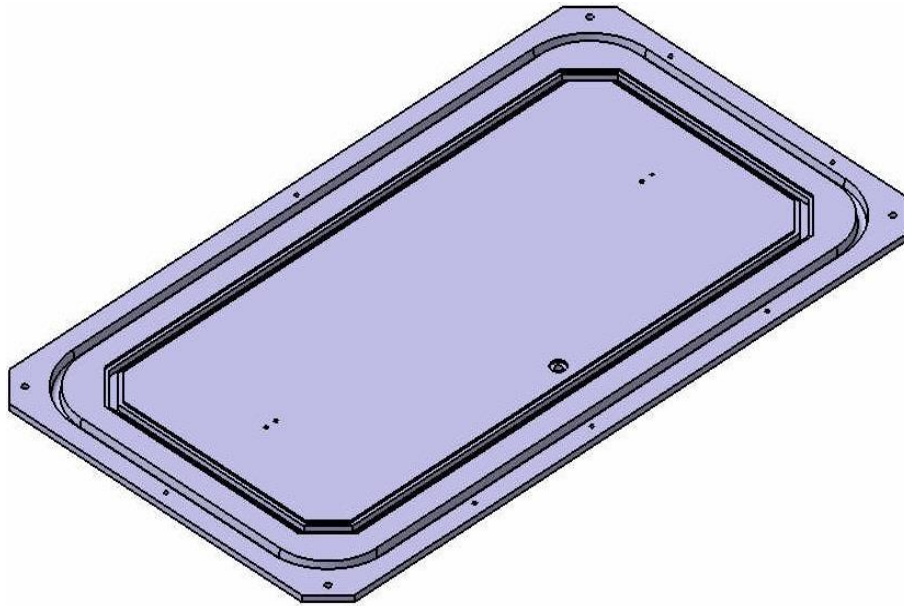




ISEL

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Área Departamental de Engenharia Mecânica



Modelação paramétrica de ferramentas

JOÃO FRANCISCO ABREU FARIA

(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Orientadores:

Prof. Doutor José Filipe Castanheira Pereira Antunes Simões

Mestre Jorge André Fernandes Baginha

Mestre António Manuel Andrade Goulão Amoroso Reis

Júri:

Presidente:

Prof. Doutor João Manuel Ferreira Calado

Vogais:

Prof. Doutor Ricardo Miguel Gomes Simões Baptista

Prof. Doutor José Filipe Castanheira Pereira Antunes Simões

Setembro de 2016

Agradecimentos

Gostaria de utilizar esta secção para agradecer a todas as pessoas que ao longo do meu percurso académico partilharam comigo momentos de estudo, trabalho e diversão, em especial aos colegas que conheci na residência Maria Beatriz.

Gostaria ainda de prestar um especial agradecimento aos meus pais que sempre me apoiaram e incentivaram a continuar o meu percurso académico, sem eles nada disto teria sido possível.

À Joana, por todos os momentos de carinho partilhados e por todas as sugestões relativamente à elaboração deste trabalho.

Aos Professores José Simões e Chedas Sampaio pela disponibilidade que tornou possível a realização deste trabalho.

À Optimal Structural Solutions, pela disponibilidade, e a todos os seus colaboradores pelo companheirismo, partilha de conhecimentos e experiência, em especial ao António Reis e ao Jorge Baginha.

Resumo

Os *softwares* de desenho assistido por computador representam uma ferramenta indispensável da engenharia moderna. Obter o máximo rendimento dos recursos ao seu dispor é prioridade de qualquer organização e, nesse sentido, foi desenvolvido, em parceria com a Optimal Structural Solutions, um modelo paramétrico generativo de um componente comumente utilizado no desenvolvimento de moldes de laminação de peças compósitas, com o objetivo de diminuir o tempo de modelação do mesmo. De modo a avaliar a qualidade e aplicabilidade do modelo, foram realizados pelos desenhadores afetos à Optimal Structural Solutions um conjunto de testes. As avaliações decorrentes dos testes realizados mostram que a implementação do modelo representa uma mais-valia para o processo de modelação e validam a possibilidade de aplicação desta metodologia a outros produtos, presentemente desenvolvidos pela Optimal Structural Solutions.

Palavras-chave: Desenho assistido por computador, Modelação paramétrica, Modelação generativa, Engenharia baseada no conhecimento.

Abstract

Computer aided design software's have become a fundamental tool of modern engineering. Taking maximum advantage of the available resources is a top priority of any organization and, with this purpose, a parametric generative model of a component commonly used in the design of lamination molds for composite parts has been developed, in partnership with Optimal Structural Solutions, with the objective of reducing the modelling time of this component. For evaluating the implementation advantages of the model, a series of tests were performed by the designers, connected to Optimal Structural Solutions. The results of these tests show that the model implementation represents an advantage for the design process, and give positive feedback concerning the implementation of this methodology to other products currently developed by Optimal Structural Solutions.

Keywords: Computer aided design, Parametric modeling, Generative modeling, Knowledge based engineering.

Índice

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vii
Índice.....	ix
Lista de Figuras.....	xi
Lista de Tabelas	xiii
Lista de Siglas e Acrónimos	xiv
Capítulo 1 Introdução	1
1.1. Optimal Structural solutions	2
1.2. Objetivo.....	2
1.3. Estrutura do relatório	2
Capítulo 2 Abordagem ao projeto de ferramentas.....	5
2.1. Desenho assistido por computador.....	6
2.2. Modelação paramétrica.....	6
2.2.1. Parametização.....	7
2.3. Engenharia baseada no conhecimento.....	8
2.3.1. Modelação generativa	10
2.4. Conclusões	11
Capítulo 3 Objeto de estudo.....	13
3.1. Ferramentas de laminação	14
3.2. Base de Alumínio	16
3.3. Estrutura da base de alumínio.....	17
3.3.1. Canal para saco de silicone.....	17
3.3.2. Canal de vácuo	18
3.3.3. Ponto de registo.....	19
3.3.4. Tomadas de vácuo	20
3.3.5. Furos para alvos óticos (optical targets - OPT).....	20

3.3.6. <i>Fixação de termopares</i>	21
3.3.7. <i>Fixação do molde</i>	22
3.3.8. <i>Sistemas de elevação</i>	23
3.4. Conclusões	23
Capítulo 4 Modelação	25
4.1. Estratégias de modelação	26
4.2. Procedimento	27
4.2.1. <i>Referências geométricas</i>	27
4.2.2. <i>Sequência de operações</i>	28
4.2.3. <i>Modelação</i>	29
4.3. Conclusões	38
Capítulo 5 Modelo generativo	41
5.1. Powercopy	42
5.2. Configuração	42
5.3. Aplicação	44
5.4. Conclusões	45
Capítulo 6 Testes e avaliação	47
6.1. Testes	48
6.2. Avaliação do modelo	48
6.2.1. <i>Caracterização da amostra</i>	49
6.2.2. <i>Resultados</i>	50
6.3. Conclusões	53
Capítulo 7 Conclusões e trabalhos futuros	55
7.1. Conclusões	55
7.2. Trabalhos futuros	56
Bibliografia	57
Anexo I Manual de instruções	1
Anexo II Questionário	7

