de resina maquinável *SikaBlock M700*

5.2 Maquinagem

A estratégia a usar na maquinagem foi definida com auxílio do software *PowerMill®*, que permitiu não só simular esse processo como comandar o robot durante a operação final. A Figura 44 apresenta a interface do software e um dos programas usados na maquinagem.

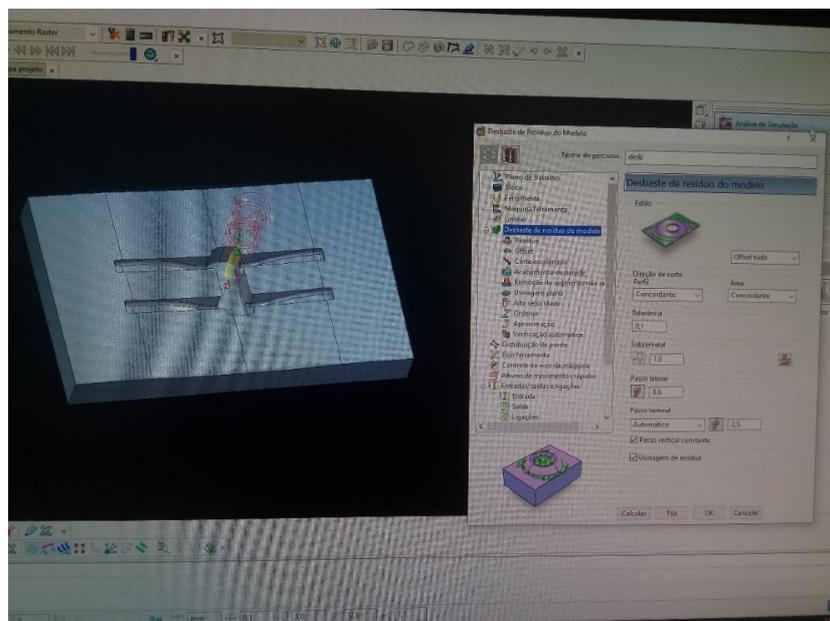


Figura 44 - Interface do Software *PowerMill*

A maquinagem foi efetuada em duas fases. Primeiro, durante aproximadamente 30 minutos, utilizou-se uma fresa de topo raso com 12mm de diâmetro. Depois, numa

segunda fase mais demorada, efetuou-se o acabamento utilizando uma fresa de topo esférico com 12mm de diâmetro durante uma hora.

Não se utilizaram fresas com menores diâmetros no processo, porque se terem verificado problemas no software durante as simulações do processo por o molde ser demasiado profundo e estreito para o comprimento das fresas com menor diâmetro disponíveis no PIEP.

A Figura 45 ilustra fases da maquinação do molde com robot no PIEP e na Figura 46 apresenta-se o molde já maquinado.



Figura 45 - Fotografias ilustrativas do processo de maquinação do molde.



Figura 46 - Fotografia do molde final após o processo de maquinação.

5.3 Acabamento

Após maquinação, o molde foi sujeito a um processo de proteção e acabamento final. Primeiro foi afagado, utilizando inicialmente uma lixa de grão 120 montada numa

lixadora pneumática e, depois, à mão com uma lixa de mão grão 1200 por forma a conseguir vencer a profundidade do molde.

A Figura 47 ilustra a lixadora pneumática usada neste processo ao lado do molde.



Figura 47 - Fotografia da lixadora pneumática utilizado no processo de lixagem ao lado do molde.

Seguidamente, aplicaram-se duas camadas de primário acrílico com períodos de secagem e lixagem entre elas. O primário é composto pelos dois componentes mostrados na Figura 48, o produto *Roberlo multyfiller express ME3* e o endurecedor *Roberlo P6000*, que se misturaram de acordo com as instruções do fabricante descritas nas respetivas fichas técnicas apresentadas no Anexo VII. Para aplicação do primário recorreu-se à estufa de pintura do PIEP, utilizando a pistola de pintura pneumática também visível na Figura 48.



Figura 48 – Recipientes com os constituintes do primário à esquerda e, à direita, ilustração da aplicação do primário na estufa de pintura do PIEP.

Finalmente, pintou-se o molde com tinta acrílica na estufa do PIEP com uma pistola de pintura pneumática. A Figura 49 apresenta o molde final, após pintura e secagem.

Deve-se referir que devido à profundidade de alguns pormenores do molde o processo de pintura apresentou algumas dificuldades dada a tendência da tinta escorrer pelas paredes do molde.



Figura 49 – À esquerda, o molde após pintura e, à direita, depois da secagem da tinta.

6. FABRICO DO COMPONENTE

Foram fabricados dois componentes iguais em duas infusões realizadas em condições idênticas. Após infusão, as peças foram cortadas e acabadas de forma a obterem a forma e acabamento final pretendido.

6.1 Preparação e Procedimento de Infusão

Conforme foi atrás descrito, cortaram-se 7 camadas de tecido *plain weave* de fibras de carbono orientação 0/90°, em relação ao comprimento do componente, e gramagem de 195 g/m². Na Figura 50 apresenta-se a planificação do corte do tecido e do seu posicionamento no molde. As camadas de tecido foram cortadas com a dimensão do molde e de maneira a que o tecido cobrisse toda a profundidade do mesmo.

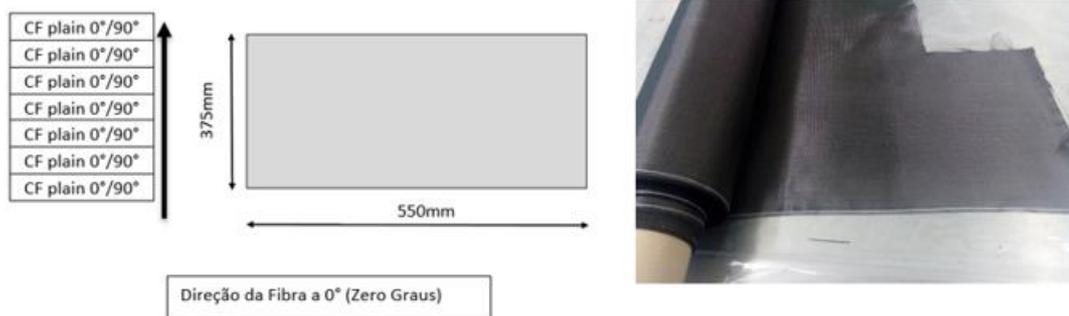


Figura 50 - Planificação do corte do tecido *plain* de fibras de carbono.

A primeira colocação duma camada de tecido no molde demonstrou que este tipo de tecido não tinha a capacidade necessária de deformação (*draping*) para atingir todas as profundidades e geometria complexa do molde sem cortes e sobreposição. Substituiu-se o tecido *plain* por um tecido *twill* de fibras de carbono, também com orientação 0/90°, de maneira a que se conseguisse cobrir todos os contornos do molde. Por ter uma capacidade de deformação superior, o tecido *twill* permitia cobrir toda a superfície do molde e obter o acabamento superficial pretendido.

Começou-se por preparar o molde para a colocação das camadas de fibra, a sua superfície foi limpa com acetona e o seu perímetro delimitado com fita cola de papel. Seguidamente, aplicaram-se cinco camadas de desmoldante *Mikon W-64+*, com ficha técnica disponibilizada no Anexo VIII, com períodos de secagem entre elas de 20min.

Antes de colocar as fibras, removeu-se a fita cola de papel e no seu lugar colocou-se *tacky tape* com a camada protetora superior, de modo a garantir a sua não contaminação por fibras ou outras impurezas que dificultassem a posterior selagem do saco.

A colocação das fibras é um processo moroso e minucioso, onde se teve de aplicar cola em spray *Airtac 2E* (Figura 51) para colar o tecido contra as paredes do molde em cada camada. No Anexo IX pode ser consultada a ficha técnica desta cola.



Figura 51 - Cola em spray *Airtac 2E* utilizada para posicionar as camadas de tecido no molde.

Excluindo a primeira camada de tecido, todas as outras camadas foram posicionadas recorrendo a cortes e sobreposições de maneira que a fibra conseguisse assumir os contornos do molde. A Figura 52 apresenta o molde após colocação da primeira camada tecido e depois de colocadas todas as camadas do laminado.



Figura 52 - Posicionamento dos tecidos de fibras no molde. À esquerda, após deposição da primeira camada de tecido e, à direita, após colocação de todas as camadas.

Após deposição de todas as camadas de tecido de fibra de carbono, efetuou-se o posicionamento do *peelply* e, em seguida, do *flow mesh*, tal como mostra a Figura 53.



Figura 53 – Aspeto do molde após deposição do *peelply*, à esquerda, e do *flow mesh*, à direita.

Seguidamente, efetuou-se o corte do filme para fazer o saco de vácuo (dando uma margem de cerca de 10 mm em relação às dimensões do molde) e colocaram-se os dois tubos de ligação ao copo alimentar da resina e ao “*resin trap*” e (entrada e saída, respetivamente), um *runner* à medida da peça e um pedaço de *flow mesh*. Um dos tubos é introduzido 2 cm dentro do *runner*, e o pedaço de *flow mesh* dentro do outro tubo.

Posteriormente, fixaram-se ao molde os dois tubos (de entrada e saída) com fita-cola de alta temperatura, posicionando-os de acordo com estratégia de injeção definida e com o cuidado de circundar cada tubo com uma camada de *tacky tape* nas zonas de contacto com a zona delimitada do saco de vácuo.

O filme, em seguida, foi pressionado e colado contra a *tacky tape* à medida que se retirou a camada protetora da mesma, tendo sempre o cuidado de, com a ajuda da *tacky tape*, fazer pequenos vincos para delimitação da peça e de maneira a garantir que o saco não se rasgasse e fosse sempre suficiente para a acomodar toda a peça. Concluída a montagem do saco de vácuo, o tubo de saída foi ligado ao *resin trap* e o de entrada fechado com a ajuda de um grampo. A figura 54 mostra o aspeto do molde após conclusão deste processo.

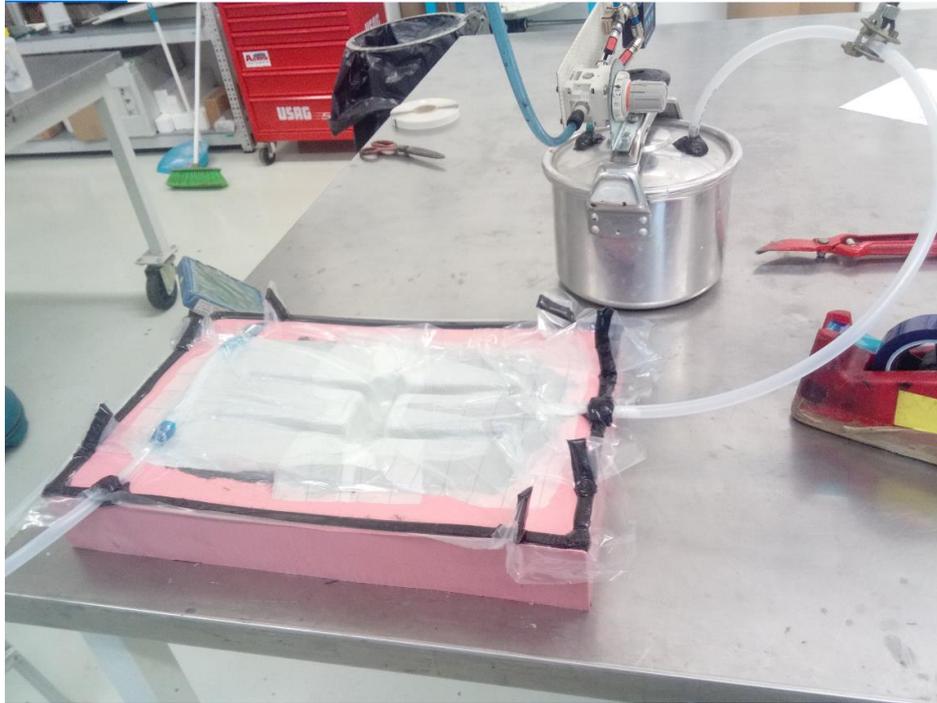


Figura 54 - Molde preparado para a infusão.

Seguidamente, ligou-se a bomba de vácuo de modo a verificar toda a selagem por parte do saco de vácuo e a apertar o filme contra a *tacky tape* nos pontos mais críticos, nomeadamente, vincos e as extremidades. Efetuou-se a verificação da não existência de fugas, ligando o tubo de entrada a um manómetro, de maneira a registar o valor da pressão de vácuo (13 mbar) no interior do saco quando se abrisse o grampo do tudo de entrada. Deu-se como comprovada a boa selagem do saco, se após um período de espera de 10 min não se registasse um aumento de pressão de 2mbar registada no manómetro. No final, voltou a fechar-se o tubo de entrada de resina com a ajuda do grampo.

Na fase seguinte e antes da infusão, efetuou-se a preparação da resina epóxida. As quantidades de resina a preparar foram calculadas com a ajuda duma folha de cálculo pré-existente nos laboratórios do PIEP e apresentada no Anexo V, sendo a resina de epóxida *Biresin CR84* sempre bem misturada com respetivo endurecedor, o *Biresin CH84-20*, num rácio 100:30, conforme descrito na ficha técnica do fornecedor que se apresenta no Anexo X.

Após a mistura dos dois componentes da resina, esta foi submetida a um procedimento de desgaseificação numa câmara de vácuo durante 10 minutos. A Figura 55 apresenta a câmara de vácuo usada neste processo e um copo com resina após desgaseificação.



Figura 55 – Câmara de vácuo e copo de resina após desgaseificação.

Concluído o processo de preparação de resina, procedeu-se, finalmente, à infusão propriamente dita da peça. Ligou-se a bomba de vácuo, introduziu-se o tubo de entrada no interior no copo da resina e após abertura do grampo nele colocado deixou-se a resina percorrer o tubo e impregnar a peça. O processo de infusão, mostrado na Figura 56, durou aproximadamente 7 minutos.



Figura 56 - Fotografias ilustrativas do processo de infusão.

Após um período de espera de, aproximadamente, 24 horas para se garantir uma adequada cura da resina a peça foi desmoldada. A desmoldagem das peças obedeceu a cuidados especiais para que se não lhe causassem nenhum dano e tendo em conta a profundidade de alguns dos seus pormenores. Recorrendo ao auxílio duma cunha de madeira foi possível desmoldar os componentes finais sem lhes

causar quaisquer danos. Uma das peças produzidas por infusão a vácuo pode ser observada, após desmoldagem, na Figura 57.



Figura 57 – Peça desmoldada após infusão a vácuo.

6.2 Cortes e Acabamento

Após desmoldagem, procedeu-se ao corte e acabamento final da peça produzida. Primeiro, cortaram-se a laser a partir de uma folha de papel as marcações correspondentes aos cortes a efetuar no centro de cada componente. Essas marcações foram convertidas do ficheiro 3D do componente para o ficheiro de corte 2D a utilizar na máquina de corte a laser. Este procedimento garantiu que o corte fosse o mais próximo possível do projetado. Após corte, as marcações foram posicionadas e coladas em cada componente (ver Figura 58).



Figura 58 - Corte laser das marcações em papel à esquerda e, à direita, colagem das marcações nas peças.

Seguidamente, os componentes foram aparados com uma rebarbadora de modo a cortar o excesso de material do laminado. Finalmente, procedeu-se ao seu afagamento usando uma lixadora pneumática com uma lixa de grão 120 e, depois,

manualmente e com lixas mais finas (grão superior) até que se atingisse o acabamento final pretendido. A Figura 59 mostra pormenores dos processos de corte e lixagem e a Figura 60 apresenta um componente final totalmente acabado.



Figura 59 - Processos de corte (à esquerda) e de lixagem (à direita).



Figura 60 - Componente final fabricado e acabado (*Component guitar*).

6.3 Conclusões

Depois de observados os componentes finais, foi possível constatar a existência de zonas com excesso de resina acumulada, o que se deveu à dificuldade de compactação das fibras e do seu posicionamento, devido à profundidade do molde. De notar, que as zonas em que foi necessário fazer algumas sobreposições ficaram mais espessas que o resto do componente, como era previsível.

Após fabrico, os dois componentes finais foram pesados numa balança digital obtendo-se valores para a sua massa final de 128g e 130g, traduzindo-se numa diferença de 2g entre si e numa massa média cada componente de 129g.