Lista de Figuras

Figura 2.1 - Espaço de soluções de modelação	8
Figura 2.2 - Metodologia genérica da modelação paramétrica.....	8
Figura 2.3 - Influência da utilização de KBE no tempo de projeto	9
Figura 2.4 – Modelo generativo.....	11
Figura 3.1 – Montagem do saco de vácuo para fabrico de peças compósitas	15
Figura 3.2 - Ferramentas de laminação.....	16
Figura 3.3 - Modelo CAD da base de alumínio	16
Figura 3.4 – Saco de vácuo em silicone.....	18
Figura 3.5 - Detalhe do canal para saco de silicone.....	18
Figura 3.6 - Detalhe do canal de vácuo	19
Figura 3.7 – Exemplo de ciclo de cura	19
Figura 3.8 - Detalhe do ponto de registo	20
Figura 3.9 - Detalhe da tomada de vácuo	20
Figura 3.10 – Sistema de projeção de laser	21
Figura 3.11 - Detalhe de furo para alvos óticos	21
Figura 3.12 - Detalhe da fixação de termopares	22
Figura 3.13 - Detalhe dos furos de fixação do molde.....	22
Figura 3.14 - Tubos destinados aos garfos do empilhador	23
Figura 3.15 – Localização das estruturas da base de alumínio.....	24
Figura 4.1 - Árvore do modelo da base de alumínio	28
Figura 4.2 - Sequência de operações na árvore de um modelo CAD.....	28
Figura 4.3 - Árvore do sólido da base de alumínio.....	29
Figura 4.4 – Implementação dos parâmetros	30
Figura 4.5 - Referências externas	30
Figura 4.6 – Referências internas	30
Figura 4.7 - Menú de contexto do comando “ <i>Positioned sketch</i> ”	31
Figura 4.8 - Referências do canal de vácuo	32

Figura 4.9 – Referências dos furos de fixação do molde	32
Figura 4.10 – Referências relacionadas com a redução de peso	33
Figura 4.11 - Definição do “ <i>Pad1 (BASE_SHAPE)</i> ”	34
Figura 4.12 – Definição do “ <i>Slot.1 (VACUUM_CHANEL)</i> ”	34
Figura 4.13 – Passos envolvidos na aplicação da redução de peso	35
Figura 4.14 – Árvore do sólido após aplicação da operação “ <i>Remove.2</i> ”	36
Figura 4.15 – Menu contextual do comando “ <i>Hole</i> ”	36
Figura 4.16 – Aplicação da operação “ <i>UserPattern</i> ”	37
Figura 4.17 – Estado do sólido antes (a) e depois (b) da aplicação do “ <i>UserPattern.3</i> ”	37
Figura 4.18 – Seleção das arestas para aplicação do chanfro.....	38
Figura 4.19 – Modelo final da base de alumínio.....	38
Figura 5.1 - Definição do comando <i>Powercopy</i>	42
Figura 5.2 – Separador “ <i>Inputs</i> ” do comando <i>Powercopy</i>	43
Figura 5.3 – Separador “ <i>Parameters</i> ” do comando <i>Powercopy</i>	43
Figura 5.4 – Criação das “referências externas”	44
Figura 5.5 – Seleção do ficheiro contendo o modelo original da base de alumínio.....	44
Figura 5.6 – Introdução das referências (a) e dos parâmetros (b) necessários a aplicação do modelo	45
Figura 5.7 – Resultado da aplicação do modelo a um molde de laminação	45
Figura 6.1 – Distribuição da amostra relativamente à sua experiência em <i>softwares</i> CAD e, especificamente, no <i>software</i> CATIA-V5	50
Figura 6.2 – Distribuição da amostra relativamente à sua formação em <i>softwares</i> CAD e, especificamente, no <i>software</i> CATIA-V5	50
Figura 6.3 – Análise de frequência da classificação dos parâmetros de avaliação do modelo	51
Figura 6.4 - Análise de frequência da quantificação da redução do tempo de modelação	52
Figura 6.5- Análise de frequência da quantificação da redução do tempo de alteração	52

Lista de Tabelas

Tabela 6.1 – Classificação dos parâmetros de avaliação do modelo	51
Tabela 6.2 – Análise de localização e dispersão das reduções de tempo obtidas	52

Lista de Siglas e Acrónimos

CAD *Computer aided design* (desenho assistido por computador)

CNC Controlo numérico computadorizado

KBE *Knowledge based engineering* (engenharia baseada no conhecimento)

OSS *Optimal Structural Solutions*

OPT *Optical targets* (alvos óticos)

UDF *User defined features* (Operação definida pelo utilizador)

Capítulo 1

Introdução

Um dos principais objetivos de qualquer empresa passa por otimizar a sua performance. A redução do tempo de desenvolvimento do produto representa um dos meios através do qual é possível atingir este fim [1,2]. No trabalho desenvolvido por Gardan [3] sugere-se que, por cada 100 horas de trabalho de engenharia, 20 horas são despendidas em tarefas criativas, 10 horas em administrativas e 70 h em tarefas rotineiras. Skarka [4] defende que tarefas realizadas de forma rotineira não causam problemas inesperados, mas são morosas e dispendiosas. Faz, portanto, todo o sentido encontrar meios de reduzir a quantidade de tarefas rotineiras realizadas.

O presente trabalho, realizado em parceria com a Optimal Structural Solutions (OSS), pretende abrir a porta ao desenvolvimento de modelos CAD 3D, paramétricos e generativos que permitam um aumento de produtividade na fase de modelação de ferramentas de laminação para materiais compósitos, através do desenvolvimento de um modelo generativo protótipo que possa ser utilizado pelos colaboradores da OSS com vista a minimizar a quantidade de trabalho repetitivo.

1.1. Optimal Structural solutions

A Optimal Structural Solutions é uma empresa sediada no conselho de Cascais, direcionada para a produção e engenharia de materiais compósitos, atuando em áreas como a aeronáutica, desporto automóvel e náutica. As suas capacidades envolvem o fabrico de peças em materiais compósitos, a construção de ferramentas de laminação para a produção de peças em materiais compósitos, entre outras. No âmbito das ferramentas de laminação, a empresa conta atualmente com um departamento de produção que dispõe de quatro fresadoras com controlo numérico computadorizado (CNC), sendo composto por uma equipa de dez elementos; e também com um departamento de modelação, constituído por seis elementos, que utiliza o *software* de desenho assistido por computador CATIA-V5.

1.2. Objetivo

Tendo sido identificada, pela OSS, a necessidade de agilizar o processo de modelação de ferramentas de laminação, foi proposto ao autor a análise de metodologias nas áreas da modelação paramétrica e generativa. Como forma de avaliar a aplicabilidade destas metodologias a outros produtos presentemente desenvolvidos pela OSS, foi considerado pertinente o desenvolvimento de um modelo paramétrico generativo de uma base de alumínio que não só se adapte automaticamente ao molde ao qual é aplicado, mas também permita a fácil compreensão e modificação por parte de outros utilizadores.

O modelo foi desenvolvido utilizando o *software* CATIA V5, e pretende-se que seja implementado no departamento de modelação da OSS.

1.3. Estrutura do relatório

O presente trabalho é constituído por seis capítulos. Um primeiro capítulo, de natureza introdutória, que pretende enquadrar a temática desenvolvida no contexto operacional.

O segundo capítulo aborda os conceitos de desenho assistido por computador, modelação paramétrica e engenharia baseada no conhecimento.

O terceiro capítulo descreve o objeto de estudo e sumariza toda a informação disponível, considerada relevante.

O quarto capítulo é dedicado ao trabalho de modelação desenvolvido.

O quinto capítulo descreve o método através do qual foi desenvolvido o modelo generativo

O sexto capítulo incide sobre os resultados dos testes e das avaliações realizadas pelos designers afetos à OSS.