Como termo de comparação calculou-se a massa teórica do componente em madeira. Sabendo-se que $\rho = \frac{m}{V}$, onde o ρ a mássa volúmica da substância, m a massa e V o seu volume, calculou-se a massa da peça atual em madeira, considerando $\rho = 450 \text{ kg/m}^3$ (ver Anexo I, o que corresponde a uma madeira com 12% de humidade (este valor pode, no entanto, ser mais elevado caso a madeira absorva mais água, como é sua tendência). O volume do componente de madeira foi obtido com a ajuda do software *Solidworks*. Efetuado o cálculo (Tabela 4) obteve-se assim uma massa teórica para o componente em madeira de 167,63g.

Tabela 4: Cálculo da massa teórica do componente em madeira

	$\rho \text{ (kg/m}^3\text{)}$	$V \text{ (m}^3\text{)}$	$m \text{ (kg)}$	$m \text{ (g)}$
Componente em madeira	450	3,73E-04	0,168	168

Comparando assim o valor médio obtido nas pesagens dos componentes fabricados com o valor da massa teórica do componente em madeira, chegamos à conclusão que o componente em material compósito é 38,6 g mais leve, que se traduz na construção de um componente 23% mais leve que o atualmente utilizado.

7. VALIDAÇÃO DO COMPONENTE.

Devido às restrições impostas durante a pandemia de COVID-19 e a dificuldade de deslocamentos além-fronteira, foi impossível testar o componente montado na guitarra *Maruxa da Sabrafen*.

Para efetuar a validação da nova peça em compósito tornou-se então necessário idealizar e construir um sistema de ensaio que permitisse confirmar que ela conseguiria resistir à tensão das cordas a que estará sujeita na guitarra.

7.1 Sistema de Teste

Tendo em conta o carregamento previamente mostrado nas Figuras 34 e 35 (Capítulo 4) para a simulação estrutural, projetou-se a execução do equipamento mostrado na Figura 61 para se efetuar a validação estrutural da nova peça em compósito.

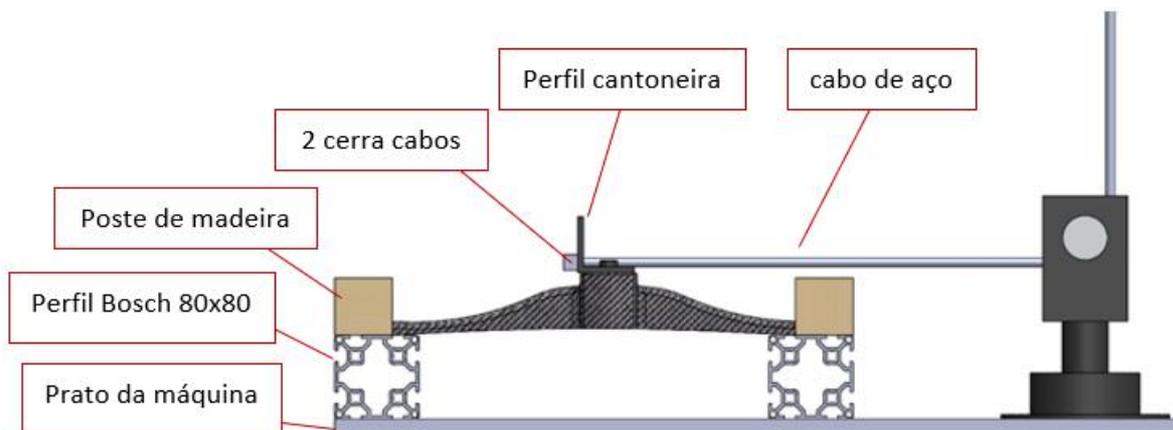


Figura 61 -Sistema de teste projetado no *Solidworks*.

7.1.1 Acessórios Necessários

Para realização dos ensaios foram necessários os seguintes acessórios:

- Cabo de aço.
- 4 cerra cabos.
- 6 parafusos m6, porcas e anilhas.
- Duas barras de alumínio de perfil Bosch 80x80 mm (ver Anexo XI) com 290 mm de comprimento, a utilizar como base de fixação do componente e para o subir de maneira a que o cabo de aço ficasse adequadamente posicionado, isto é, paralelo ao prato da máquina e perpendicular à peça.

- Dois postes de madeira de pinho com 290mm de comprimento, onde se fizeram entalhes nas extremidades de maneira a simular o encaixe do componente na guitarra (ver desenho técnico presente no Anexo XII).

Além destes, foi ainda necessário fabricar mais dois acessórios que também foi necessário projetar:

- Um perfil cantoneira em aço, a aparafusar ao componente e onde posteriormente se conecta um cabo de aço de maneira a que este fique perpendicular aos furos. Este perfil cantoneira destina-se a simular a ponte da guitarra, transmitindo a força exercida no cabo de aço para o componente. Para isso, usou-se uma cantoneira 40x40x4 mm, com 110 mm de comprimento, cortada numa máquina de corte giratória de serra de fita e furada numa furadora vertical de acordo com as especificações do desenho técnico apresentado no Anexo XIII.
- Um prato da máquina com dimensões superiores às do novo componente a ensaiar, de modo a que ele tivesse espaço para ser fixado na parte lateral da máquina. Para o construir foi necessário cortar duas barras de aço com 10 mm de espessura, 200 mm de largura e 600 mm de comprimento na serra de fita giratória. Nas barras, efetuou-se um entalhe simétrico com uma rebarbadora e com auxílio de uma furadora vertical efetuaram-se os diferentes furos de fixação do prato à máquina. De seguida, as duas barras foram soldadas e rebarbadas de modo a formarem o prato (ver desenho no Anexo XIV).

7.1.2 Montagem *passo a passo*.

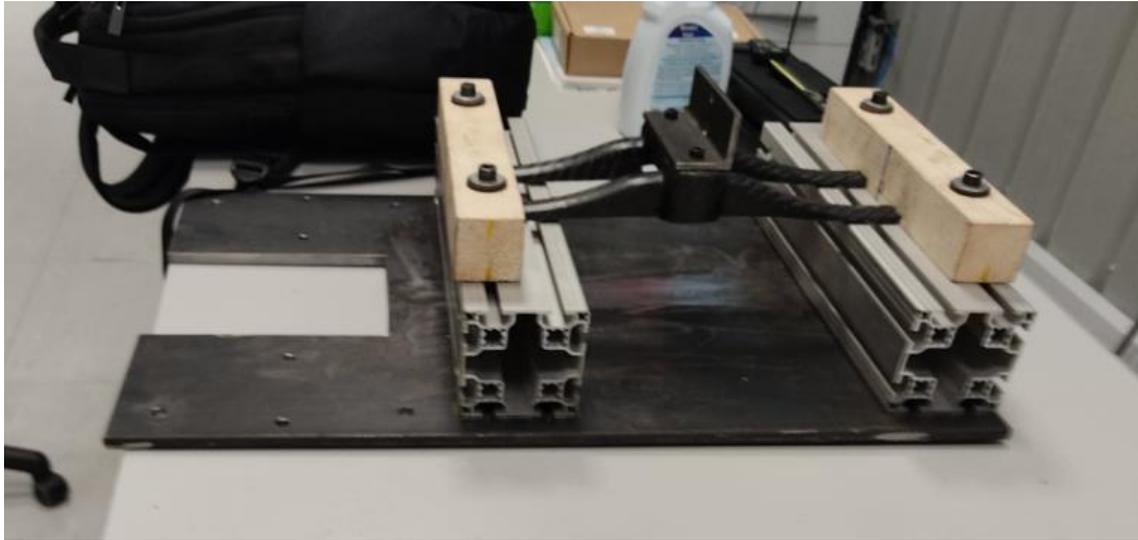


Figura 62 - Sistema de teste construído.

Na Figura 62 apresenta-se o sistema idealizado completamente montado.

De seguida, descreve-se a sua construção:

- 1- Primeiro, no componente foram marcados dois furos simétricos em relação ao centro da peça, com distância entre centros de 82 mm , que foram realizados numa furadora vertical.
- 2- Depois, a cantoneira foi posicionada em cima do componente fazendo coincidir os dois furos da cantoneira com os realizados no componente e com parte onde apenas tinha um furo voltada para a parte inferior do componente (mais comprida, que futuramente se fixará à parte inferior do corpo da guitarra).
- 3- Em seguida, a cantoneira foi fixada ao componente com dois parafusos sextavados M6.
- 4- Uma das barras em perfil *Bosch* foi então fixada ao prato fabricado, a facejar pela parte mais distante da máquina.
- 5- O componente foi de seguida posicionado em cima da barra, permitindo saber assim o local onde se devia fixar a segunda barra de perfil.
- 6- Fixou-se a segunda barra de perfil.
- 7- O componente foi mais uma vez posicionado, desta vez em cima das duas barras de perfil.

8- Posteriormente, os dois postes de madeira foram fixados através de dois parafusos M6 com anilhas nas duas extremidades do componente utilizando os entalhes neles previamente realizados.

7.2 Teste de Validação.

Nos testes, utilizou-se um equipamento universal de ensaios mecânicos SHIMADZU AG-X do PIEP, com 50kN de capacidade, para efetuar o carregamento do componente. De modo a garantir a aplicação da mesma carga de 965 N que foi usada nas simulações estruturais, submeteu-se a nova peça fabricada à carga máxima de 1000 N aplicada à velocidade de 10 mm/min.

7.2.1 Procedimento

Para a execução do teste:

- 1º O sistema previamente construído para o teste foi fixado com parafusos ao equipamento de tração através dos furos previamente efetuados no prato.
- 2º Colocou-se e aparafusou-se um acessório com forma de rolete existente no equipamento de tração, de modo a possibilitar a passagem do cabo de aço e a transformar o esforço de tração realizado verticalmente em tração horizontal.
- 3º Seguidamente, fez-se passar o cabo de aço pelo furo da cantoneira e fixou-se uma das suas extremidades com dois serra cabos do lado oposto da cantoneira.
- 4º Posteriormente, o cabo de aço foi passado e puxado por debaixo do rolete e, finalmente, fixado à amarra superior do equipamento também com dois serra cabos.
- 5º Colocou-se um comparador magnético na superfície da cantoneira em contacto com o componente, de modo a permitir registar o deslocamento o seu deslocamento durante o carregamento.
- 6º Colocou-se o cabo de aço sob a pré-tensão, fazendo com que máquina o tracionasse lentamente até ele ficar bem esticado e estabeleceu-se o início do ensaio (força e deslocamento nulos).
- 7º Finalmente, deu-se início ao teste de tração no equipamento com os parâmetros previamente definidos: Força máxima de 1000 N e velocidade deslocamento de 10mm/min.

7.2.2 Conclusões

Durante o ensaio, o comparador apresentou um deslocamento mais baixo que o lido na máquina. Enquanto o deslocamento máximo lido pelo comparador foi de 2 mm, o equipamento de tração apresentou um valor máximo de 6,2mm, que se pensa ter resultado da diferente pré tensão e da própria elasticidade do cabo.

Relativamente à simulação estrutural, obteve-se um deslocamento superior no ensaio, o que se poderia esperar tendo em conta a diferença de cargas utilizadas nas duas condições (965 N e 1000 N). Este valor pode, também, ser mais elevado devido à imprecisão dos acabamentos manuais do componente e à diferença do sistema de fixação da carga, já que neste caso esta é transferida através de dois pontos, e ainda por a peça estar encastrada nos dois postes em madeira, que não serão perfeitamente rígidos como os considerados na simulação. De qualquer forma, o valor obtido não põe em risco a funcionalidade do componente.

A Figura 63 mostra uma vista geral do sistema de ensaio e o gráfico força vs deslocamento obtido.

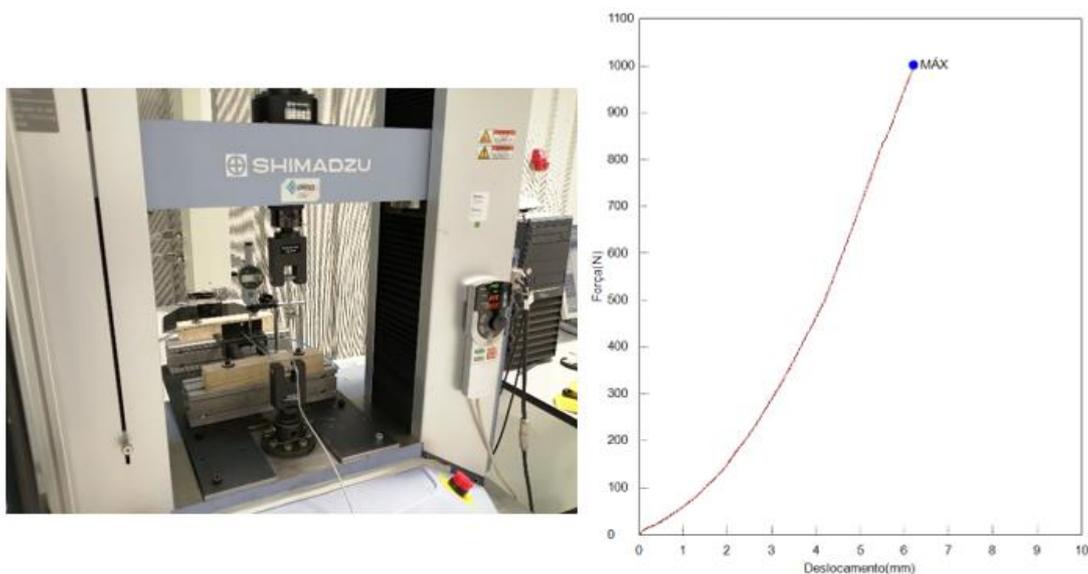


Figura 63 –Vista geral do sistema de ensaio e os resultados obtidos.

Como se pode ver os resultados obtidos mostram um comportamento do componente uniforme, sem picos, o que indica que estruturalmente o componente suportou a carga sem ceder ou partir, validando assim experimentalmente os cálculos analíticos e a simulação computacional efetuados anteriormente.

8. ANÁLISE DE CUSTOS DAS MATÉRIAS PRIMAS.

8.1 Custo das Matérias Primas do Componente Fabricado.

Utilizando o website da empresa *Castro Composites* como referência, foi feita uma estimativa para o custo de matérias primas necessárias para o fabrico de um componente em compósito de fibra de carbono, *Component guitar*.

O cálculo desse custeio é apresentado nas Tabelas 5, 6 e 7. [40][41][42]

Tabela 5: Cálculo do custo da resina epóxida.

Resina	
preço por 34,5kg	preço por 0,5kg
607,97	8,81

Tabela 6 : Cálculo do custo dos tecidos de fibra de carbono.

	Tipo de tecido fibra de carbono	
	<i>plain</i>	<i>twill</i>
Número de camadas	6	1
Área de cada camada (m^2)	0,21	0,21
Área total gasta (m^2)	1,24	0,21
Preço por m^2 (€)	18,63	23,21
Preço (€)	23,06	4,79
Preço total de tecidos (€)	27,85	

Tabela 7: Cálculo total do custo de cada componente em matéria prima.

Preço da resina (€)	Preço do tecido de fibra de carbono (€)	Preço total da matéria prima do componente em material compósito (€)
8,81	27,85	36,66

Como a Tabela 7 mostra, estimou-se o custo total da matéria prima para a construção da peça em compósito *Component guitar* em 36,7€.

8.2 Custo das Matérias Primas do Componente em Madeira.

Como termo de comparação é pertinente fazer também uma estimativa de custo da matéria prima do componente em madeira (abeto). Esse cálculo apresenta alguma dificuldade porque a madeira usada na construção de instrumentos musicais é

normalmente selecionada, é alvo cortes muitos específicos e também é difícil de estimar o desperdício resultante do processo de fabrico. Sendo selecionadas, as madeiras têm normalmente valor muito acrescido.

De maneira a calcular o volume de madeira necessário para o fabrico do componente, tentando também estimar os desperdícios, foi em aproximação considerado que a peça era construída a partir dum bloco com margens de 5mm para cada lado das suas dimensões. Tendo, assim, o bloco dimensões de $55 \times 130 \times 320 \text{ mm}$, o volume correspondente seria de $2,3 \times 10^{-3} \text{ m}^3$.

Atribuiu-se, por outro lado, um custo à madeira com base no website da empresa *Alaska woods*, especializada na venda de madeira de alta qualidade para construção de instrumentos de *luthier*. Para o efeito, selecionou-se um produto descrito como madeira de abeto utilizada na construção de travessas e vigas de reforço interno de guitarras. O produto é vendido em unidades com volume correspondente a $144 \text{ in}^3 \approx 2,4 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ com o preço unitário de \$18,61, o que é equivalente 15,85 € nos dias de hoje. Tendo em conta o volume efetivamente pretendido deste produto teríamos um custo para a madeira necessária para fabricar um componente de 15,36€ [43].

8.3 Conclusões comparativas.

Comparando os custos de matéria-prima em ambas as situações, componente em compósito e em madeira, verificamos que ela custará cerca de 2,39 vezes mais na nova peça em compósito.

Mesmo sem que estes valores representem o valor final do componente, já que para ambos os casos é necessário considerar outros custos revelantes como, por exemplo, equipamento e mão de obra, pode-se concluir que as vantagens do componente em compósito de fibras de carbono podem justificar bem a diferença de valor em relação à matéria prima. Neste caso, o custo é um fator secundário para o produto. Trata-se de um componente específico que permite reduzir o peso da guitarra, melhora e permite a sua construção numa única peça e melhora diversas características relevantes para a sua utilização, resistência e rigidez. Por outro, traz para o produto uma característica de exclusividade que é determinante num mercado de instrumentos exclusivos, como todo o fator de luxo que se associa aos compósitos em fibra de carbono. Trata-se de um mercado em que o cliente é muitas vezes mais

convencido por especificações e apontamentos diferentes do produto do que por um preço apelativo.

9. CONCLUSÕES

- De acordo com os objetivos propostos, nesta dissertação foi desenvolvido, fabricado e validado experimentalmente um produto em material compósito para aplicação numa guitarra elétrica, no caso, um componente para reforço interior da mesma.
- Todas as etapas de planejamento, projeto, fabrico e validação foram efetuadas com sucesso.
- O produto desenvolvido demonstrou ser um componente funcional e estruturalmente superior à solução atualmente usada, tendo em conta as matérias primas e processo utilizados e melhorias introduzidas, nomeadamente, a possibilidade inovadora de poder ser fabricado numa única peça.
- Com intuito de otimizar a espessura da nova peça desenvolvida em compósito e antes do fabrico de protótipos, efetuaram-se simulações do seu comportamento mecânico em serviço usando a sua modelação por elementos finitos (FEM) no *software Abaqus*.
- Tornou-se difícil aprofundar mais a análise comparativa com o componente em madeira atualmente utilizado pela empresa por falta de elementos técnicos da mesma e por impedimentos de mobilidade resultantes da atual crise do Covid 19.
- Verificou-se que o novo produto em compósito desenvolvido é, no mínimo, 23% mais leve que a atual solução em madeira, que absorvendo água pode ainda aumentar mais de peso. Foi ainda possível desenvolver e propor à empresa outras soluções mais ousadas e inovadoras em compósito que trariam certamente maiores vantagens para as guitarras, mas a empresa preferiu efetuar uma abordagem mais conservadora neste primeiro trabalho. Essas soluções, permitiriam diminuir ainda mais o peso e trazer outras vantagens para as guitarras. A eventual utilização do RTM (*Resin Transfer Moulding*) no fabrico da peça final desenvolvida no trabalho poderá ainda trazer maiores ganhos de peso (diminuição de peso) ao permitir uma maior compactação de fibras e redução do excesso de resina, mas não foi possível usar esta opção no trabalho devido ao maior custo do molde e equipamento que ficaria associado à produção de apenas duas peças.
- No trabalho realizou-se também todo o desenvolvimento, projeto e construção de um complexo molde para fabrico, por infusão a vácuo, do novo componente em compósito a usar como reforço da caixa da guitarra *Maruxa da Sabrafen*.

- A especificidade do produto em compósito desenvolvido aleada às dificuldades de deslocação além-fronteira (devido ao Covid 19) tornou a sua validação experimental um verdadeiro desafio. Por esse facto, no trabalho foi desenvolvido e construído todo um novo sistema de teste que permitiu ensaiar e validar experimentalmente a nova peça em compósito desenvolvida e produzida.
- Os testes experimentais de validação efetuados permitiram verificar que o novo componente em compósito conseguia desempenhar todas as suas funções e resistir de forma adequada a todos os esforços previstos em serviço. Obtiveram-se valores máximos de deslocamento de 2 *mm* e de 0,1 *mm* no caso da simulação estrutural efetuada por FEM no *software Abaqus*. Nenhum destes resultados compromete a funcionalidade do componente e a diferença entre eles pode ter sido devida aos diferentes tipos de aplicação ou absorção de carga usados, imperfeições do sistema experimental de encastramento em madeira ou pelo facto do modelo usado na simulação não corresponder exatamente a um estratificado de lâminas compósitas diversas.
- Apesar da pouca expressão que o facto tem para um produto deste tipo, verificou-se ainda que a nova peça em compósito custaria cerca de 2,4 vezes que o componente atual em madeira em termos de matéria-prima, podendo, no entanto, essa diferença vir a ser cada vez menor à medida que forem aumentando as dificuldades em aceder a madeiras de qualidade e, conseqüentemente, o seu preço também for aumentando.

10. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para que se possam aprofundar melhor e dar continuidade aos resultados obtidos nesta dissertação, sugere-se a realização dos seguintes trabalhos futuros:

- Repetição da simulação estrutural e fabrico de um componente efetuando um estudo da otimização do laminado e utilizando as propriedades das diversas camadas, o que embora fugindo ao critério da rigidez semelhante à peça atual pode permitir obter um produto mais barato e ainda mais leve;
- Fabricar o produto por RTM, dado que a existência dum molde com bucha e cavidade pode contribuir para aumentar a compactação das fibras e reduzir o excesso de resina se se pretender produzir uma série maior de peças;
- Substituir o processo de acabamento manual, em que se recorre a rebarbadoras e lixas, por um processo de acabamento automatizado recorrendo, por exemplo, ao corte por jato de água.
- Tentar desenvolver os outros produtos apresentados no capítulo 3 (Conceção e Projeto) desta tese, que parecem ser soluções válidas, inovadoras e com espaço no mercado;
- Substituir completamente madeira na parte lateral da guitarra por compósito reforçado com fibras de carbono mudando toda dinâmica da guitarra e criando um produto mais apelativo completamente diferente;
- Criar uma guitarra inteiramente em compósito;

BIBLIOGRAFIA

- [1] MIRACLE, DANIEL B. E DONALDSON, STEVEN L. ASM Handbook. [ed.] ASM International.2001. Vol. 21.
- [2] GURIT; Gurit Guide to Composites
- [3] J., B., Advanced Polymer Composites: Principles and Applications 1994, USA: Copyright
- [4] DANIEL GAY, SUONG V. HOA; Composites Materials Designs and Applications
- [5] GURIT; Gurit guide to infusion Vol.1
- [6] Vacuum Infusion - The Equipment and Process of Resin Infusion.
https://composites.ugent.be/home_made_composites/documentation/FibreGlast_Vacuum_infusion_process.pdf , data de último acesso: Setembro de 2020
- [7] www.sabrafen.com, data de último acesso: Novembro de 2020
- [8] FRENCH, RICHARD M.; Engineering the Guitar – Theory and practice (1ª edição).Nova Iorque: Springer Science+Business Media; 2009
- [9] <https://playguitar.com/les-paul-electric-guitar-legend/>, data de último acesso: Novembro de 2020
- [10] SIDNEY PRIM; Guitar Anatomy – Understanding the Different Parts of the Guitar; Liberty Park Music.
<https://www.libertyparkmusic.com/the-anatomy-of-guitar/>, data de último acesso: Novembro de 2020
- [11] EDSON FERREIRA; Conheça a anatomia da Guitarra; Wordpress; 2017
<https://manualdoguitarrista.wordpress.com/2017/01/03/conheca-a-anatomia-da-guitarra/>, data de último acesso: Novembro de 2020
- [12] MAX ROEST; Design of a composite guitar; TUDelf; 2016
- [13] <http://legacy.gibson.com/Products/Electric-Guitars/2016/Memphis/ES-335.aspx>, data de último acesso: Dezembro de 2020
- [14] WOODBRASS TEAM; Mike Voltz and David Winters (Gibson) – Interview; 2015
<https://www.lamusiqueestatoutlemonde.com/mike-voltz-and-david-winters-gibson-interview/>, data de último acesso: Novembro de 2020
- [15] CNBC, Guitar makers hit hard by new regulations on prized rosewood, published THU, APR 12 2018 2:28 AM EDT

<https://www.cnn.com/2018/04/12/guitar-makers-hit-hard-by-new-regulations-on-prized-rosewood.html>, data de último acesso: Novembro de 2020

[16] <https://carbonfibergear.com/>, data de último acesso: Novembro de 2020

[17] <https://designa-individual.com/en/watches/carbon-w/cream-invert>, data de último acesso: Novembro de 2020

[18] <https://fish.shimano-eu.com/content/fish/eu/gb/en/homepage/rods.html>, data de último acesso: Novembro de 2020

[19] <https://www.ovationguitars.com/adamas/MD80-NWT>, data de último acesso: Dezembro de 2020

[20] <https://www.sweetwater.com>, data de último acesso: Novembro de 2020

[21] <https://www.pinterest.pt/pin/572309065130309783/>, data de último acesso: Novembro de 2020

[22] <https://fxmusic.pl/project/parker-guitars/?lang=en>, data de último acesso: Novembro de 2020

[23] LUCAS FROST; 10 Guitars You Need to Know #8: Parker Guitar; Uberchord; 2015

www.uberchord.com/blog/10-guitars-to-know-parker-guitars/, data de último acesso: Outubro de 2020

[24] TONY BORROZ, Meet The Fender Stratocaster 1 & The Supercar That Inspired It, Automoblog, 2020

<https://www.automoblog.net/2020/01/25/fender-stratocaster-1/>, data de último acesso: Outubro de 2020

[25] SAM ROCHE; NAMM 2020: The \$560,000 Coronation Stratocaster leads Fender's jaw-dropping Custom Shop line-up; Guitar World; 2020.

<https://www.guitarworld.com/news/namm-2020-the-dollar560000-coronation-stratocaster-leads-fenders-jaw-dropping-custom-shop-line-up>, data de último acesso: Dezembro de 2020

[26] <http://avaaguitars.com>, data de último acesso: Novembro de 2020

[27] MOHAMMAD MEHDI JALILI, SEYYED YAHYA MOUSAVI, AMIR SOHEIL PIRAYESHFAR; Investigating the Acoustical Properties of Carbon Fiber-, Glass Fiber-, and Hemp Fiber-Reinforced Polyester Composites; Department of Polymer Engineering, Tehran South Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

[28] EDUARDO GONÇALVES; Desenvolvimento de Guitarras Elétricas em polímeros reforçados a fibra de carbono; ESAD; 2010

- [29] TIAGO AMORIM E COSTA; Desenvolvimento de uma guitarra acústica em materiais compósitos; FEUP; 2018
- [30] How Carbon Fiber D-Tubes Affect Musical Instrument Tone; 2019
<https://dragonplate.com/how-carbon-fiber-d-tubes-affect-musical-instrument-tone>,
data de último acesso: Novembro de 2020
- [31] <https://www.bitterrootguitars.com/Truss-Rod-Carbon-Fiber-24-p/081290.htm>,
data de último acesso: Novembro de 2020
- [32] PRESS RELEASE; Kiesel Guitars and Carvin Guitars Custom Shop Introduce Carbon-Fiber Rods to All Guitar and Bass Models; 2015
- [34] NEGIN ABAEIAN; Finite Element Design and Manufacturing of a Nylon-String Guitar Soundboard from Sandwich-Structured Composites; McGill University, Montreal, Canada; 2017
- [35] <https://br.pinterest.com/pin/546342998537760375/>, data de último acesso: Novembro de 2020
- [36] <https://www.pinterest.ch/pin/135108057548194787/>, data de último acesso: Novembro de 2020
- [37] L.D. LANDAU, E.M. LIFSHITZ; Theory of Elasticity. Vol. 7 (3rd ed.); Butterworth-Heinemann; 1986
- [38] https://www.engineersedge.com/material_science/moment-inertia-gyration-5.htm, data de último acesso: Dezembro de 2020
- [39] www.wolframalpha.com, data de último acesso: Dezembro de 2020
- [40] https://www.castrocompositesshop.com/pt/resinas/1098-resoltech-1800-resina-ep%C3%B3xi-de-infus%C3%A3o.html#/265-peso-1800_1808_x_259_5_kg,
data de último acesso: Novembro 2020
- [41] https://www.castrocompositesshop.com/gb/fibre-reinforcements/2371-200-gm2-3k-carbon-fabric-twill-2x2-100-cm-width.html#/270-weight-50_m2, data de último acesso: Novembro de 2020
- [42] https://www.castrocompositesshop.com/gb/fibre-reinforcements/2372-200-gm2-plain-carbon-fabric-3k-100-cm-wide.html#/157-weight-100_m2, data de último acesso: Novembro de 2020
- [43] <https://alaskawoods.com/product/hand-split-sitka-spruce-bracewood/>, data de último acesso: Novembro de 2020
- [44] <http://www.remade.com.br/madeiras-exoticas/1367/madeiras-espanholas-e-exoticas/abeto>, data de último acesso: Novembro de 2020

- [45] <http://www.rebelco.pt/M700%20PT.pdf>, data de último acesso: Dezembro de 2020
- [46] <https://www.svydis.lt/sites/default/files/dokumentai/c19-multyfiller-express-me1-me3-me6-eng.pdf>, data de último acesso: Dezembro de 2020
- [47] <https://smitsgroup.co.nz/product/62360/roberlo-p6000-fast-hardener-1l>, data de último acesso: Dezembro de 2020
- [48] https://www.scabro.com/index.php?dispatch=attachments.getfile&attachment_id=70, data de último acesso: Dezembro de 2020
- [49] http://backend.airtech.lu/product_pdf.php?product_id=1631&lang=&location=, data de último acesso: Dezembro de 2020
- [50] https://www.jacomp.fi/wp-content/uploads/2017/12/Biresin_CR84_eng.pdf, data de último acesso: Dezembro de 2020
- [51] https://www13.boschrexroth-us.com/Framing_Shop/pdf/101/Page%202-47.pdf, data de último acesso: Dezembro de 2020

ANEXO I – PROPRIEDADES DA MADEIRA “ABETO” [44]

MADEIRAS ESPANHOLAS E EXÓTICAS

Abeto

Nome Científico:

Picea abies Karst Española

Propriedades Físicas:

Densidade aparente a 12% de umidade:

450 kg/m³ - madeira ligeira

Estabilidade dimensional:

Coefficiente de contração volumétrica: 0,44% - madeira estável

Relação entre contrações: 2,1% - tendente a empenar.

Dureza (Monnin):

1,5 madeira - branda

Propriedades Mecânicas:

Resistência a flexão estática:

710 kg/cm²

Resistência a compressão:

450 Kg/cm²

Durabilidade:

Pouco durável a Sensível

Trabalhabilidade:

Serragem: Fácil, sem dificuldades.

Secado: Rápido com risco de fendas e atejado.

Aplainado: Sem dificuldades.

Pregar e parafusar: bom, tendência a rachar. Pouca resistência ao arranque.