O capítulo final apresenta as conclusões obtidas, e algumas considerações referentes a futuros trabalhos.

Capítulo 2

Abordagem ao projeto de ferramentas

O presente capítulo tem como objetivo familiarizar o leitor com um conjunto de conceitos utilizados na elaboração do projeto, o desenho assistido por computador, a modelação paramétrica e a engenharia baseada no conhecimento, sendo a sua leitura essencial para uma melhor compreensão dos capítulos seguintes.

2.1. Desenho assistido por computador

O desenho assistido por computador (*computer aided design* - CAD) baseia-se na utilização de *softwares* que têm como propósito auxiliar os desenhadores de diversas áreas da indústria para desenvolver e fabricar os mais variados produtos [5,6].

O primeiro *software* CAD 3D foi desenvolvido por Ivan Sutherland, em 1963. O sistema *Sketchpad* utilizava um ponteiro luminoso e um conjunto de botões, que possibilitava o desenvolvimento de desenhos 2D e 3D bastante complexos [7].

Deste então os *softwares* evoluíram significativamente, impulsionados pelo avanço da tecnologia e pelo aumento da competitividade industrial, sendo atualmente uma ferramenta amplamente utilizada nas mais variadas áreas da engenharia.

Para tomar o máximo partido das funcionalidades dos *softwares* CAD é necessário aplicar estratégias de modelação independentes dos seus comandos e, nesta ótica, foram desenvolvidas diversas metodologias de utilização destes *softwares* [8]. A modelação paramétrica é provavelmente a mais comum, sendo a sua utilização, em algumas situações, decorrente do método de funcionamento do *software*. Por exemplo, a simples aplicação de um constrangimento de comprimento a um segmento de reta constitui uma ação de modelação paramétrica, uma vez que irá ser criado um parâmetro que pode posteriormente ser alterado. O trabalho desenvolvido assenta nesta metodologia e no conceito de engenharia baseada no conhecimento (*Knowledge based engineering* – KBE), os quais serão analisados em mais detalhe nos próximos capítulos.

2.2. Modelação paramétrica

Um modelo paramétrico é uma representação geométrica computacional de um objeto que contém características variáveis, controladas por elementos não geométricos, denominados de parâmetros [6,9]. Este deve ter atributos que possibilitem a sua modificação, sem que seja necessário apagar ou recriar qualquer operação [5,9,10]. Isto significa que, modelos corretamente parametrizados permitem a definição de um novo produto através da alteração dos parâmetros que o definem [9,10,11]. Desta forma, um modelo paramétrico deve ser flexível e robusto. A flexibilidade está relacionada com a capacidade do modelo representar um variado leque configurações do produto. A robustez representa a resistência a erros e a instabilidades que as alterações no modelo

podem provocar [8].

Para obter um modelo funcional é, também, essencial identificar os parâmetros corretos bem como as relações existentes entre eles, pois um modelo paramétrico é uma representação inteligente de uma peça, onde é importante planejar todos os componentes e determinar a sequência mais eficiente [10,11].

2.2.1. Parametrização

Recorrendo aos *softwares* CAD modernos é possível criar relações associativas entre componentes ou estruturas, de forma a integrar as especificações dos produtos nos modelos desenvolvidos. No entanto, as capacidades dos *softwares* são altamente dependentes do método de modelação e não apenas da própria tecnologia – isto é, existe uma diferença entre saber utilizar ferramentas de modelação paramétrica e criar modelos paramétricos [6,10,11]. Por exemplo, o modelo de um cilindro com um furo ao centro só pode ser considerado um modelo paramétrico se, perante qualquer alteração ao nível diâmetro ou do posicionamento do cilindro, o furo continuar a existir no centro do mesmo.

Não é possível aplicar uma fórmula "passo-a-passo" que garanta o desenvolvimento de um bom modelo CAD. Existem, no entanto, metodologias e diretrizes que podem ser seguidas [8], nomeadamente as apresentadas por Bodein *et al.* [11] e Salehi [9]. O primeiro apresenta um método conhecido como modelação baseada em referências explícitas, onde deve ser evitada a criação de constrangimentos na geometria (utilizar planos em detrimento de faces, linhas em detrimento de arestas, e pontos em detrimento de vértices). Estas limitações diminuem, em grande escala, o número de soluções que podem ser utilizadas na modelação, mas conferem uma robustez acrescida aos modelos. Na Figura 2.1 podemos observar o pequeno espaço ocupado por esta metodologia, contida no conjunto representativo das boas práticas de modelação, dentro do universo de estratégias de modelação existentes.

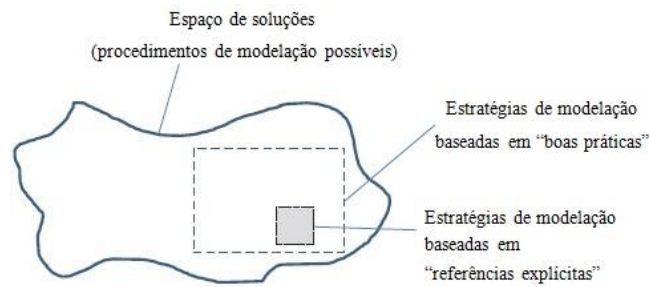


Figura 2.1 - Espaço de soluções de modelação, adaptada de [11]

O segundo descreve uma metodologia de modelação paramétrica assente em três fases, representadas na Figura 2.2. A primeira fase, a especificação, passa por identificar os parâmetros relevantes e definir as relações associativas necessárias. A segunda fase, a estruturação, consiste no desenvolvimento do modelo. Por fim, temos a terceira fase, a modificação, onde se procede à alteração dos parâmetros e das relações associativas. Estes passos devem ser repetidos de forma iterativa, à medida que o modelo resultante evolui desde o seu estado conceptual até à geometria final.

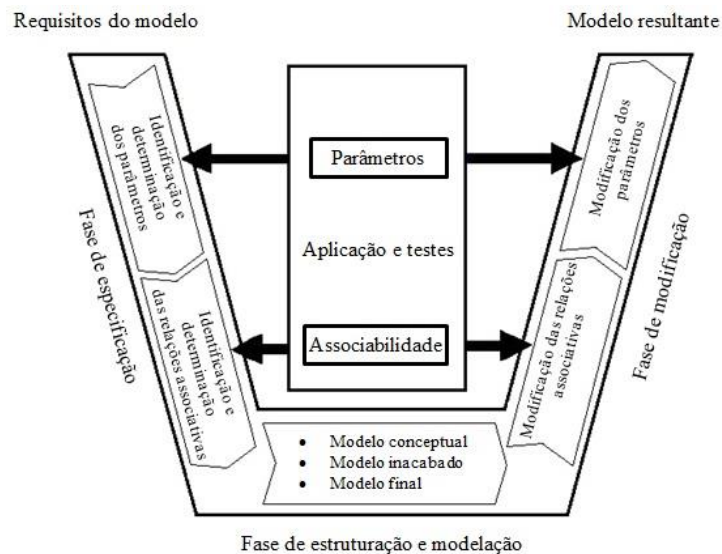


Figura 2.2 - Metodologia genérica da modelação paramétrica, adaptada de [9]

2.3. Engenharia baseada no conhecimento

A Engenharia baseada no conhecimento está relacionada com a aquisição e aplicação de conhecimento a um produto ou processo, da forma mais integrada possível,

tendo por base a reutilização do conhecimento obtido em projetos anteriores [3,4,6,8]. A utilização de KBE é, conseqüentemente, uma influência positiva no tempo de projeto, tal como referenciado por Skarka [4], devido à diminuição do tempo despendido em tarefas de modelação rotineira como apresenta a Figura 2.3. Neste sentido, a implementação de formas de KBE a modelos CAD representa uma mais-valia para o processo de modelação.

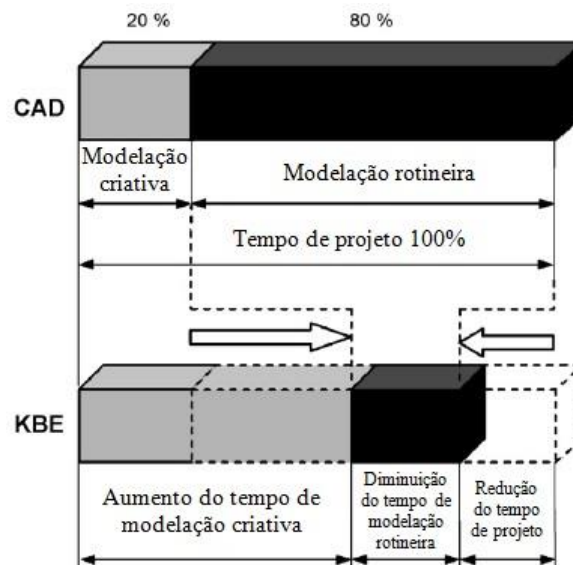


Figura 2.3 - Influência da utilização de KBE no tempo de projeto, adaptada de [4]

Como exemplo de aplicação de metodologias de KBE à modelação temos o trabalho desenvolvido Mok et al. [12], onde foi desenvolvida uma aplicação que permite armazenar, numa base de dados, peças anteriormente modeladas para posterior utilização. Desta forma o conhecimento anteriormente obtido é transposto para o projeto atual.

A predominância de tarefas rotineiras durante o processo de modelação é a principal razão para investir em KBE [4,8], sendo que o conhecimento aplicado aos modelos CAD pode assumir várias formas [6]:

- Um perfil predefinido, resultante do extensivo conhecimento da estrutura a modelar;
- Sequências de operações otimizadas, de forma a obter a máxima robustez;
- Parâmetros e as suas relações lógicas e matemáticas;
- Modelos completamente parametrizados que podem ser aplicados diretamente.

Sendo o último uma forma de modelação generativa, tópico que será desenvolvido seguidamente, no ponto 2.3.1.

2.3.1. Modelação generativa

Um modelo generativo é uma representação genérica de um produto, ou seja, um modelo de uma classe de produtos [4], no qual a modularidade é um fator fundamental [2]. O modelo generativo tem origem num modelo geométrico, ao qual são aplicadas regras que o transformam numa aplicação, que permite a criação de outros modelos geométricos [4]. Com a utilização deste método, são reduzidas as interações do utilizador com o modelo, o que resulta numa diminuição dos erros de modelação [13].

Como exemplos de formas de modelação generativa temos:

- i. O sistema de modelação de moldes de estampagem de Hussein [14], onde foram identificados os principais componentes de cada tipo de molde, e para cada um deles foi programado uma sub-rotina composta por um conjunto de regras e parâmetros que permite a fácil e rápida modelação dos constituintes do molde;
- ii. O desenvolvimento, por parte de Chu *et al.* [13], de um *software* com o objetivo de minimizar a interação do utilizador no processo de modelação de moldes para pneus, no qual consta uma base de dados das geometrias mais comuns e permite a criação de novas geometrias através de desenhos 2D;
- iii. A automatização, levada a cabo por Gardan [3], da modelação do sistema de enchimento de peças fundidas, na qual foi desenvolvido um interface a partir do qual é possível seleccionar os parâmetros e componentes do sistema (anteriormente modelados e colocados numa base de dados);
- iv. O trabalho realizado por Ramly *et al.*[5], onde se automatizou a modelação da fuselagem do Boeing 777 com recurso a *CATScripts* - a linguagem de programação de *macros* do software CATIA-V5, através da qual é possível gerar diversas configurações do mesmo modelo, por parte de indivíduos com poucos conhecimentos de *softwares* CAD;
- v. E, ainda, o trabalho de Bodein *et al.* [6] onde são utilizadas operações definidas pelo utilizador (*User defined features* - UDF), uma ferramenta

pertencente ao módulo *Knowledgware* do *software* CATIA-V5. Esta ferramenta permite criar uma operação definida pelo utilizador, composta por uma ou mais operações do CATIA-V5, que terá os *inputs* por este definidos, permitindo assim criar estruturas como, por exemplo, furos hexagonais seleccionando apenas o ponto central e a dimensão do lado do hexágono.

Um modelo generativo pode conter modelos CAD, processos de modelação, constrangimentos, regras, fórmulas, ou uma conjugação entre vários destes elementos, para que seja possível, através de um conjunto de entradas, dar origem a um produto de engenharia, como exemplificado na Figura 2.4.

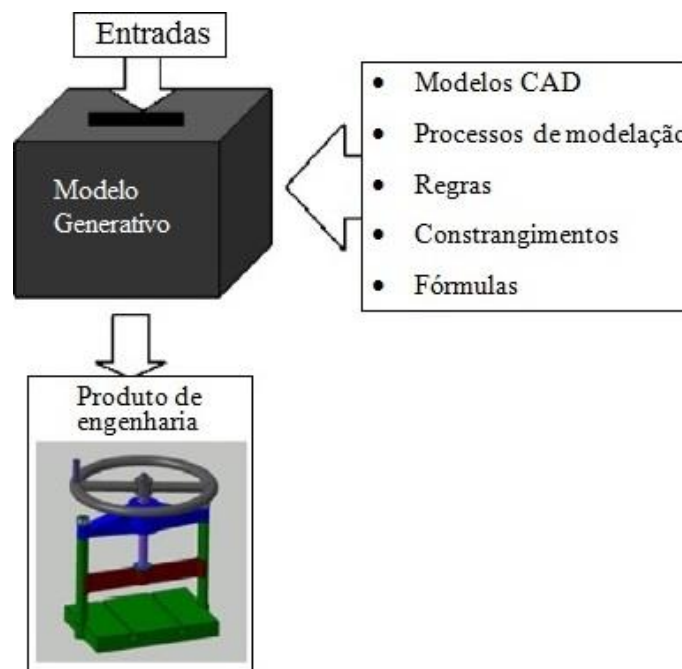


Figura 2.4 – Modelo generativo, adaptada de [4]

2.4. Conclusões

No decorrer do presente capítulo foram desenvolvidos vários conceitos utilizados na engenharia moderna, mais especificamente na fase de projeto de um qualquer produto ou componente. Com base nestes conhecimentos, foi definida a abordagem utilizada no desenvolvimento do modelo paramétrico generativo da base de alumínio. Tal como em todas as formas de KBE o primeiro passo será a compilação do conhecimento existente sobre o modelo, temática que será abordada no Capítulo 3. De seguida, foi construído o modelo paramétrico, com base nas considerações do ponto 2.2,

tendo em vista a sua posterior transformação em modelo generativo, processo apresentado no Capítulo 4. Por fim, o modelo geométrico obtido foi transformado em modelo generativo, através da aplicação do comando *powercopy*, sendo este processo descrito no Capítulo 5.