Acabamento: Tintado desigual

Empregabilidade

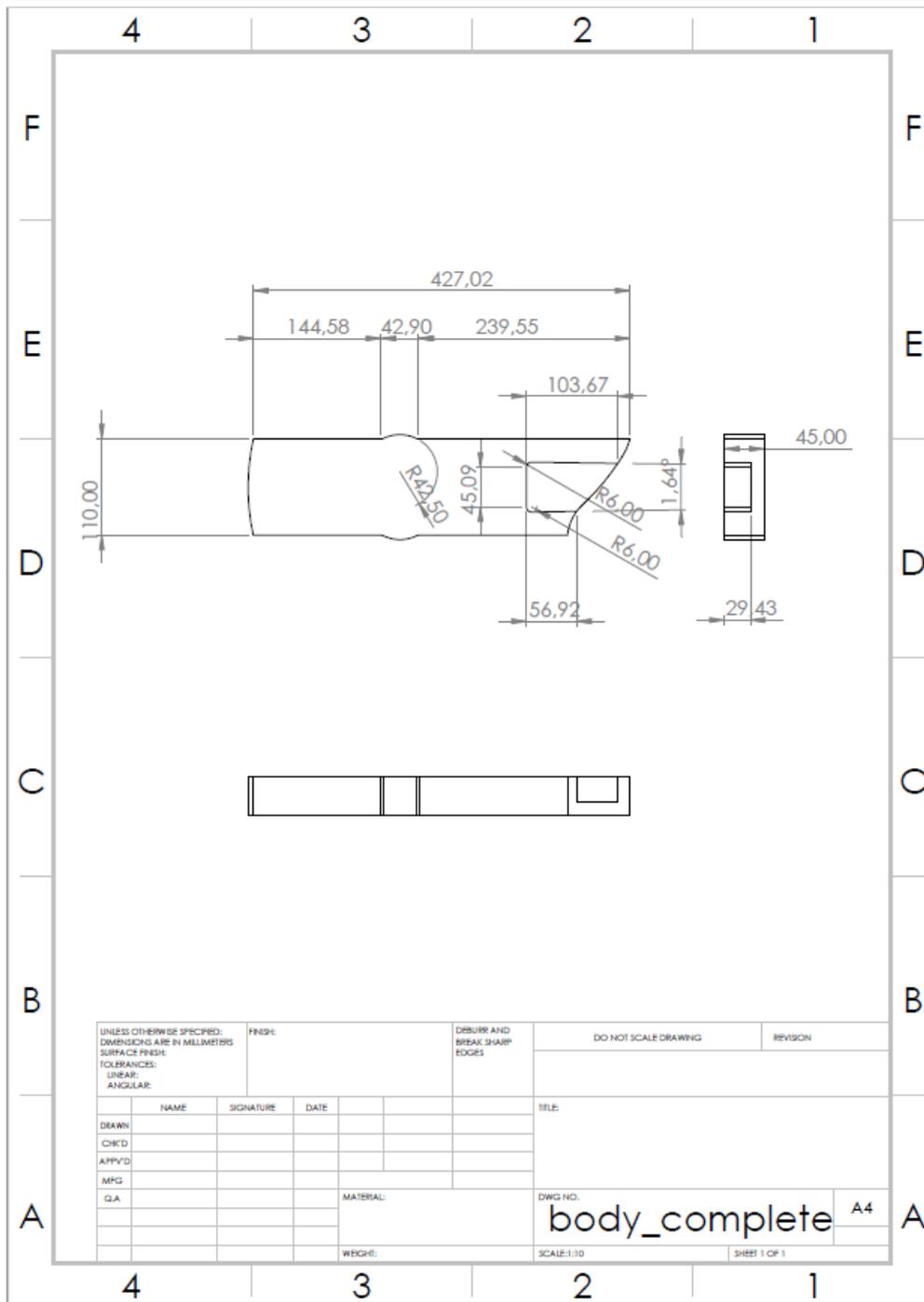
Alburo: Pouco empregável Duramen: No empregável

Descrição Madeira:

Alburo: Branca amarelada • Duramen: Amarelo rosado • Fibra: Direita • Grão: Médio a fino • Defeitos característicos: Nós pequenos.

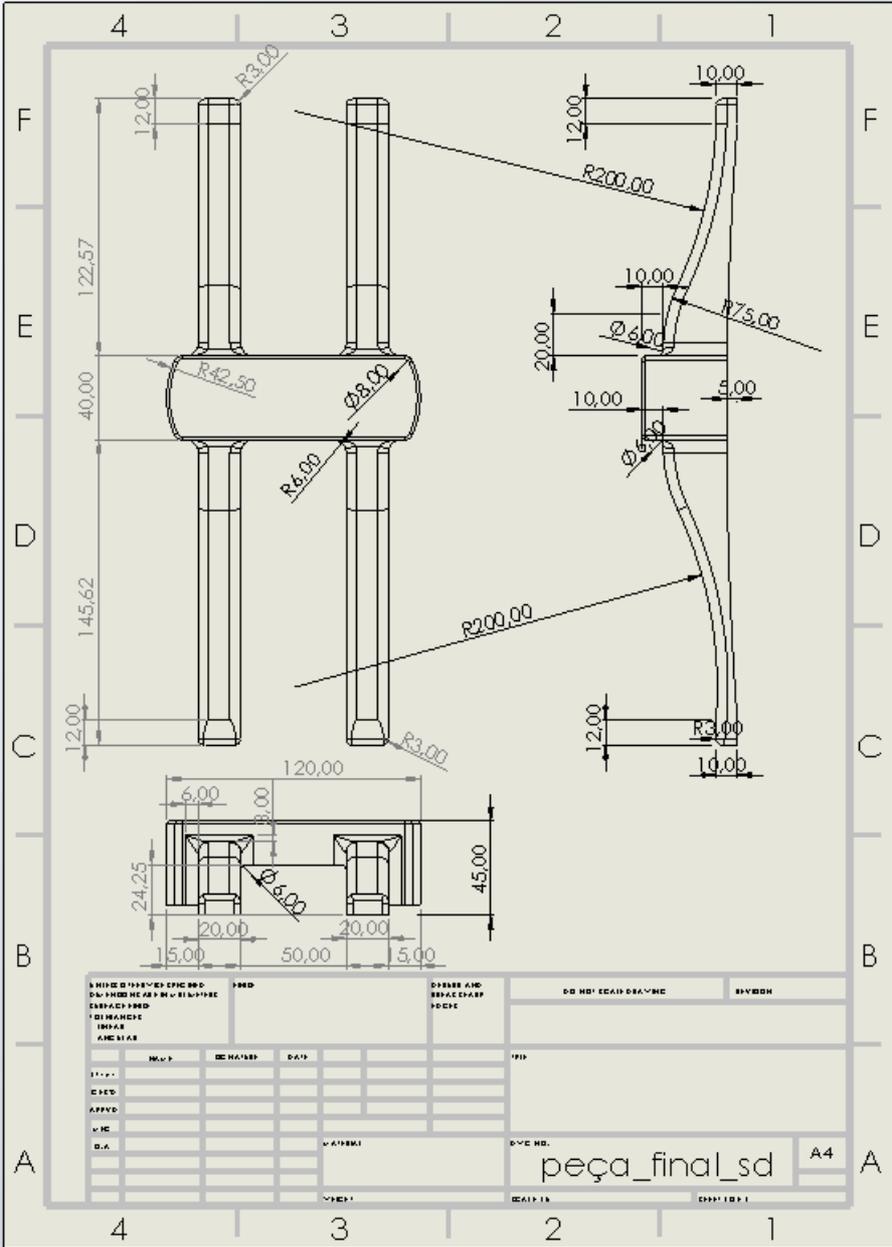


ANEXO II – DESENHO TÉCNICO DO PROTÓTIPO REFORÇO BODY_COMPLETE



ANEXO III – DESENHO TÉCNICO DO PROTÓTIPO REFORÇO

COMPONENT_GUITAR



ANEXO IV – TABELA DE PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS LAMINADOS PRODUZIDOS NO PIEP

	E_1 [MPa]	E_2 [MPa]	ν_{12}	ρ [kg/m ³]	G_{12} [MPa]	G_{23} [MPa]	G_{13} [MPa]	σ_{1t} [MPa]	σ_{1c} [MPa]	σ_{2t} [MPa]	σ_{2c} [MPa]	S [MPa]
Fibra de carbono UD T700S	125000	7171,2	0,34	1800	3024	3024	1600	2450	1570	70	70	98
Fibra de carbono PW 45	15055	15055	0,79	1400	34487	4200	4200	123	125	123	125	397
Fibra de carbono PW 0/90	55000	55000	0,04	1455	4000	2662	2662	560	467	560	467	66
AIREX C70.90	84	84	0,05	100	40	40	40	2,7	2	2,7	2	1,7

ANEXO V – TABELA UTILIZADA NO CÁLCULO DE INFUSÕES

Empilhamento 1		<i>Preencher →</i>		Empilhamento 2	
Nº camadas 1	7			Nº camadas 2	11
Comprimento 1 [mm]	550	Dois Tipos Fibras? (S/N)	n	Comprimento 2 [mm]	100
Largura 1 [mm]	350			Largura 2 [mm]	360
Espessura Total 1 [mm]	1,53	ⁱ Densidade F. Carbono [Kg/m3]	1780	Espessura Total 2 [mm]	3,71
		ⁱ Densidade F. Vidro [Kg/m3]	2600		
Gramagem Fibra [g/m2]	195			Gramagem Fibra [g/m2]	300
Densidade Fibra [Kg/m3]	1780			Densidade Fibra [Kg/m3]	1780
Vf Processo [%]	50			Vf Processo [%]	50
Espessura Lâmina	0,22			Espessura Lâmina	0,34
Densidade Resina [Kg/m3]	1200	Espessura FM & PP[mm]	1	Peso FM	144,00
Volume Fibra [m3]	0,1476	Comprimento FM [mm]	400	Peso espiral	76,34
Volume Resina	0,1476	Largura FM [mm]	300	Peso Tubagem	60,32
Peso Fibra [g]	263	D interno Espiral [mm]	9	Peso extra Resina	280,66
Peso Resina [g]	177	Comprimento Espiral [mm]	1000		
Peso Total [g]	440	D interno Tubagem [mm]	8		
		Comprimento Tubagem [mm]	1000		
Resina [Gramas]			458		

ANEXO VI – FICHA TÉCNICA SIKABLOCK M700 [45]

Ficha Técnica – SIKABLOCK M700



M 700

Placa maquinável

Descrição

SIKABLOCK M 700 é uma placa de poliuretano maquinável com uma excelente estabilidade dimensional e acabamento de superfície. Apresenta elevada resistência a compressão e boa estabilidade de arestas, elevada resistência térmica e boa resistência a solventes. As suas principais características são uma baixa densidade, uma estrutura interna fina e homogénea e uma baixa absorção da humidade. **SIKABLOCK M 700** foi inicialmente concebido como um produto alternativo à madeira para as oficinas de moldes e modelos, podendo ser trabalhado manualmente, com ferramentas de madeira apresentando uma grande facilidade de corte e acabamento. Pode ser maquinado facilmente utilizando fresas ou outras ferramentas a alta velocidade, com formação de aparas e praticamente sem pó, obtendo-se excelentes resultados.

As placas podem ser coladas entre si, utilizando adesivos de poliuretano, resinas epoxy ou cianocrilato. Depois de maquinados os modelos fabricados com **SIKABLOCK M 700** apresentam uma superfície lisa e compacta que pode ser envernizada, obtendo-se assim uma grande dureza superficial.

Aplicações

Modelos, protótipos, ferramentas de controlo dimensional, moldes para termoformagem, RIM e fabrico de componentes em materiais compósitos.

Propriedades

Cor:	Castanho	
Densidade:	0.70	(ISO 845)
Dureza Shore D:	66	(ISO 868)
Resistência a flexão:	26 MPa	(ISO 178)
Modulo de flexão:	1000Mpa	(ISO 604)
Resistência a compressão:	25 MPa	(ISO 178)
Resistência ao impacto:	7 KJ/m ²	(ISO 179 Ue)
Temperatura de deformação sob carga:	90 °C	(ISO 75 B)
Coefficiente de dilatação térmica linear:	55 x 10 ⁻⁶ K ⁻¹	(DIN 53 752)

1

REBELCO, Lda - Rua São Francisco, Parque Doroana, Armazém CG, 2645-019 Alcabideche, Portugal.
Telf (+351) 214566335 / www.rebelco.pt / e-mail geral@rebelco.pt

Ficha Técnica – SIKABLOCK M700

Diversos

Adesivos	KLEBER BROWN	BIRESIN G26	REBELCO CYAN
Relação de mistura (peso)	100:65	100:100	monocomponente
Tempo de trabalho (minutos)	20	5	50 segundos
Tempo de endurecimento	8 a 10 horas	50 minutos	5 minutos

Betume de reparação	SPACHTEL BROWN
Relação de mistura (peso)	100:2
Tempo de trabalho (minutos)	5
Tempo de endurecimento	>20 minutos

NOTA: recomenda-se a lixagem e posterior limpeza das zonas a unir antes da aplicação do adesivo.

Dimensões

Em blocos de: 1500 x 500 x 30 mm
1500 x 500 x 50 mm
1500 x 500 x 75 mm
1500 x 500 x 100 mm
1500 x 500 x 150 mm

Armazenagem

O produto não tem limitações de tempo sempre que armazenado adequadamente em locais secos e em superfícies planas. Evitar variações bruscas de temperatura.

Higiene e segurança

Por favor consulte as fichas de Higiene e Segurança disponíveis para os vários materiais.

Os valores indicados são fornecidos com base no conhecimento actual e são apenas indicativos não podendo ser usados para elaborar qualquer especificação técnica. Para mais informações consulte os nossos serviços técnicos.

ANEXO VII – FICHA TÉCNICA PRIMÁRIO:

Roberlo multyfiller express ME3 [46]



MULTYFILLER EXPRESS

C19

VERSION: 160620
Page: 1/3

ACRYLIC 2K PRIMER

DEFINITION

MULTYFILLER EXPRESS is a two-component acrylic primer filler for bodywork repair. In the development of the product, two characteristics have been carefully enhanced: its quality and ease of application in the workshop.

MULTYFILLER EXPRESS possesses a high isolating quality and an excellent adhesion to putties, fillers and properly sanded hardened paints.

PHYSICAL CHARACTERISTICS

Nature:	Acrylic 2K	
Colour:	ME1 - light grey, ME3 - medium grey, ME6 - black	
Specific weight:	1,60 kg/l	at 20°C
Dry film thickness:	70-90 microns	1 coat, non diluted
	50 microns	1 coat, diluted at 25%
VOC:	390 g/l	Multyfiller Express Primer
	435 g/l	Mixing application
Solids content:	70 %	Mixing application
Yield:	9 m ² /l	200 microns
	18 m ² /l	100 microns

AUXILIARY PRODUCTS

- P4000 Catalizador lento
- P5000 Standard hardener
- P6000 Fast hardener
- S322 Standard thinner

SURFACE PREPARATION

PROCESS		Putty	Paint OEM	Cataphoresis
 P240  DA93		√	√	√
		√	√	√

MIXING RATIO

Multyfiller Express				
P4000	volume 100:25:0-25	High Build 4:1 0-10%		20'-40'
P5000			19'-50" F/4 20°C	20'-40'
P6000	weight 100:15:0-14	Surfacer 4:1:1		15'-35'

APPLICATION METHOD

					
	1,6 - 1,8	3-4	15-20	2	5' 20°C
	1,7 - 1,9	3	10	2	

MULTYFILLER EXPRESS

2K ACRYLIC PRIMER

G19

VERSION: 160620
Page: 2/3

DRYING TIMES

20° C					60° C			Short Wave - IR			
									LAMP DISTANCE	FLASH OFF	FULL BAKE
P4000	0%	20'	2 h	3 h	P4000	30'	30'	P5000	80 cm	5'	7'
	25%	25'	1,5 h	2 h	P5000	30'	30'				
P5000	0%	15'	2 h	3 h	P6000	20'	30'				
	25%	20'	1,5 h	2 h							
P6000	0%	15'	1,5 h	3 h							
	25%	20'	1 h	1,5 h							

SANDING

INITIAL	P360/400	P360/400	INITIAL	P600	P600
FINAL	P600	P600	FINAL	P800	P800

COLOUR TABLE

Colours	Mixing ratio ME1:ME6	Recommended finishes
	100 : 0	White Orange Yellow Blue Metallic light green
	85:15	Metallic light grey Medium yellow
	65:35 o ME3	Metallic medium grey Dark yellow Blue Medium green
	40:60	Metallic medium red Metallic dark grey
	5 : 95	Metallic dark blue Metallic dark green
	0 : 100	Black Metallic dark red

EQUIPMENT CLEANING

Clean with a cleaning thinner before the product hardens.

SAFETY

Follow instructions of product label. For more information check the Safety Data Sheets. Compliant with the National Statutory Regulation for Health and Safety at Work and Waste Disposal.

STORAGE

Store the product in a ventilated place far from direct exposure to sunlight. Keep between +5°C and +30°C.

GUARANTEE

In the unopened original packaging, one year from manufacturing date.

For any technical information contact with our Customer Attention Service or our Technical Department.
ROBERLO SA declines any responsibility due to an incorrect use of the product.

Roberlo P6000 [47]

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006



P6000

Version
2.1

Revision Date:
04.03.2019

SDS Number:
H51231

SECTION 1: Identification of the substance/mixture and of the company/undertaking

1.1 Product identifier

Trade name : P6000

1.2 Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against

Use of the Substance/Mixture : Curing chemical

Recommended restrictions on use : For use in industrial installations or professional treatment only.