Capítulo 3

Objeto de estudo

O presente capítulo apresenta toda a informação recolhida sobre a base de alumínio e visa familiarizar o leitor com as estruturas mais relevantes da sua geometria: o canal de silicone, o canal de vácuo, o ponto de registo, as tomadas de vácuo, os furos para alvos óticos, a fixação de termopares, a fixação do molde, e os sistemas de elevação. Serão efetuadas pequenas descrições, suportadas por figuras, destas estruturas que compõem o modelo em questão.

Idealmente, a decisão sobre quais os produtos indicados à aplicação de modelos generativos deverá ser dada pelos designers [6]. Por se tratar de um conceito novo para a empresa, o processo de seleção foi realizado pelo autor e seus orientadores, tendo em consideração a natureza pioneira deste trabalho. Assim, por se tratar de um componente que possui uma forma geral constante (independente do molde ao qual é aplicado), em que a sua modelação é uma tarefa rotineira e que resulta num modelo relativamente simples, foi selecionada uma base de alumínio, para o desenvolvimento do modelo paramétrico generativo protótipo.

3.1. Ferramentas de laminação

Existem diversos métodos de fabrico de peças compósitas. Cada processo tem as suas particularidades que originam tipos de ferramentas distintos. Os três tipos de ferramentas de laminação apresentados na Figura 3.2 são utilizados na produção de compósitos pré-impregnados (tecidos previamente impregnados com resina catalisada, não curada).

Este é um processo que, em termos gerais, é constituído por quatro fases:

1ª fase. Os rolos de pré-impregnado armazenados a temperaturas negativas, com o propósito de inibir o processo de cura da resina, são descongelados e cortados em conformidade com o *ply book* (documento de apoio à laminação que indica a forma 2D das camadas, bem como a ordem, a orientação e o posicionamento das mesmas) [15,16];

2ª fase. Denominada de laminação, nesta fase as camadas, previamente cortadas, são empilhadas sobre o molde tal como indicado pelo *ply book*, processo que dará então origem ao laminado [15,16];

3ª fase. O laminado é colocado sob vácuo, sendo para isso necessário aplicar um saco de vácuo ao molde, tal como é representado na Figura 3.1. Este processo começa, antes de se dar início à laminação, com a aplicação ao molde do agente desmoldante (película plástica, cera, ou líquido). Após a laminação pode, ou não, ser adicionada uma barreira permeável, que impede o excesso de migração de resina. Seguidamente, é aplicada sobre o laminado uma película desmoldante perfurada, que impede os restantes elementos do saco de vácuo de se agregarem à peça final durante o processo de cura. É, então, adicionada uma manta permeável que facilita o escoamento do ar dentro do saco de vácuo e que absorve o excesso de resina que passa pelos furos da camada anterior. Opcionalmente, podem ser aplicados contramoldes com o intuito de melhorar o acabamento da superfície exterior da peça. Por fim, é colocado o saco de vácuo. Este pode ser descartável, onde é necessária a aplicação de uma fita própria para garantir a estanquicidade do mesmo; ou pode ser reutilizável, opção que será apresentada em mais detalhe no ponto 3.3.1. É também introduzida uma válvula de vácuo, através da qual será feita a ligação a uma bomba de vácuo. Após a aplicação destes elementos, o molde está preparado para iniciar a cura [17];

4ª fase. O processo de cura inicia-se com a colocação do molde na autoclave (forno pressurizado), onde a temperatura é elevada lentamente. O saco de vácuo é

colocado sob pressão, e a autoclave é, posteriormente, pressurizada. Durante a cura a pressão aplicada conforma o laminado ao molde e retira algum excesso de resina existente. A elevada temperatura provoca uma redução da viscosidade da resina, que facilita a sua migração para áreas secas do laminado antes de estar completo o processo de cura, o que irá transformar o laminado num material sólido [16].

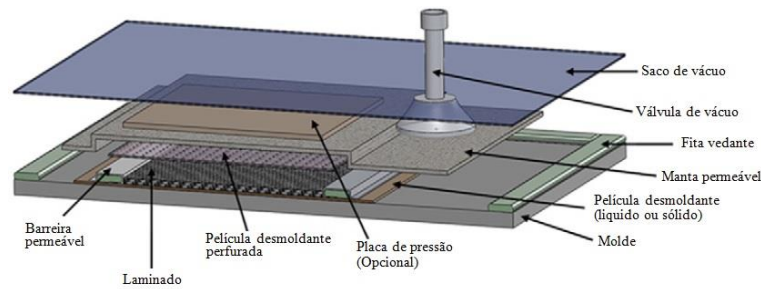


Figura 3.1 – Montagem do saco de vácuo para fabrico de peças compósitas, adaptada de [17]

A forma e as dimensões da peça a fabricar são outro dos fatores que condiciona o tipo de ferramenta a utilizar.

A ferramenta de laminação apresentada na Figura 3.2 a), comumente denominada no seio da OSS como “ferramenta com estrutura”, é construída a partir de uma chapa calandrada, reforçada por uma estrutura metálica composta por chapas verticais cruzadas, que é posteriormente maquinada. É utilizada quando as peças compósitas a fabricar possuem grandes dimensões ou curvaturas acentuadas, uma vez que o processo de construção permite obter peças mais leves e que utilizam pouca matéria-prima. Aplicada a moldes de menores dimensões, a complexidade do processo reduz as vantagens da sua utilização.

Na Figura 3.2 b) podemos observar uma “ferramenta monobloco”, sendo maquinada a partir de um bloco único, de aço ou alumínio, onde a parte traseira é escavada deixando uma estrutura nervurada, com o intuito de reduzir o peso mantendo a estabilidade estrutural do molde e de facilitar uma distribuição térmica constante. Este método de fabrico é de fácil execução e origina ferramentas com elevada estabilidade estrutural, sendo indicado para peças de dimensão média e de baixa curvatura. Com o aumento das dimensões e da curvatura das peças, o desperdício de material aumenta, tal como o tempo de maquinação.

As ferramentas com base de alumínio, representadas na Figura 3.2 c), são

compostas por duas peças principais, o molde e a base de alumínio. O molde é fabricado através de um processo idêntico ao da ferramenta monobloco, mas sem os canais de silicone e vácuo, e com a inclusão de orelhas para fixação do molde a base de alumínio. A base de alumínio é maquinada a partir de uma chapa de alumínio retificada, com espessura igual à modelada – desta forma o desperdício de matéria-prima é mínimo, sendo também o tempo de maquinação reduzido. Este tipo de ferramenta é mais indicado para peças com dimensão menor. Com o aumento das dimensões e do peso do molde a base de alumínio revela pouca estabilidade dimensional

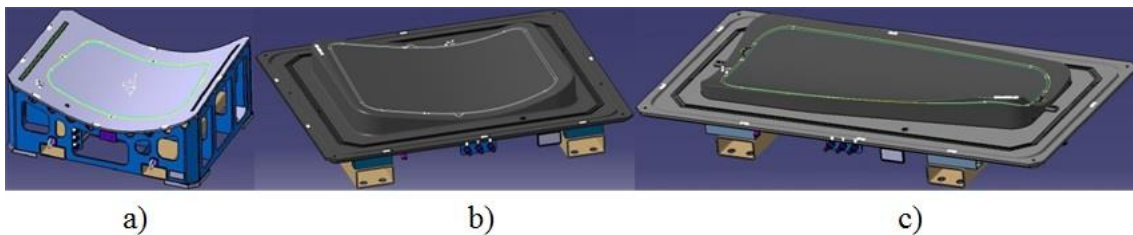


Figura 3.2 - Ferramentas de laminação [18]

3.2. Base de Alumínio

O modelo desenvolvido neste trabalho é a base de alumínio, um dos componentes da ferramenta de laminação apresentada na Figura 3.2 c). A base de alumínio, representada na Figura 3.3., é um componente de suporte, ao qual são acrescentados todos os acessórios necessários para o bom funcionamento de uma ferramenta de laminação. Componentes como tubagens de vácuo, termopares, tubos retangulares para elevação da ferramenta utilizando um empilhador, e chapas identificativas, são necessários quer do ponto de vista técnico como do ponto de vista logístico.

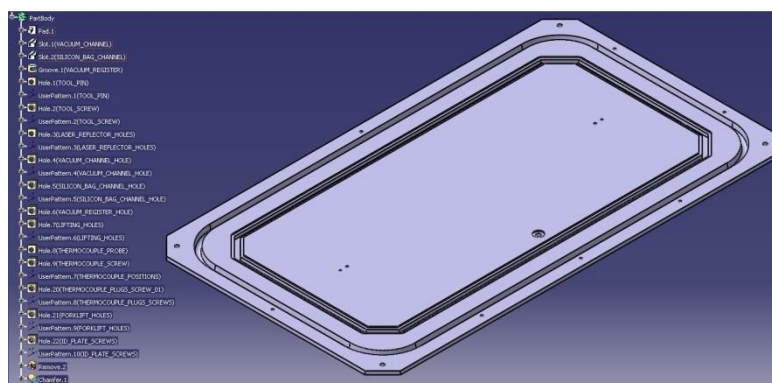


Figura 3.3 - Modelo CAD da base de alumínio

3.3. Estrutura da base de alumínio

Os pontos seguintes apresentam as estruturas que compõem a base de alumínio. As geometrias apresentadas são fruto da experiência obtida pela OSS, na modelação de ferramentas de laminação que foi compilada num documento interno [18].

3.3.1. Canal para saco de silicone

Tal como referido em 3.1, o saco de vácuo é um elemento essencial no processo de produção de materiais compósitos pré-impregnados. Estes podem ser descartáveis ou reutilizáveis, sendo o segundo em silicone. Os sacos de silicone necessitam de pouca ou nenhuma manutenção, estão prontos para ser utilizados repetidamente duas horas após o seu fabrico e, comparativamente aos sacos descartáveis, a sua utilização é mais económica a partir das seis utilizações, contabilizando os custos do material e a redução da mão-de-obra necessária [19]. Para obter um saco de silicone, primeiro são dispostas, sobre o molde, placas de cera com espessura igual à da peça compósita a fabricar, de seguida o silicone é projetado, com o auxílio de pistolas pneumáticas próprias para o efeito, sendo aplicado mais material onde seja desejada maior espessura no saco, normalmente locais onde exista a possibilidade de rotura do mesmo [19].

O saco de silicone, representado na Figura 3.4, difere ligeiramente dos utilizados pela base de alumínio em estudo, na medida em que, no caso apresentado, os canais de vácuo e de vedação estão interligados, e são embutidos no saco de silicone, através da adição de placas de cera extra nos locais onde se pretende implementar o canal. Isto simplifica a maquinação do molde, aumentando ligeiramente a complexidade do saco de silicone.

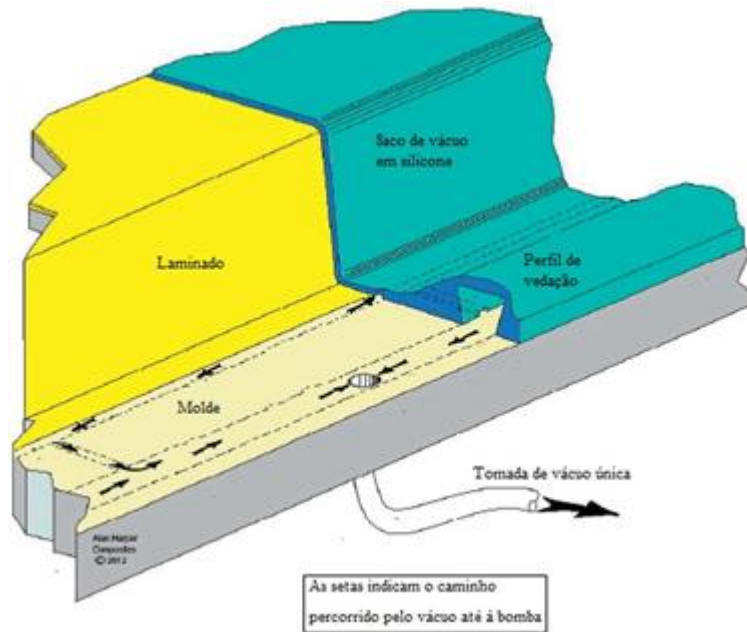


Figura 3.4 – Saco de vácuo em silicone, adaptada de [19]

Nas ferramentas atualmente produzidas na OSS, são maquinados canais de vedação para o saco de silicone, que possuem a geometria apresentada na Figura 3.5. A utilização deste método resulta num aumento de trabalho de maquinação, mas diminui a complexidade do saco de silicone.

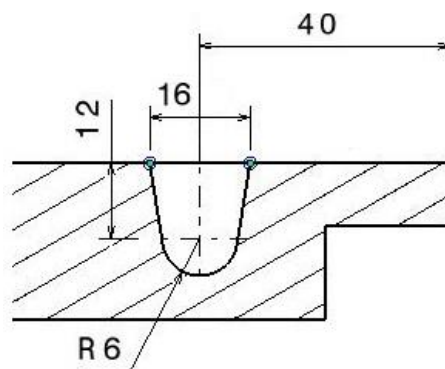


Figura 3.5 - Detalhe do canal para saco de silicone [18]

3.3.2. Canal de vácuo

Também relacionado com o saco de vácuo, o canal de vácuo existe para garantir que toda a peça está sob pressão de vácuo. A sua secção está representada na Figura 3.6, e foi construída de modo a permitir adicionar uma chapa perfurada, com três milímetros de espessura, que impede a aspiração, por parte da bomba de vácuo, da manta permeável que cobrirá o laminado e o canal de vácuo para permitir a passagem do ar

contido dentro do saco de vácuo.

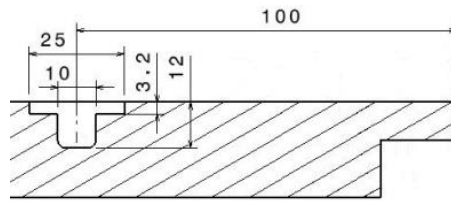


Figura 3.6 - Detalhe do canal de vácuo [18]

3.3.3. Ponto de registo

A cura é uma das fases da produção de materiais compósitos, referenciada em 3.1. Os ciclos de cura em autoclave são dependentes de três dimensões, a pressão de vácuo, a pressão da própria autoclave, e da temperatura, sendo os dois primeiros influenciados pelo tipo de laminado, e o terceiro pelo tipo de resina [20]. A Figura 3.7 apresenta um ciclo de cura típico, onde se pode observar a evolução das três grandezas envolvidas ao longo do tempo.