1.3 Details of the supplier of the safety data sheet

Company	: Roberlo s.a. Ctra. Nacional II, Km. 706,5 17457 Riudellots de la Selva Spain	Imported by: Smits Group 59-65 Greenmount Drive East Tamaki, Auckland
Telephone	: +34972478060	ph +6492746871
Telefax	: +34972477394	fax +6492740991
E-mail address of person responsible for the SDS	: msds@roberlo.com	

1.4 Emergency telephone number

+34 972 478060 (8:00-12:45 / 14:15-17:30 h) ROBERLO (Spain) (GMT + 1:00)
NZ Poisons Centre 03 4747000 or 0800 764766 (24Hours)

SECTION 2: Hazards identification

2.1 Classification of the substance or mixture

Classification (REGULATION (EC) No 1272/2008)

Flammable liquids, Category 3	H226: Flammable liquid and vapour.
Acute toxicity, Category 4	H332: Harmful if inhaled.
Skin irritation, Category 2	H315: Causes skin irritation.
Eye irritation, Category 2	H319: Causes serious eye irritation.
Skin sensitisation, Category 1	H317: May cause an allergic skin reaction.
Specific target organ toxicity - single exposure, Category 3, Central nervous system	H336: May cause drowsiness or dizziness.



P6000

Version 2.1 Revision Date: 04.03.2019 SDS Number: H51231

Specific target organ toxicity - repeated exposure, Category 2 H373: May cause damage to organs through prolonged or repeated exposure if inhaled.

Aspiration hazard, Category 1 H304: May be fatal if swallowed and enters airways.

2.2 Label elements

Labelling (REGULATION (EC) No 1272/2008)

Hazard pictograms : 

Signal word : Danger

Hazard statements : H226 Flammable liquid and vapour.
H304 May be fatal if swallowed and enters airways.
H315 Causes skin irritation.
H317 May cause an allergic skin reaction.
H319 Causes serious eye irritation.
H332 Harmful if inhaled.
H336 May cause drowsiness or dizziness.
H373 May cause damage to organs through prolonged or repeated exposure if inhaled.

Precautionary statements : **Prevention:**
P210 Keep away from heat, hot surfaces, sparks, open flames and other ignition sources. No smoking.
P280 Wear protective gloves/ protective clothing/ eye protection/ face protection.
P260 Do not breathe vapours.
P260 Do not breathe spray.

Response:
P301 + P310 IF SWALLOWED: Immediately call a POISON CENTER/doctor.
P331 Do NOT induce vomiting.

Disposal:
P501 Dispose of contents/ container to an approved waste disposal plant.

Hazardous components which must be listed on the label:

HDI oligomers, isocyanurate
n-butyl acetate
xylene (mixture of isomers)
ethylbenzene

Additional Labelling

EUH204 Contains isocyanates. May produce an allergic reaction.



P6000

Version
2.1

Revision Date:
04.03.2019

SDS Number:
H51231

2.3 Other hazards

This substance/mixture contains no components considered to be either persistent, bioaccumulative and toxic (PBT), or very persistent and very bioaccumulative (vPvB) at levels of 0.1% or higher.

SECTION 3: Composition/information on ingredients

3.2 Mixtures

Chemical nature : Paint

Hazardous components

Chemical name	CAS-No. EC-No. Index-No. Registration number	Classification	Concentration (% w/w)
HDI oligomers, isocyanurate	28182-81-2 500-060-2 01-2119485796-17	Acute Tox. 4; H332 Skin Sens. 1; H317 STOT SE 3; H335	>= 30 - < 50
n-butyl acetate	123-86-4 204-658-1 607-025-00-1 01-2119485493-29	Flam. Liq. 3; H226 STOT SE 3; H336 EUH066	>= 30 - < 50
xylene (mixture of isomers)	1330-20-7 215-535-7 601-022-00-9 01-2119488216-32	Flam. Liq. 3; H226 Acute Tox. 4; H332 Acute Tox. 4; H312 Skin Irrit. 2; H315 Eye Irrit. 2; H319 STOT SE 3; H335 STOT RE 2; H373 Asp. Tox. 1; H304	>= 10 - < 20
ethylbenzene	100-41-4 202-849-4 601-023-00-4 01-2119489370-35	Flam. Liq. 2; H225 Acute Tox. 4; H332 STOT RE 2; H373 Asp. Tox. 1; H304 Aquatic Chronic 3; H412	>= 2.5 - < 10
Solvent naphtha (petroleum), light arom.	64742-95-6 265-199-0 649-356-00-4	Flam. Liq. 3; H226 STOT SE 3; H335 STOT SE 3; H336 Asp. Tox. 1; H304 Aquatic Chronic 2; H411	>= 1 - < 2,5

For explanation of abbreviations see section 16.

SECTION 4: First aid measures

4.1 Description of first aid measures

General advice : Move out of dangerous area.
Show this safety data sheet to the doctor in attendance.
Symptoms of poisoning may appear several hours later.

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006



P6000

Version
2.1

Revision Date:
04.03.2019

SDS Number:
H51231

- Do not leave the victim unattended.
- If inhaled : Consult a physician after significant exposure.
If unconscious, place in recovery position and seek medical advice.
- In case of skin contact : If skin irritation persists, call a physician.
If on skin, rinse well with water.
If on clothes, remove clothes.
- In case of eye contact : Flush eyes with water as a precaution.
Remove contact lenses.
Protect unharmed eye.
Keep eye wide open while rinsing.
If eye irritation persists, consult a specialist.
- If swallowed : Keep respiratory tract clear.
Do NOT induce vomiting.
Do not give milk or alcoholic beverages.
Never give anything by mouth to an unconscious person.
If symptoms persist, call a physician.
Take victim immediately to hospital.

4.2 Most important symptoms and effects, both acute and delayed

- Symptoms : Inhalation may provoke the following symptoms:
Headache
Vertigo
Fatigue
Skin contact may provoke the following symptoms:
Redness
Ingestion may provoke the following symptoms:
Abdominal pain
Vomiting
Diarrhoea

4.3 Indication of any immediate medical attention and special treatment needed

- Treatment : In case of ingestion, the stomach should be emptied by gastric lavage under qualified medical supervision.

SECTION 5: Firefighting measures

5.1 Extinguishing media

- Suitable extinguishing media : Alcohol-resistant foam
Carbon dioxide (CO₂)
Dry chemical
- Unsuitable extinguishing media : High volume water jet

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006



P6000

Version
2.1

Revision Date:
04.03.2019

SDS Number:
H51231

5.2 Special hazards arising from the substance or mixture

- Specific hazards during firefighting : Do not allow run-off from fire fighting to enter drains or water courses.
- Hazardous combustion products : No hazardous combustion products are known

5.3 Advice for firefighters

- Special protective equipment for firefighters : In the event of fire, wear self-contained breathing apparatus.
- Further information : Collect contaminated fire extinguishing water separately. This must not be discharged into drains. Fire residues and contaminated fire extinguishing water must be disposed of in accordance with local regulations. For safety reasons in case of fire, cans should be stored separately in closed containments. Use a water spray to cool fully closed containers.
-

SECTION 6: Accidental release measures

6.1 Personal precautions, protective equipment and emergency procedures

- Personal precautions : Use personal protective equipment. Ensure adequate ventilation. Remove all sources of ignition. Evacuate personnel to safe areas. Beware of vapours accumulating to form explosive concentrations. Vapours can accumulate in low areas.

6.2 Environmental precautions

- Environmental precautions : Prevent product from entering drains. Prevent further leakage or spillage if safe to do so. If the product contaminates rivers and lakes or drains inform respective authorities.

6.3 Methods and material for containment and cleaning up

- Methods for cleaning up : Contain spillage, and then collect with non-combustible absorbent material, (e.g. sand, earth, diatomaceous earth, vermiculite) and place in container for disposal according to local / national regulations (see section 13).

6.4 Reference to other sections

For contact information in case of emergency, see section 1. For information on safe handling, see section 7. For exposure controls and personal protection measures, see section 8. For subsequent waste disposal, follow the recommendations in section 13.

SECTION 7: Handling and storage

7.1 Precautions for safe handling

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006



P6000

Version
2.1

Revision Date:
04.03.2019

SDS Number:
H51231

- Advice on safe handling : Avoid formation of aerosol.
Do not breathe vapours/dust.
Avoid exposure - obtain special instructions before use.
Avoid contact with skin and eyes.
For personal protection see section 8.
Smoking, eating and drinking should be prohibited in the application area.
Take precautionary measures against static discharges.
Provide sufficient air exchange and/or exhaust in work rooms.
Open drum carefully as content may be under pressure.
Dispose of rinse water in accordance with local and national regulations.
Persons susceptible to skin sensitisation problems or asthma, allergies, chronic or recurrent respiratory disease should not be employed in any process in which this mixture is being used.
- Advice on protection against fire and explosion : Do not spray on a naked flame or any incandescent material.
Take necessary action to avoid static electricity discharge (which might cause ignition of organic vapours). Keep away from open flames, hot surfaces and sources of ignition.
- Hygiene measures : When using do not eat or drink. When using do not smoke.
Wash hands before breaks and at the end of workday.

7.2 Conditions for safe storage, including any incompatibilities

- Requirements for storage areas and containers : No smoking. Keep container tightly closed in a dry and well-ventilated place. Containers which are opened must be carefully resealed and kept upright to prevent leakage. Observe label precautions. Electrical installations / working materials must comply with the technological safety standards.
- Storage period : 12 Months
- Further information on storage stability : No decomposition if stored and applied as directed.

7.3 Specific end use(s)

- Specific use(s) : For the use of this product do not exist particular recommendations apart from that already indicated.

SECTION 8: Exposure controls/personal protection

8.1 Control parameters

Occupational Exposure Limits

Components	CAS-No.	Value type (Form of exposure)	Control parameters	Basis
HDI oligomers, isocyanurate	28182-81-2	TWA	0.02 mg/m ³ (as -NCO)	GB EH40

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006



P6000

Version
2.1

Revision Date:
04.03.2019

SDS Number:
H51231

Further information	<p>Substances that can cause occupational asthma (also known as asthmagens and respiratory sensitisers) can induce a state of specific airway hyper-responsiveness via an immunological, irritant or other mechanism. Once the airways have become hyper-responsive, further exposure to the substance, sometimes even to tiny quantities, may cause respiratory symptoms. These symptoms can range in severity from a runny nose to asthma. Not all workers who are exposed to a sensitiser will become hyper-responsive and it is impossible to identify in advance those who are likely to become hyper-responsive. 54 Substances that can cause occupational asthma should be distinguished from substances which may trigger the symptoms of asthma in people with pre-existing airway hyper-responsiveness, but which do not include the disease themselves. The latter substances are not classified asthmagens or respiratory sensitisers., Wherever it is reasonably practicable, exposure to substances that can cause occupational asthma should be prevented. Where this is not possible, the primary aim is to apply adequate standards of control to prevent workers from becoming hyper-responsive. For substances that can cause occupational asthma, COSHH requires that exposure be reduced as low as is reasonably practicable. Activities giving rise to short-term peak concentrations should receive particular attention when risk management is being considered. Health surveillance is appropriate for all employees exposed or liable to be exposed to a substance which may cause occupational asthma and there should be appropriate consultation with an occupational health professional over the degree of risk and level of surveillance., Capable of causing occupational asthma. The identified substances are those which: - are assigned the risk phrase 'R42: May cause sensitisation by inhalation'; or 'R42/43: May cause sensitisation by inhalation and skin contact' or - are listed in section C of HSE publication 'Asthmagen? Critical assessments of the evidence for agents implicated in occupational asthma' as updated from time to time, or any other substance which the risk assessment has shown to be a potential cause of occupational asthma., The 'Sen' notation in the list of WELs has been assigned only to those substances which may cause occupational asthma.</p>		
	STEL	0.07 mg/m3 (as -NCO)	GB EH40
Further information	<p>Substances that can cause occupational asthma (also known as asthmagens and respiratory sensitisers) can induce a state of specific airway hyper-responsiveness via an immunological, irritant or other mechanism. Once the airways have become hyper-responsive, further exposure to the substance, sometimes even to tiny quantities, may cause respiratory symptoms. These symptoms can range in severity from a runny nose to asthma. Not all workers who are exposed to a sensitiser will become hyper-responsive and it is impossible to identify in advance those who are likely to become hyper-responsive. 54 Substances that can cause occupational asthma should be distinguished from substances which may trigger the symptoms of asthma in people with pre-existing airway hyper-responsiveness, but which do not include the disease themselves. The latter substances are not classified asthmagens or respiratory sensitisers., Wherever it is reasonably practicable, exposure to substances that can cause occupational asthma should be prevented. Where this is not possible, the primary aim is to apply adequate standards of control to prevent workers from becoming hyper-responsive. For substances that can cause occupational asthma, COSHH requires that exposure be reduced as low as is reasonably practicable. Activities giving rise to short-term peak concentrations should receive particular attention when risk management is being considered. Health surveillance is appropriate for all</p>		

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006



P6000

Version
2.1

Revision Date:
04.03.2019

SDS Number:
H51231

	employees exposed or liable to be exposed to a substance which may cause occupational asthma and there should be appropriate consultation with an occupational health professional over the degree of risk and level of surveillance., Capable of causing occupational asthma. The identified substances are those which: - are assigned the risk phrase 'R42: May cause sensitisation by inhalation'; or 'R42/43: May cause sensitisation by inhalation and skin contact' or - are listed in section C of HSE publication 'Asthmagen? Critical assessments of the evidence for agents implicated in occupational asthma' as updated from time to time, or any other substance which the risk assessment has shown to be a potential cause of occupational asthma., The 'Sen' notation in the list of WELs has been assigned only to those substances which may cause occupational asthma.			
n-butyl acetate	123-86-4	TWA	150 ppm 724 mg/m3	GB EH40
		STEL	200 ppm 966 mg/m3	GB EH40
xylene (mixture of isomers)	1330-20-7	TWA	50 ppm 220 mg/m3	GB EH40
Further information	Can be absorbed through skin. The assigned substances are those for which there are concerns that dermal absorption will lead to systemic toxicity.			
		STEL	100 ppm 441 mg/m3	GB EH40
Further information	Can be absorbed through skin. The assigned substances are those for which there are concerns that dermal absorption will lead to systemic toxicity.			
		TWA	50 ppm 221 mg/m3	2000/39/EC
Further information	Identifies the possibility of significant uptake through the skin, Indicative			
		STEL	100 ppm 442 mg/m3	2000/39/EC
Further information	Identifies the possibility of significant uptake through the skin, Indicative			
ethylbenzene	100-41-4	TWA	100 ppm 442 mg/m3	2000/39/EC
Further information	Identifies the possibility of significant uptake through the skin, Indicative			
		STEL	200 ppm 884 mg/m3	2000/39/EC
Further information	Identifies the possibility of significant uptake through the skin, Indicative			
		TWA	100 ppm 441 mg/m3	GB EH40
Further information	Can be absorbed through skin. The assigned substances are those for which there are concerns that dermal absorption will lead to systemic toxicity.			
		STEL	125 ppm 552 mg/m3	GB EH40
Further information	Can be absorbed through skin. The assigned substances are those for which there are concerns that dermal absorption will lead to systemic toxicity.			

Biological occupational exposure limits

Substance name	CAS-No.	Control parameters	Sampling time	Basis
HDI oligomers, isocyanurate	28182-81-2	urinary diamine: 1 µmol/mol creatinine (Urine)	Post task	GB EH40 BAT

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006



P6000

Version
2.1

Revision Date:
04.03.2019

SDS Number:
H51231

Derived No Effect Level (DNEL) according to Regulation (EC) No. 1907/2006:

Substance name	End Use	Exposure routes	Potential health effects	Value
n-butyl acetate	Workers	Inhalation	Long-term systemic effects	480 mg/m ³
xylene	Workers	Inhalation	Long-term systemic effects	77 mg/m ³
ethylbenzene	Workers	Inhalation	Long-term systemic effects	77 mg/m ³
Low boiling point naphtha - unspecified	Workers	Inhalation	Long-term systemic effects	608 mg/m ³

8.2 Exposure controls

Personal protective equipment

- Eye protection : Eye wash bottle with pure water
Tightly fitting safety goggles
- Hand protection
Material : Solvent-resistant gloves
- Skin and body protection : Impervious clothing
Choose body protection according to the amount and concentration of the dangerous substance at the work place.
- Respiratory protection : In the case of vapour formation use a respirator with an approved filter.