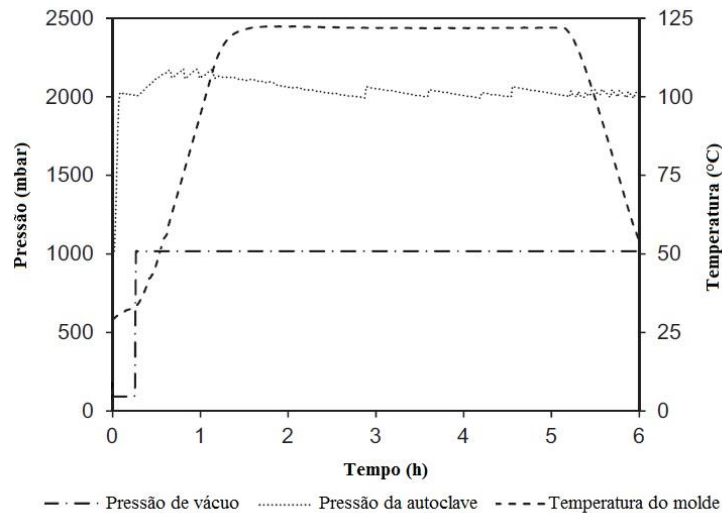


Figura 3.7 – Exemplo de ciclo de cura, adaptada de [20]

Verificar a pressão de vácuo durante o processo de cura das peças fabricadas é essencial para garantir a qualidade do produto final. Para este fim, todas as ferramentas possuem um ponto de registo, independente do canal de vácuo, onde é medida a pressão de vácuo a que se encontra o molde. O seu formato está de acordo com a Figura 3.8.

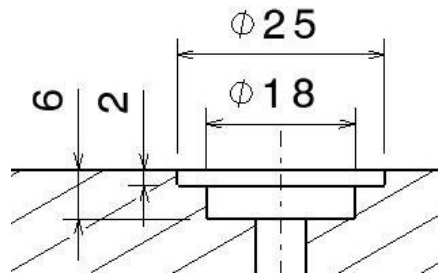


Figura 3.8 - Detalhe do ponto de registo [18]

3.3.4. Tomadas de vácuo

A estanquicidade do sistema de vácuo é essencial para a produção de materiais compósitos [16]. Sendo o sistema de vácuo composto por várias conexões, estas devem dar garantias de estanquicidade. Para obter ligações estanques na rosca, são utilizadas roscas de acordo com a norma ISO 7 [21]. São também utilizadas ligações rápidas de acordo com a norma ISO 7241-1 série B.

A Figura 3.9 representa a geometria da tomada de vácuo, que, como podemos observar, utiliza a rosca Rp 1/4 e possui um furo de ligação aos canais que não deve exceder os 11,4 milímetros (diâmetro do furo necessário para efetuar uma rosca do tipo ISO 7 Rp1/4 [21]).

Deve também existir uma tomada de vácuo no ponto de registo. No canal para saco de silicone com comprimento até quatro metros devem existir duas tomadas de vácuo, e com comprimento superior a quatro metros o número de tomadas de vácuo passa a quatro, sendo a mesma regra aplicável ao canal de vácuo, o que perfaz um total de cinco ou sete tomadas de vácuo por peça [18].

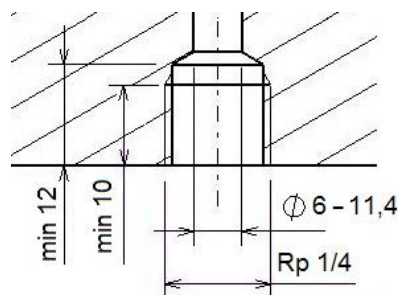


Figura 3.9 - Detalhe da tomada de vácuo [18]

3.3.5. Furos para alvos óticos (optical targets - OPT)

Durante a laminação, um sistema de lasers projeta na ferramenta a disposição da

próxima camada, tal como apresenta a Figura 3.10. Neste método, o fator crucial a ter em conta é o posicionamento das camadas aplicadas. No entanto, é também necessário verificar a sua ordem e orientação, uma vez que estes fatores influenciam diretamente a resistência do produto final [22].

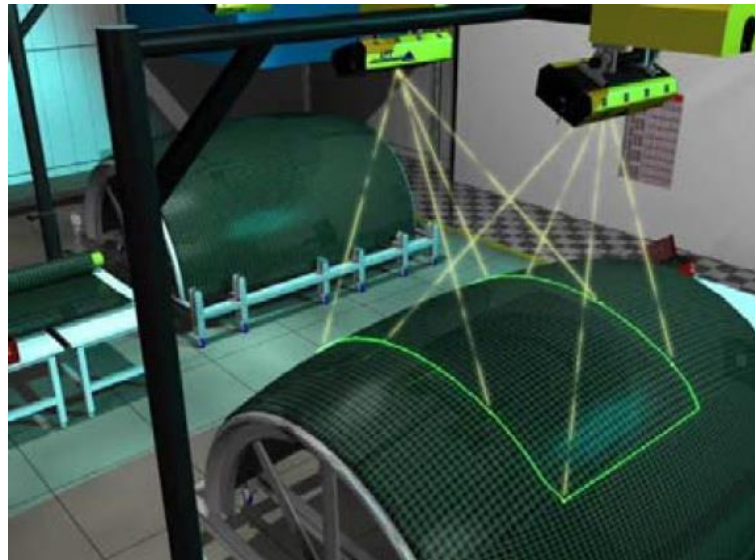


Figura 3.10 – Sistema de projeção de laser [22]

Para garantir o correto posicionamento deste sistema, a base possui um conjunto de furos de elevada precisão, onde serão introduzidos acessórios próprios para o efeito. A base deverá conter sete furos com distribuição assimétrica. A Figura 3.11. demonstra o diâmetro e a tolerância destes furos, bem como o seu posicionamento relativamente ao bordo da peça.

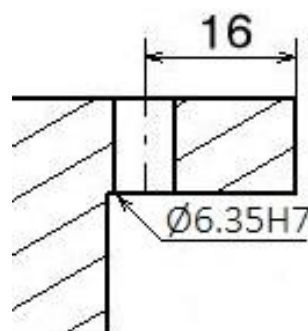


Figura 3.11 - Detalhe de furo para alvos óticos [18]

3.3.6. Fixação de termopares

Pelas razões já enunciadas no ponto 3.3.3, o registo da temperatura durante a cura é de elevada importância para garantir a qualidade final de uma peça compósita. Para este

efeito são utilizados termopares. A base deverá acomodar pelo menos três termopares, número que pode aumentar em função da complexidade e das dimensões do molde, não existindo, no entanto, uma heurística bem definida para a quantidade de sensores a utilizar [18].

Na Figura 3.12 podemos observar o reforço local adicionado para acomodar os furos de fixação, bem como o posicionamento relativo dos mesmos. O furo apresentado do lado direito da imagem acomodará o sensor, onde a tolerância aplicada tem o objetivo de garantir que a temperatura registrada é a da peça e não a do ambiente envolvente.

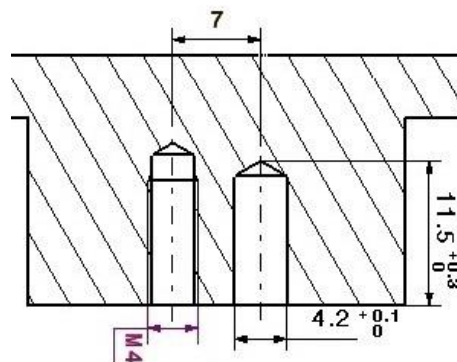


Figura 3.12 - Detalhe da fixação de termopares [18]

3.3.7. Fixação do molde

De forma a garantir o correto posicionamento do molde relativamente aos furos OPT o acoplamento entre o molde e a base é feito através de dois conjuntos cavilha-parafuso, posicionados nas orelhas do molde, que podem ser observadas na Figura 3.2 c). A Figura 3.13 especifica as dimensões dos furos necessários, assim como a tolerância do furo destinado a uma cavilha ISO 2338 6x20 m6.