SECTION 9: Physical and chemical properties

9.1 Information on basic physical and chemical properties

- Appearance : liquid
- Colour : colourless
- Odour : characteristic
- pH : Not applicable
- Melting point/range : not determined
- Boiling point/boiling range : not determined
- Flash point : 28 °C
Method: ISO 1523, closed cup
Setaflash
- Upper explosion limit / Upper flammability limit : not determined
- Lower explosion limit / Lower : not determined

SAFETY DATA SHEET
according to Regulation (EC) No. 1907/2006



P6000

Version 2.1 Revision Date: 04.03.2019 SDS Number: H51231

flammability limit
Vapour pressure : not determined
Density : 0,970 g/cm³ (20 °C)
 Method: ISO 2811-1
Solubility(ies)
 Water solubility : immiscible
Viscosity
 Viscosity, dynamic : 20 mPa.s (20 °C)
 Method: ISO 2555
 Viscosity, kinematic : < 20.5 mm²/s (40 °C)

9.2 Other information
No data available

SECTION 10: Stability and reactivity

10.1 Reactivity

No decomposition if stored and applied as directed.

10.2 Chemical stability

No decomposition if stored and applied as directed.

10.3 Possibility of hazardous reactions

Hazardous reactions : No decomposition if stored and applied as directed.
 Vapours may form explosive mixture with air.

10.4 Conditions to avoid

Conditions to avoid : Heat, flames and sparks.

10.5 Incompatible materials

Materials to avoid : Oxidizing agents
 Strong acids and strong bases

10.6 Hazardous decomposition products

No data available

SECTION 11: Toxicological information

11.1 Information on toxicological effects

Acute toxicity

Product:

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006



P6000

Version
2.1

Revision Date:
04.03.2019

SDS Number:
H51231

- Acute inhalation toxicity : Acute toxicity estimate: 18,03 mg/l
Exposure time: 4 h
Test atmosphere: vapour
Method: Calculation method
- Acute dermal toxicity : Acute toxicity estimate: > 2,000 mg/kg
Method: Calculation method

Components:

HDI oligomers, isocyanurate:

- Acute oral toxicity : LD50 Oral (Rat): > 2,000 mg/kg
Method: OECD Test Guideline 401
- Acute inhalation toxicity : LC50 (Rat): > 0,543 mg/l
Exposure time: 4 h
Method: OECD Test Guideline 403
- Acute dermal toxicity : LD50 (Rat): > 2,000 mg/kg
Method: OECD Test Guideline 402

n-butyl acetate:

- Acute oral toxicity : LD50 Oral (Rat): 10,768 mg/kg
Method: OECD Test Guideline 401
- Acute inhalation toxicity : LC50 (Rat): 23,4 mg/l
Exposure time: 4 h
Test atmosphere: vapour
Method: OECD Test Guideline 403
- Acute dermal toxicity : LD50 (Rabbit): 17,600 mg/kg
Method: OECD Test Guideline 402

xylene (mixture of isomers):

- Acute oral toxicity : LD50 Oral (Rat): 4,300 mg/kg
Method: OECD Test Guideline 401
- Acute inhalation toxicity : LC50 (Rat): 22,08 mg/l
Exposure time: 4 h
Test atmosphere: vapour
Method: OECD Test Guideline 403
- Acute dermal toxicity : Acute toxicity estimate: 1,100 mg/kg
Method: Converted acute toxicity point estimate

ethylbenzene:

- Acute oral toxicity : LD50 Oral (Rat): 3,500 mg/kg
Method: OECD Test Guideline 401
- Acute inhalation toxicity : LC50 (Rat): 17,4 mg/l
Exposure time: 4 h

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006



P6000

Version
2.1

Revision Date:
04.03.2019

SDS Number:
H51231

Test atmosphere: gas
Method: OECD Test Guideline 403

Acute dermal toxicity : LD50 (Rabbit): 15,400 mg/kg
Method: OECD Test Guideline 402

Solvent naphtha (petroleum), light arom.:

Acute oral toxicity : LD50 Oral (Rat): 3,592 mg/kg
Method: OECD Test Guideline 401

Acute inhalation toxicity : LC50 (Rat): > 20 mg/l
Exposure time: 4 h
Test atmosphere: vapour

Acute dermal toxicity : LD50 (Rabbit): 3,160 mg/kg
Method: OECD Test Guideline 402

Skin corrosion/irritation

Product:

Result: Skin irritation

Serious eye damage/eye irritation

Product:

Remarks: Severe eye irritation

Respiratory or skin sensitisation

Product:

Result: May cause sensitisation by skin contact.

Germ cell mutagenicity

Product:

Germ cell mutagenicity-
Assessment : Based on available data, the classification criteria are not met.

Carcinogenicity

Product:

Carcinogenicity -
Assessment : Based on available data, the classification criteria are not met.

Reproductive toxicity

Product:

Reproductive toxicity -
Assessment : Based on available data, the classification criteria are not met.

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006



P6000

Version
2.1

Revision Date:
04.03.2019

SDS Number:
H51231

STOT - single exposure

Product:

Exposure routes: Inhalation

Target Organs: Central nervous system

Assessment: The substance or mixture is classified as specific target organ toxicant, single exposure, category 3 with narcotic effects.

STOT - repeated exposure

Product:

Assessment: The substance or mixture is classified as specific target organ toxicant, repeated exposure, category 2.

Aspiration toxicity

Product:

May be fatal if swallowed and enters airways.

Further information

Product:

Remarks: Based on available data, the classification criteria are not met.

SECTION 12: Ecological information

12.1 Toxicity

Components:

HDI oligomers, isocyanurate:

Toxicity to algae : EC50 (Algae): 370 mg/l
Exposure time: 72 h
Method: OECD Test Guideline 201

n-butyl acetate:

Toxicity to fish : LC50 (Fish): 18 mg/l
Exposure time: 96 h
Method: OECD Test Guideline 203

Toxicity to daphnia and other aquatic invertebrates : EC50 (Daphnia (water flea)): 32 mg/l
Exposure time: 48 h
Method: OECD Test Guideline 202

Toxicity to algae : EC50 (Algae): 675 mg/l
Exposure time: 72 h
Method: OECD Test Guideline 201

xylene (mixture of isomers):

Toxicity to fish : LC50 (Fish): 14 mg/l

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006



P6000

Version
2.1

Revision Date:
04.03.2019

SDS Number:
H51231

Exposure time: 96 h
Method: OECD Test Guideline 203

Toxicity to daphnia and other aquatic invertebrates : EC50 (Daphnia (water flea)): 16 mg/l
Exposure time: 48 h
Method: OECD Test Guideline 202

Toxicity to algae : EC50 (Algae): > 10 mg/l
Exposure time: 72 h
Method: OECD Test Guideline 201

ethylbenzene:

Toxicity to fish : LC50 (Fish): 12 mg/l
Exposure time: 96 h
Method: OECD Test Guideline 203

Toxicity to daphnia and other aquatic invertebrates : EC50 (Daphnia (water flea)): 1.8 mg/l
Exposure time: 48 h
Method: OECD Test Guideline 202

Toxicity to algae : EC50 (Algae): 33 mg/l
Exposure time: 72 h
Method: OECD Test Guideline 201

Solvent naphtha (petroleum), light arom.:

Toxicity to fish : LC50 (Fish): 9.2 mg/l
Exposure time: 96 h
Method: OECD Test Guideline 203

Toxicity to daphnia and other aquatic invertebrates : EC50 (Daphnia (water flea)): 3.2 mg/l
Exposure time: 48 h
Method: OECD Test Guideline 202

Toxicity to algae : EC50 (Algae): 2.9 mg/l
Exposure time: 72 h
Method: OECD Test Guideline 201

12.2 Persistence and degradability

Product:

Biodegradability : Remarks: No data available

12.3 Bioaccumulative potential

Product:

Bioaccumulation : Remarks: No data available

12.4 Mobility in soil

Product:

Stability in soil : Remarks: No data available

SAFETY DATA SHEET
according to Regulation (EC) No. 1907/2006



P6000

Version 2.1 Revision Date: 04.03.2019 SDS Number: H51231

12.5 Results of PBT and vPvB assessment

Product:

Assessment : This substance/mixture contains no components considered to be either persistent, bioaccumulative and toxic (PBT), or very persistent and very bioaccumulative (vPvB) at levels of 0.1% or higher..

12.6 Other adverse effects

Product:

Additional ecological information : There is no data available for this product.

SECTION 13: Disposal considerations

13.1 Waste treatment methods

Product : The product should not be allowed to enter drains, water courses or the soil.
Do not contaminate ponds, waterways or ditches with chemical or used container.
Send to a licensed waste management company.

Contaminated packaging : Empty remaining contents.
Dispose of as unused product.
Do not re-use empty containers.
Do not burn, or use a cutting torch on, the empty drum.

SECTION 14: Transport information

14.1 UN number

IMDG : UN 1263
IATA (Cargo) : UN 1263

14.2 UN proper shipping name

ADR : PAINT RELATED MATERIAL
IMDG : PAINT RELATED MATERIAL
IATA (Cargo) : Paint related material

14.3 Transport hazard class(es)

ADR : 3
IMDG : 3
IATA (Cargo) : 3

14.4 Packing group

SAFETY DATA SHEET
according to Regulation (EC) No. 1907/2006



P6000

Version 2.1 Revision Date: 04.03.2019 SDS Number: H51231

ADR
Packing group : III
Classification Code : F1
Hazard Identification Number : 30
Labels : 3

IMDG
Packing group : III
Labels : 3
EmS Code : F-E, S-E

IATA (Cargo)
Packing instruction (cargo aircraft) : 366
Packing instruction (LQ) : Y344
Packing group : III
Labels : Flammable Liquids

14.5 Environmental hazards

ADR
Environmentally hazardous : no

IMDG
Marine pollutant : no

14.6 Special precautions for user

Not applicable

14.7 Transport in bulk according to Annex II of Marpol and the IBC Code

Not applicable for product as supplied.

SECTION 15: Regulatory information

15.1 Safety, health and environmental regulations/legislation specific for the substance or mixture

Seveso III: Directive 2012/18/EU of the European Parliament and of the Council on the control of major-accident hazards involving dangerous substances.

		Quantity 1	Quantity 2
P5c	FLAMMABLE LIQUIDS	5,000 t	50,000 t
34	Petroleum products: (a) gasolines and naphthas, (b) kerosenes (including jet fuels), (c) gas oils (including diesel fuels, home heating oils and gas oil blending streams),(d) heavy fuel oils (e) alternative fuels serving the same purposes and with similar properties as regards flammability and environmental hazards as the products referred to in	2,500 t	25,000 t

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006



P6000

Version
2.1

Revision Date:
04.03.2019

SDS Number:
H51231

points (a) to (d)

Other regulations:

The product is classified and labelled in accordance with EC directives or respective national laws.

HSNO Classification: 3.1C, 6.1D, 6.3A, 6.4A, 6.5B, 6.9B, 6.1E

Surface Coatings and Colourants (Flammable) Group Standard 2017 HSR002662

15.2 Chemical safety assessment

The supplier has not carried out evaluation of chemical safety.

SECTION 16: Other information

Full text of H-Statements

EUH066	: Repeated exposure may cause skin dryness or cracking.
H225	: Highly flammable liquid and vapour.
H226	: Flammable liquid and vapour.
H304	: May be fatal if swallowed and enters airways.
H312	: Harmful in contact with skin.
H315	: Causes skin irritation.
H317	: May cause an allergic skin reaction.
H319	: Causes serious eye irritation.
H332	: Harmful if inhaled.
H335	: May cause respiratory irritation.
H336	: May cause drowsiness or dizziness.
H373	: May cause damage to organs through prolonged or repeated exposure.
H373	: May cause damage to organs through prolonged or repeated exposure if inhaled.
H411	: Toxic to aquatic life with long lasting effects.
H412	: Harmful to aquatic life with long lasting effects.

Full text of other abbreviations

Acute Tox.	: Acute toxicity
Aquatic Chronic	: Chronic aquatic toxicity
Asp. Tox.	: Aspiration hazard
Eye Irrit.	: Eye irritation
Flam. Liq.	: Flammable liquids
Skin Irrit.	: Skin irritation
Skin Sens.	: Skin sensitisation
STOT RE	: Specific target organ toxicity - repeated exposure
STOT SE	: Specific target organ toxicity - single exposure
2000/39/EC	: Europe, Commission Directive 2000/39/EC establishing a first list of indicative occupational exposure limit values
GB EH40	: UK, EH40 WEL - Workplace Exposure Limits
GB EH40 BAT	: UK, Biological monitoring guidance values
2000/39/EC / TWA	: Limit Value - eight hours
2000/39/EC / STEL	: Short term exposure limit
GB EH40 / TWA	: Long-term exposure limit (8-hour TWA reference period)
GB EH40 / STEL	: Short-term exposure limit (15-minute reference period)

ADN - European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Inland Waterways; ADR - European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road; AICS - Australian Inventory of Chemical Substances; ASTM - American Society for the Testing of Materials; bw - Body weight; CLP - Classification Labelling Packaging

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006



P6000

Version
2.1

Revision Date:
04.03.2019

SDS Number:
H51231

Regulation; Regulation (EC) No 1272/2008; CMR - Carcinogen, Mutagen or Reproductive Toxicant; DIN - Standard of the German Institute for Standardisation; DSL - Domestic Substances List (Canada); ECHA - European Chemicals Agency; EC-Number - European Community number; ECx - Concentration associated with x% response; ELx - Loading rate associated with x% response; EmS - Emergency Schedule; ENCS - Existing and New Chemical Substances (Japan); ErCx - Concentration associated with x% growth rate response; GHS - Globally Harmonized System; GLP - Good Laboratory Practice; IARC - International Agency for Research on Cancer; IATA - International Air Transport Association; IBC - International Code for the Construction and Equipment of Ships carrying Dangerous Chemicals in Bulk; IC50 - Half maximal inhibitory concentration; ICAO - International Civil Aviation Organization; IECSC - Inventory of Existing Chemical Substances in China; IMDG - International Maritime Dangerous Goods; IMO - International Maritime Organization; ISHL - Industrial Safety and Health Law (Japan); ISO - International Organisation for Standardization; KECI - Korea Existing Chemicals Inventory; LC50 - Lethal Concentration to 50 % of a test population; LD50 - Lethal Dose to 50% of a test population (Median Lethal Dose); MARPOL - International Convention for the Prevention of Pollution from Ships; n.o.s. - Not Otherwise Specified; NO(A)EC - No Observed (Adverse) Effect Concentration; NO(A)EL - No Observed (Adverse) Effect Level; NOELR - No Observable Effect Loading Rate; NZIoC - New Zealand Inventory of Chemicals; OECD - Organization for Economic Co-operation and Development; OPPTS - Office of Chemical Safety and Pollution Prevention; PBT - Persistent, Bioaccumulative and Toxic substance; PICCS - Philippines Inventory of Chemicals and Chemical Substances; (Q)SAR - (Quantitative) Structure Activity Relationship; REACH - Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals; RID - Regulations concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Rail; SADT - Self-Accelerating Decomposition Temperature; SDS - Safety Data Sheet; TCSI - Taiwan Chemical Substance Inventory; TRGS - Technical Rule for Hazardous Substances; TSCA - Toxic Substances Control Act (United States); UN - United Nations; vPvB - Very Persistent and Very Bioaccumulative

Further information

Sources of key data used to : <http://echa.europa.eu>, <http://eur-lex.europa.eu>
compile the Safety Data Sheet

Date Reviewed 16-8-2019

New Zealand HSNO and distributor information updated

Classification of the mixture:

Flam. Liq. 3	H226
Acute Tox. 4	H332
Skin Irrit. 2	H315
Eye Irrit. 2	H319
Skin Sens. 1	H317
STOT SE 3	H336
STOT RE 2	H373
Asp. Tox. 1	H304

Classification procedure:

Based on product data or assessment
Calculation method
Calculation method
Calculation method
Calculation method
Based on product data or assessment
Calculation method
Based on product data or assessment

The information provided in this Safety Data Sheet is correct to the best of our knowledge, information and belief at the date of its publication. The information given is designed only as a guidance for safe handling, use, processing, storage, transportation, disposal and release and is not to be considered a warranty or quality specification. The information relates only to the specific material designated and may not be valid for such material used in combination with any other materials or in any process, unless specified in the text.

SAFETY DATA SHEET
according to Regulation (EC) No. 1907/2006



P6000

Version
2.1

Revision Date:
04.03.2019

SDS Number:
H51231

GB / EN

ANEXO VIII – FICHA TÉCNICA DO DESMOLDANTE



Release Agent Mikon® W-64+

page: 1 / 2
revision: 22.02.2017
author: JHE / sde
print: 22.02.2017

Description:

Release Agent Mikon® W-64+ is a water-based semi-permanent release agent enabling a straightforward processing of thermoset resins. Due to its well-balanced composition, Release Agent Mikon® W-64+ provides superior release properties and excellent adhesion to the mould's surface. Downstream processing, such as gluing or varnishing, is possible without the need for any further treatments since Release Agent Mikon® W-64+ does not transfer to the moulded parts. The product provides a high gloss surface finish. When Release Agent Mikon® W-64+ is used in production there is no need for any initial mould sealing. The release film is temperature stable up to 450°C (842°F).

Application Fields:

Release Agent Mikon® W-64+ is universally applicable on porous surfaces and releases all commonly used thermoset resins, such as polyester, epoxy and phenolic resins and PUR gelcoats. Especially if processing standards demand a high slip, Release Agent Mikon® W-64+ will be the perfect match.

Application:

Cleaning:

It is recommended to thoroughly clean and dry mould surfaces prior to the application of Release Agent Mikon® W-64+. Our Cleaner Mikon® R-52 will be sufficient. However, Release Agent Mikon® W-64+ is also suitable for touch-up coatings.

Base coat:

Green or freshly repaired moulds can directly be coated with Release Agent Mikon® W-64+. Any initial mould sealing is not required.

Apply Release Agent Mikon® W-64+ by wiping with a soaked, but not dripping, clean lint-free cloth. Commence by applying the release agent to a small surface area of approx. 1 m². After about 30-60 s, when the film is still moist, use a second dry cloth to absorb excess of Release Agent Mikon® W-64+ and proceed by wiping in circular motion until a clear and dry film emerges. In the case of occurring streaks or smears reduce the time before wiping off excess of release agent. We recommend beginning to wipe along the mould's outer border, approaching the inside. This procedure is repeated with the adjacent areas until all parts of the mould are evenly coated. In order to obtain a smooth and homogenous base coat, 2-3 layers of Release Agent Mikon® W-64+ have to be applied. Allow each layer to cure for about 10 min. After the final layer has been applied, Release Agent Mikon® W-64+ should be allowed to cure for about 15-30 min at 60 °C.

Mould touch-up:

Good conditioning of the mould will be achieved if the release agent film is refreshed 2-4 demoulding cycles after the initial base coating process. Since the release film wears during production touch-up coatings should be applied frequently. Release Agent Mikon® W-64+ has been designed to incorporate and chemically bond touch-up layers of itself. Hence, curing time after touch-up reduces to approx. 15 min at room temperature. The required frequency of touch-ups for sufficient release depends on mould configuration and abrasion parameters and must be determined in individual on-site trials. We highly recommend to apply the touch-up prior to an observed decrease in release efficiency. This will significantly reduce mould fouling due to build-ups and lead to extended mould service lives while ensuring a constant high quality of the moulded parts.

Release Agent Mikon® W-64+ can also be touched-up partially, refreshing the release agent film only on those mould areas experiencing higher wear. Touch-up of the complete mould is preferred, though.

Regulatory information on safety and transportation is provided in the material safety data sheet.

Technical product information and data is based on the best information available and does not constitute or imply a warranty or patent infringement of any kind. The user is responsible for testing product suitability prior to product use in production. The data mentioned above do not constitute viable parts of a specification, for which further, separate agreements are necessary.



Viernheimer Str. 70-76
D-69469 Weinheim
Postfach 10 07 29
D-69447 Weinheim

Geschäftsführer: Wilhelm Münch, Michael Münch
Amtsgericht Mannheim HRB 431102

Tel +49 (0)6201/99 83-0
Fax +49 (0)6201/99 83-66
info@muench-chemie.com
www.muench-chemie.com

USt.-IDNr. DE 144497299
Steuer-Nr. 47020/10015

Bankverbindungen Weinheim:

Deutsche Bank AG
BLZ 670 700 24
Kto. 586 896 300
Swift Code/BIC: DEUT DE DB 670
IBAN: DE84 6707 0024 0586 8963 00

Volksbank eG
BLZ 670 923 00
Kto. 1 078 801
Swift Code/BIC: GENO DE 61 WNN
IBAN: DE40 6709 2300 0001 0788 01

Partial release film repairs:

Occasionally, a partial, drastic decrease in release performance might occur, requiring partial repair of the coating. In order to do so, the worn release film has to be removed completely 10 cm around the affected area with the help of soft abrasion, accompanied by wiping with solvent. Make sure that the mould's surface is thoroughly cleaned prior to application of a fresh base coat in the respective area in order to guarantee sufficient adhesion of the compensating layer to the mould.

Grounding is done as described above (Base coat). Even release of the moulded parts will be maintained if the repaired area is touched-up after each release for the first 4-6 demoulding cycles after the repair.

Technical Data	
Composition:	aqueous emulsion of synthetic resins
Appearance:	cream-coloured liquid
Density [g/cm³]:	approx. 1
pH-value (20°C):	approx. 4

Packaging:

Can 5 kg

Storage:

This product should be stored in tightly sealed containers and has to be protected from frost, heat and direct sunlight. If these rules are obeyed, the product can be stored for at least 12 months. The expiry date is stated beneath the production date on the labels of each container.

Regulatory information on safety and transportation is provided in the material safety data sheet.

Technical product information and data is based on the best information available and does not constitute or imply a warranty or patent infringement of any kind. The user is responsible for testing product suitability prior to product use in production. The data mentioned above do not constitute viable parts of a specification, for which further, separate agreements are necessary.



Viernheimer Str. 70-76
D-69469 Weinheim
Postfach 10 07 29
D-69447 Weinheim

Tel +49 (0)6201/99 83-0
Fax +49 (0)6201/99 83-56
info@muench-chemie.com
www.muench-chemie.com

Bankverbindungen Weinheim:

Deutsche Bank AG
BLZ 670 700 24
Kto. 586 896 300
Swift Code/BIC: DEUT DE DB 670
IBAN: DE84 6707 0024 0586 8963 00

Volksbank eG
BLZ 670 923 00
Kto. 1 078 801
Swift Code/BIC: GENO DE 61 WNM
IBAN: DE40 6709 2300 0001 0788 01

Geschäftsführer: Wilhelm Münch, Michael Münch
Amtsgericht Mannheim HRB 431102

USt.-IDNr. DE 144497299
Steuer-Nr. 47020/10016

ANEXO IX – FICHA TÉCNICA DA COLA EM SPRAY



ZI Haneboesch
L-4562 Differdange
LUXEMBOURG

Phone : +352 58 22 82 1
Fax : +352 58 49 35

E-mail : sales@airtech.lu
Website : www.airtech.lu

Data Sheet

AIRTAC 2E

Spray contact adhesive for temporary bonding

DESCRIPTION

Airtac 2E is a spray rubber adhesive designed for temporary bonds. Airtac 2E can be used on materials needing extra tack for placement on vertical or difficult surface areas. This product is ideally suited for tool shop applications such as temporary placement of details and pattern fabrication.

TECHNICAL DATA

Solvent characteristics

Non CFC

Shelf life

12 months from date of shipment when stored in original packaging at 22°C

SIZES

Packaging Type	Content Weight
12 cans per case	500 ml 349 g

APPLICATION

- Make sure spray distance to the part is minimum 30 cm.
- After spraying Airtac 2E, wait at least 15 seconds to give solvent the possibility to evaporate.
- Material safety data sheet should be read and understood prior to use this product.



Last updated : 2019-01-28

Catalogue position : Resin infusion products

As the conditions or methods of use, including storage, are beyond our control, Airtech Europe does not assume any responsibility for the performance of the material for any particular use. The material is sold "as is".
Airtech Europe disclaims, and buys waives, any and all implied warranties, including without limitation the implied warranties of merchantability and of fitness for particular use. The information contained herein represents typical properties and should not be used for specification purposes. This translation is provided for your convenience only. The official language is English and the official law is Luxembourg.

ANEXO X – FICHA TÉCNICA DA RESINA

Biresin® CR84 Composite resin system

Product Description

The Biresin® CR84 system is a lightly thickened epoxy resin system having a pot-life up-to 10 hours and a reduced tendency to drip or spray from reinforcing fibres during processing. The resin system can be fully cured at 80°C

Application Areas

Biresin® CR84 resin (A) with Biresin® CH84-20 hardener (B) is especially suited to the filament winding process due to its very long open time. It can also be used in hand lay-up where long working time and minimal resin run out is needed. Biresin® CR84 system can be used in the general industrial and marine composite areas.

Features / Advantages

- Long pot life enables winding of large structures in one pass
- Due to the very long potlife of the system the impregnation bath requires less filling and cleaning
- Thixotropic nature reduces dripping or spray from impregnated fibres, also reduces mess and waste.
- The system is Germanischer Lloyd approved. Certificate No. WP 1420018 HH (attached)
- Particularly good for applications where curing temperatures cannot be >75°C

Physical Data		Resin (A)	Hardener (B)
Individual Components		Biresin® CR84	Biresin® CH84-20
Mixing Ratio, parts by	Weight	100	30
Mixing Ratio, parts by	Volume	100	37
Colour		translucent	colourless to yellowish
Viscosity, 25°C	mPa.s	~4,450	<10
Density, 25°C	g/ml	1.15	0.94
		Mixture	
Potlife, 100 g / RT, approx. values	hr	10	
Mixed viscosity, 25°C, approx. values	mPa.s	575	

Processing

- The material and processing temperatures should be in the range 18 - 35°C.
- The mixing ratio must be followed accurately to obtain best results. Deviating from the correct mix ratio will lead to lower performance.
- The final mechanical and thermal values are dependent on the applied postcuring cycles.
- It is recommended to clean brushes or tools immediately after use with Sika Reinigungsmittel 5.
- Additional information is available in "Processing Instructions for Composite Resins".

Typical Thermal Properties of Fully Cured Neat Resin

Biresin® CR84 resin (A)		with Biresin® CH84-20 hardener (B)	
Heat distortion temperature	ISO 75A °C	79	
Glass transition temperature	ISO 11357 °C	81	

Postcuring

The suitable cure cycle and the attainable mechanical and thermal values depend on various factors, such as laminate thickness, fibre volume, reactivity of the resin system etc.

An appropriate cure cycle could look as follows:

- Heat-up rate of ca. 0.2°C/Minute until approx. 10°C below the required glass transition temperature (T_g)
- Followed by a dwell at that temperature of between 2 and 12 hours.
- Part(s) should then be cooled at ~0.5°C per minute

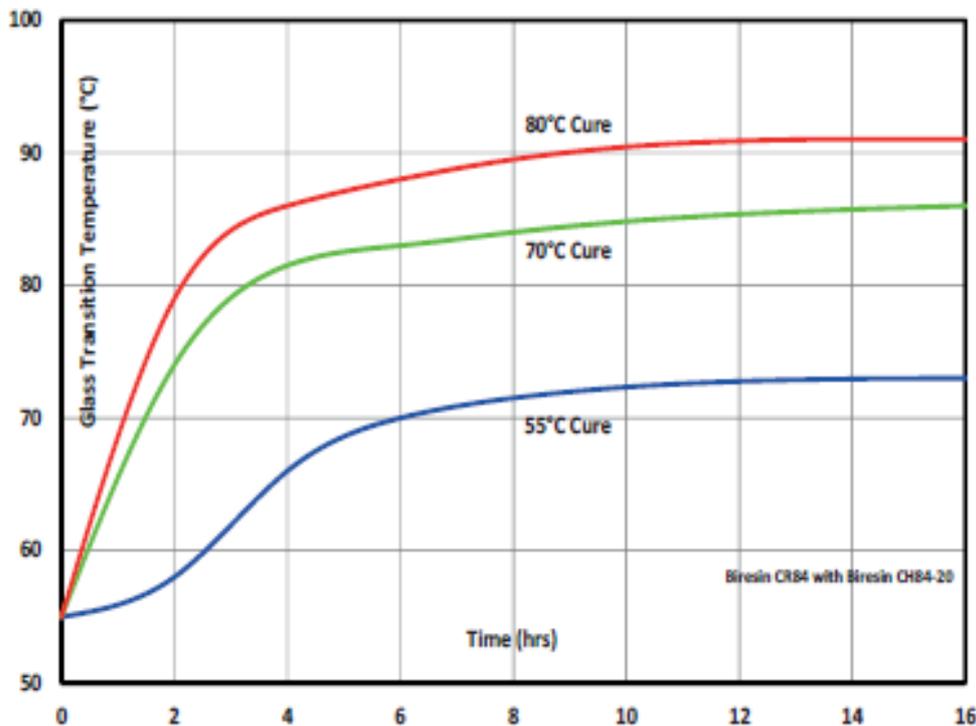
The specific postcure should be adapted to the required technical and economic requirements.

To measure the mechanical performance of the resin system a SikaAxson standard cycle is used to ensure that the full T_g potential of the system in question is reached.

Typical Mechanical Properties of Fully Cured Neat Resin

Biresin® CR84 resin (A)	with Biresin® CH84-20 hardener (B)		
Tensile strength	ISO 527	MPa	89
Tensile E-Modulus	ISO 527	MPa	3,550
Elongation at break	ISO 527	%	5.7
Flexural strength	ISO 178	MPa	124
Flexural E-Modulus	ISO 178	MPa	3,250
Compressive strength	ISO 604	MPa	104
Density	ISO 1183	g/cm ³	1.15
Shore hardness	ISO 868	-	D 85
Impact resistance	ISO 179	kJ/m ²	76

Glass Transition Temperature vs. Cure Cycle



The test specimens were produced from 3 mm thick pure resin. Before the above postcuring, the samples were cured for 7 days at 23°C. When curing a composite part, the whole of the part (including the very middle of the laminate) needs to see the cure temperature.

Packaging (net weight, kg)			
Biresin® CR84 resin (A)	1,000	200	10
Biresin® CH84-20 hardener (B)		180	3

Storage

- Minimum shelf life of Biresin® CR84 resin (A) is 24 month and of Biresin® CH84-20 hardener (B) is 12 month under room conditions (18 - 25°C), when stored in original unopened containers.
- After prolonged storage at low temperature, crystallisation of resin (A) may occur. This is easily removed by warming up for a sufficient time at a minimum of 60°C.
- Containers must be closed tightly immediately after use. The residual material needs to be used up as soon as possible.

Health and Safety Information

For information and advice on the safe handling, storage and disposal of chemical products, users shall refer to the most recent Safety Data Sheet (SDS) containing physical, ecological, toxicological and other safety related data.

Disposal considerations

Product Recommendations: Must be disposed of in a special waste disposal unit in accordance with the corresponding regulations.

Packaging Recommendations: Completely emptied packagings can be given for recycling. Packaging that cannot be cleaned should be disposed of as product waste.

Value Bases

All technical data stated in this Product Data Sheet are based on laboratory tests. Actual measured data may vary due to circumstances beyond our control.

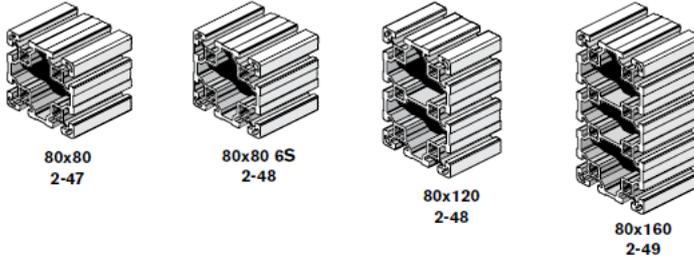
Legal Notice

The information, and, in particular, the recommendations relating to the application and end-use of Sika products, are given in good faith based on Sika's current knowledge and experience of the products when properly stored, handled and applied under normal conditions in accordance with Sika's recommendations. In practice, the differences in materials, substrates and actual site conditions are such that no warranty in respect of merchantability or of fitness for a particular purpose, nor any liability arising out of any legal relationship whatsoever, can be inferred either from this information, or from any written recommendations, or from any other advice offered. The user of the product must test the product's suitability for the intended application and purpose. Sika reserves the right to change the properties of its products. The proprietary rights of third parties must be observed. All orders are accepted subject to our current terms of sale and delivery. Users must always refer to the most recent issue of the local Product Data Sheet for the product concerned, copies of which will be supplied on request.

ANEXO XI – FICHA TÉCNICA DO PERFIL BOSCH 80X80

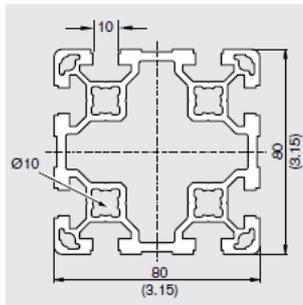
Section 2: Profiles

80-Series Profiles



2

80x80 ⁻¹⁰



Features:

- Ideal for heavy-duty applications where added strength and additional T-slots are a must
- Has 8 10mm T-slots

Non-Machined End Finish Options

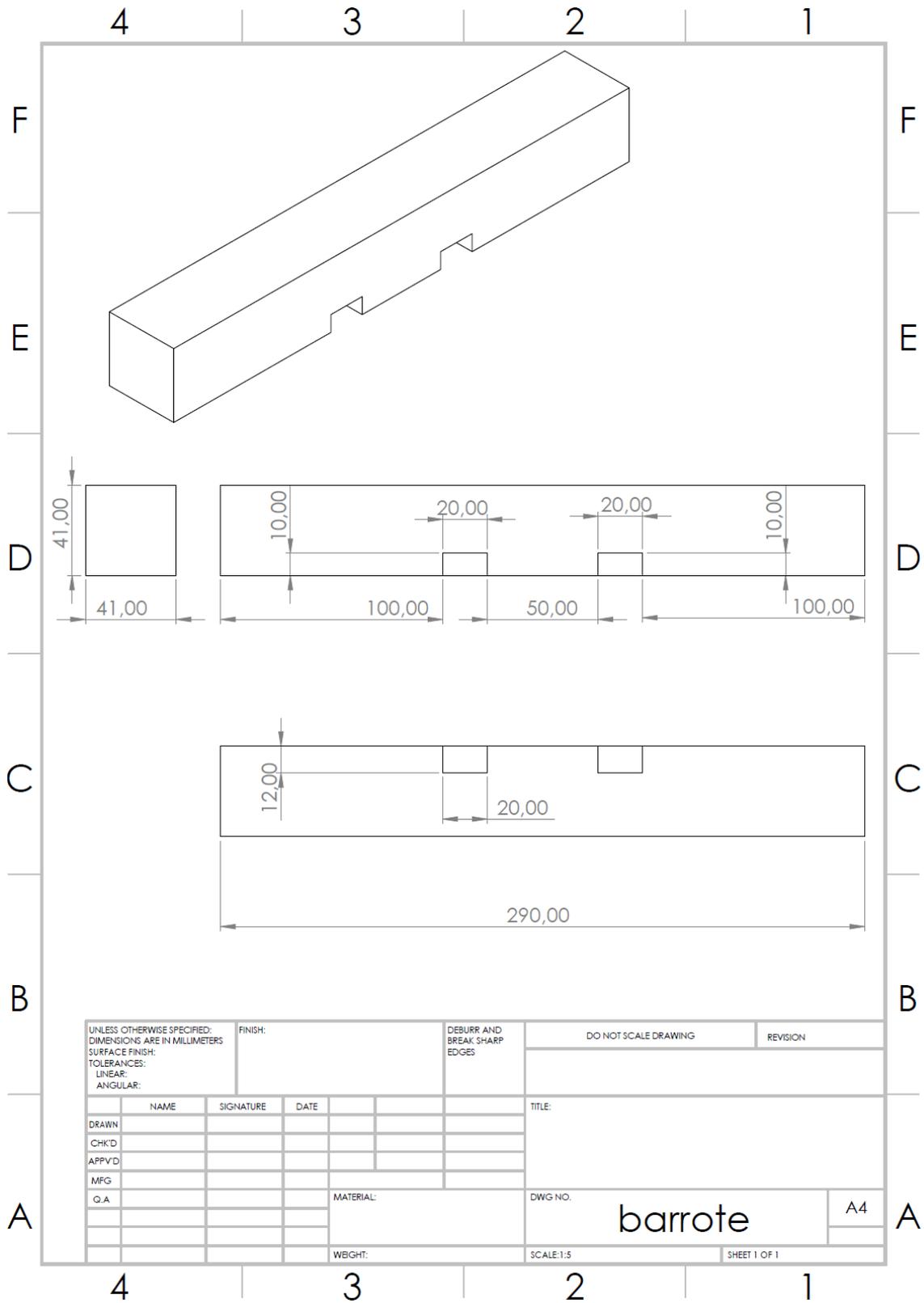
Non-Machined End Finish Options	Part Number
Profile 80x80, pkg. of 6, 6000mm long	3 842 529 347
Profile 80x80, single, 6000mm long	3 842 529 348

Machined Options

Machined Options	End Finish	Part Number
Profile 80x80, -/-, specify length $\geq 30\text{mm} \leq 6000\text{mm}$		3 842 993 133/ __mm
Profile 80x80, M12/-, specify length $\geq 55\text{mm} \leq 6000\text{mm}$		3 842 993 134/ __mm
Profile 80x80, D17/-, specify length $\geq 40\text{mm} \leq 6000\text{mm}$		3 842 993 149/ __mm
Profile 80x80, M12/M12, specify length $\geq 110\text{mm} \leq 6000\text{mm}$		3 842 993 147/ __mm
Profile 80x80, M12/D17, specify length $\geq 90\text{mm} \leq 6000\text{mm}$		3 842 993 148/ __mm
Profile 80x80, D17/D17, specify length $\geq 80\text{mm} \leq 6000\text{mm}$		3 842 993 150/ __mm
Profile 80x80, D17/D17VS, specify length $\geq 80\text{mm} \leq 6000\text{mm}$		3 842 993 151/ __mm

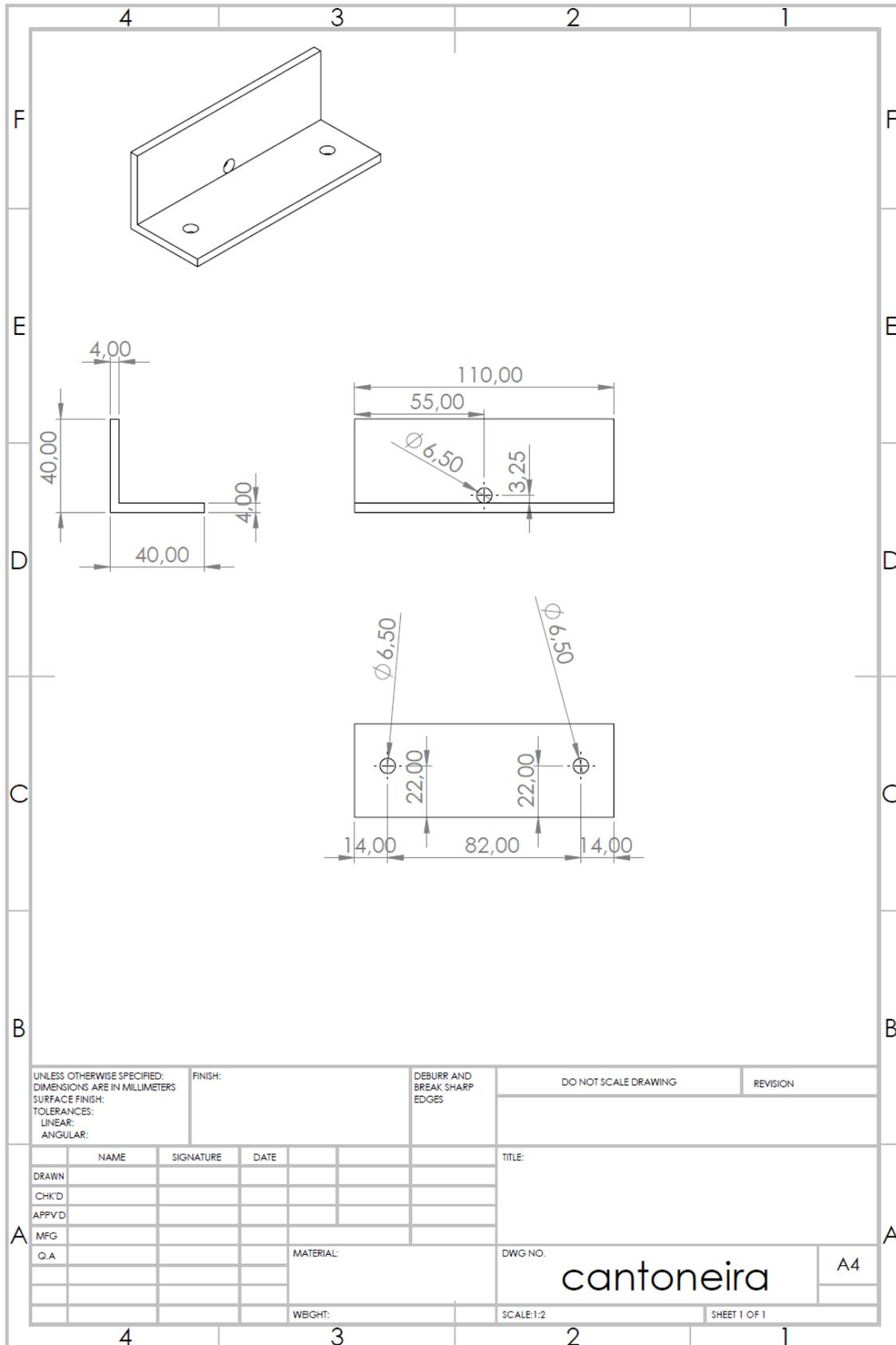
Please contact your distributor for other machining options.

ANEXO XII – DESENHO TÉCNICO DAS VIGAS DE MADEIRA

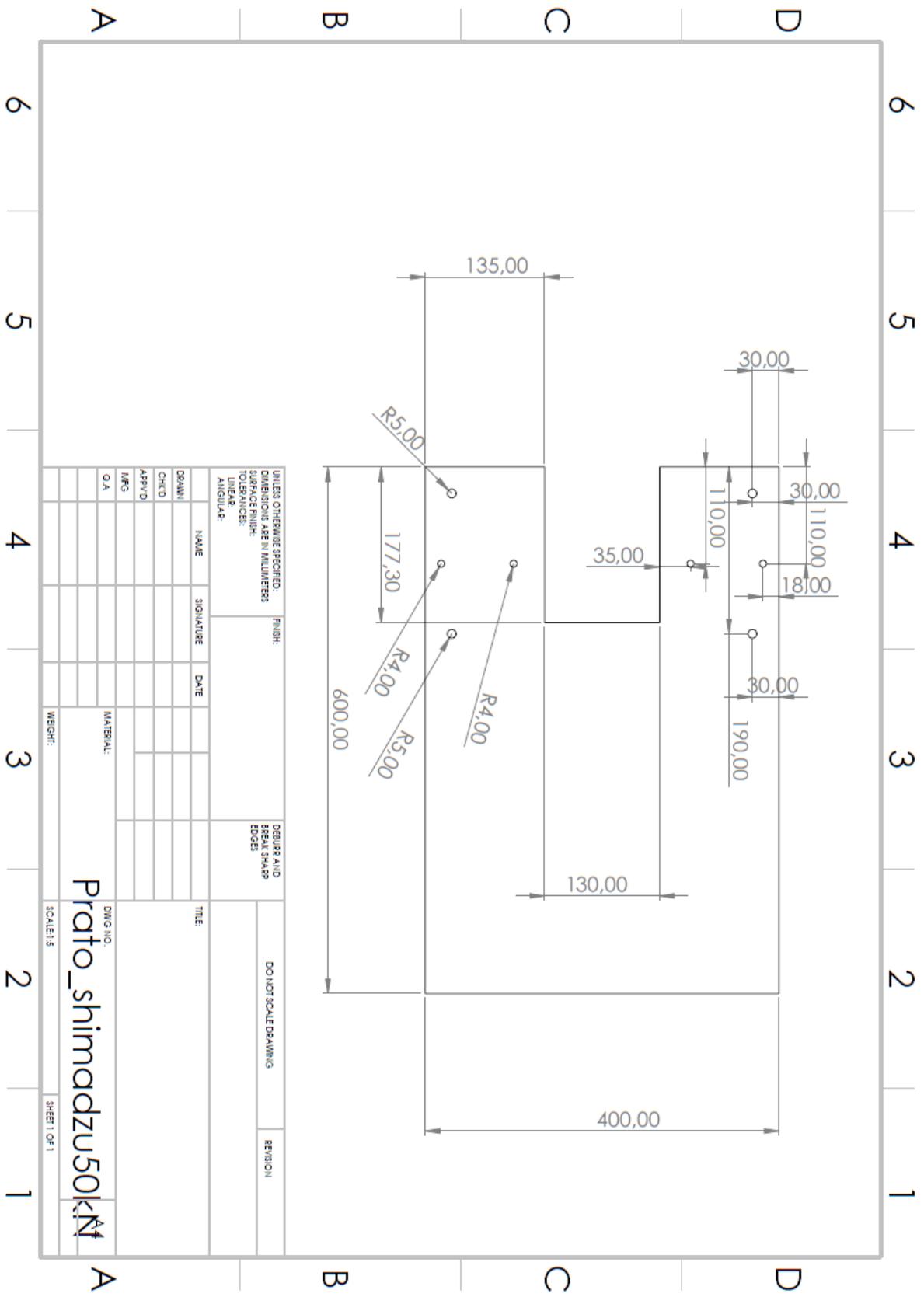


UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS				FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:											
TOLERANCES:											
LINEAR:											
ANGULAR:											
NAME		SIGNATURE		DATE		TITLE:					
DRAWN											
CHK'D											
APP'VD											
MFG											
Q.A						MATERIAL:		DWG. NO.		A4	
								barrote			
						WEIGHT:		SCALE:1:5		SHEET 1 OF 1	

ANEXO XIII – DESENHO TÉCNICO PERFIL CANTONEIRA



ANEXO XIV – DESENHO TÉCNICO PRATO SHIMADZO



ANEXO XV – LISTA DE ACESSÓRIOS UTILIZADOS NO PROCESSO DE INFUSÃO

Componentes/material	Função
Bomba de vácuo	Bomba de vácuo elétrica capaz de uma pressão de vácuo muito alta (99,98% de vácuo). Esta bomba cria a pressão de vácuo que extrai todo o ar para fora do saco de vácuo e mantém esta pressão de vácuo ao longo do ciclo de cura da peça em material compósito.
<i>Resin trap</i>	Fica entre o material compósito e a bomba de vácuo e evita que o excesso de resina do material compósito seja puxado pelo tubo de vácuo para dentro da bomba.
Manómetro de vácuo	O indicador de vácuo mostra o nível de vácuo no sistema e é importante na deteção de fugas no saco de vácuo. A infusão nunca deve ser iniciada até que todo o sistema mantenha o vácuo total (pelo menos 10mbar no manómetro).
Grampo	É usado para apertar o tubo, cortando o fluxo ou a resina proveniente do recipiente de resina em direção ao compósito ensacado.
Mangueira de vácuo	Conecta a bomba de vácuo, o recipiente intermédio (resin trap) e o recipiente de resina ao compósito ensacado.
Filme próprio para ensacamento a vácuo.	Este filme é usado para criar o saco de vácuo externo a partir da qual o ar é evacuado pela bomba. O filme é

	resistente a rasgos e tem boa adesão à <i>tacky tape</i> .
<i>Peel-ply</i>	Este tecido fino é a primeira camada removível entre o material compósito e o saco de vácuo. O Peel-ply cria uma superfície que pode absorver o excesso de resina e também facilitar a remoção do <i>flow mesh</i> .
<i>Flow mesh</i>	O flow mesh é um padrão de malha de plástico projetado para promover o fluxo de resina durante o processo de infusão
<i>Runner</i>	Este tubo de plástico em espiral é usado para fornecer um canal de fluxo livre através do qual a resina é distribuída perto do ponto onde é alimentada pela primeira vez no compósito ensacado. A resina flui livremente através do centro do tubo espiral, mas também com a mesma facilidade para fora das espirais no lado, permitindo que a resina seja fornecida ao longo de uma borda do compósito.
<i>tacky tape</i>	Fita adesiva utilizada para unir o saco de vácuo ao molde e promover a vedação do laminado, impedindo a entrada de ar e assegurando a pressão de vácuo.