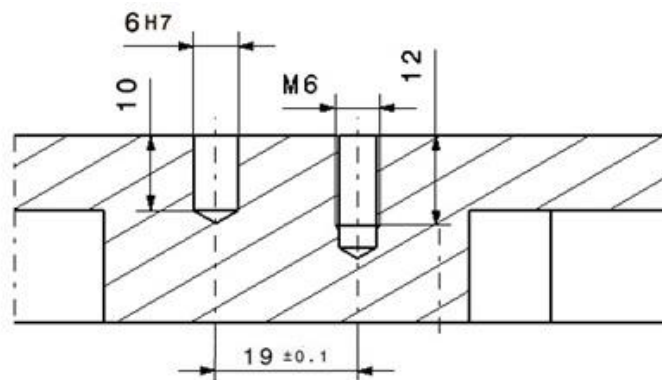


Figura 3.13 - Detalhe dos furos de fixação do molde [18]

3.3.8. Sistemas de elevação

As bases de alumínio possuem dois sistemas de elevação.

O primeiro consiste em quatro furos posicionados aos cantos da base, onde são inseridos olhais normalizados DIN 580 M12, sendo este sistema indicado para elevação com recurso a ponte rolante.

É também possível elevar as ferramentas com recurso a um empilhador. Para tal, às bases de alumínio são adicionados dois tubos retangulares (160x80x4), que deverão estar distanciados de forma a não ultrapassar a largura máxima dos equipamentos operados pelo cliente. A Figura 3.14 representa as dimensões gerais de um destes tubos, bem como os parafusos normalmente utilizados. Assim, podemos definir que o modelo da base de alumínio deverá possuir quatro furos M6x10, distanciados de forma a poder acomodar os tubos destinados aos garfos do empilhador.

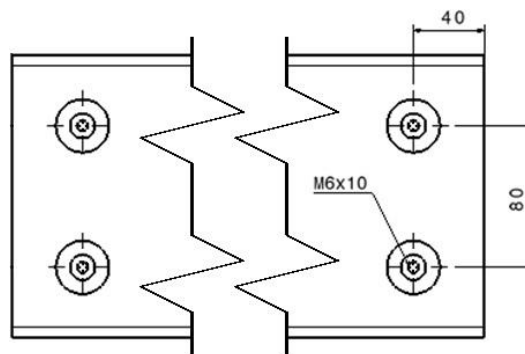


Figura 3.14 - Tubos destinados aos garfos do empilhador [18]

3.4. Conclusões

O Capítulo 3 permite ao leitor obter conhecimentos relativamente ao processo de fabrico de materiais compósitos pré-impregnados, que o ajudam a compreender melhor o porquê da existência de certas estruturas na base de alumínio, enunciando também a forma e as dimensões das mesmas. Na Figura 3.15 a) podemos observar a vista superior da base de alumínio e em b) a vista inferior, estando em ambas indicado a localização das estruturas apresentadas no decorrer do presente capítulo.

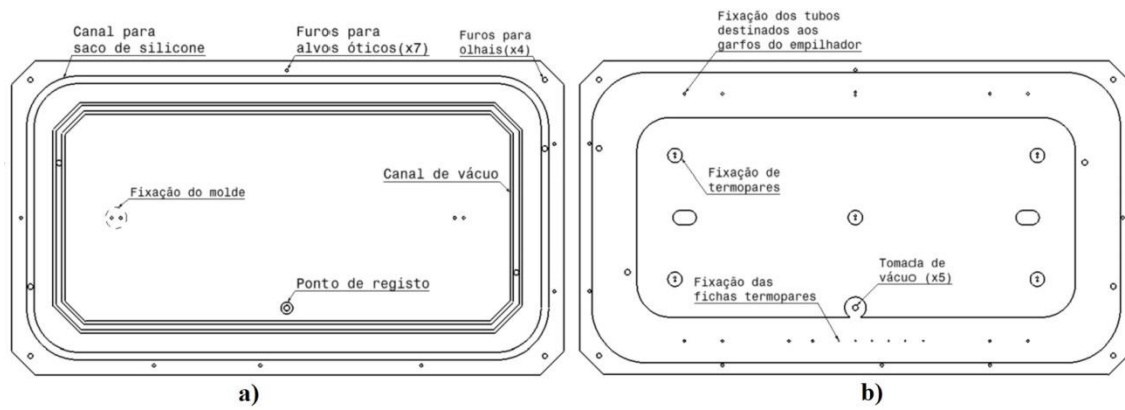


Figura 3.15 – Localização das estruturas da base de alumínio

Toda a informação recolhida sobre a base de alumínio será utilizada na construção do modelo paramétrico, tema desenvolvido no próximo capítulo.

Capítulo 4

Modelação

O aspecto mais importante do modelo CAD é o seu resultado final, ou seja, a representação geométrica resultante do conjunto de operações definidas pelo desenhador. No entanto, os *softwares* possuem uma vasta gama de comandos e funcionalidades, que possibilitam um leque de soluções possíveis, igualmente vasto. Uma vez que não existe uma solução correta, mas sim várias, a escolha da solução mais apropriada está relacionada com a posterior utilização do modelo, ou seja, modelos que não pressupõem futura manipulação podem ser construídos rapidamente e sem grande preocupação sobre a organização ou parametrização do mesmo. Contrariamente, modelos em que a sua manipulação é espectável, como é o caso do modelo desenvolvido neste trabalho, estes devem ser construídos com atenção a organização e parametrização, de forma a permitirem a fácil compreensão e modificação por parte de terceiros.

O presente capítulo começa por apresentar a estrutura geral do modelo ao nível das referências geométricas e da sequência de operações utilizadas, finalizando com a apresentação da descrição do procedimento e dos métodos utilizados ao nível da modelação.

4.1. Estratégias de modelação

Podem ser encontrados na literatura vários trabalhos sobre modelação paramétrica, no entanto, muitas das referências analisadas, abordam este tema de uma forma conceptual, fazendo pouca referência ao processo de modelação do ponto de vista prático. Como exemplo, temos o caso do trabalho desenvolvido por Salehi [9], onde apenas são desenvolvidas as fases um e três da metodologia anteriormente apresentada em 2.2.1, não havendo muita informação sobre a fase dois – a modelação. Dos trabalhos consultados, os autores que apresentam mais informação específica sobre a modelação são Bodein *et al.* [11], que apresentam o conceito de modelação baseada em referências explícitas, analisada com maior detalhe em 2.2.1. Rynne [10] enumera os atributos de um bom modelo paramétrico, sendo estes:

- Correta seleção do plano do *sketch* da primeira operação;
- Seleção da origem mais apropriada para o modelo;
- Correta seleção da primeira operação;
- Correta orientação da peça;
- Utilização de *sketches* simples;
- Geometrias dos *sketches* completamente definidas;
- Sequência de operações mais apropriada;

Definindo ainda o seguinte procedimento de modelação:

1. Determinar o plano do *sketch*;
2. Desenhar o perfil;
3. Adicionar constrangimentos e relações e dimensões;
4. Aplicar operação de adição de material;
5. Repetir os passos 1-5 para adicionar estruturas principais;
6. Aplicar operações de remoção de material (furos, caixas, etc.);
7. Aplicar operações de acabamento (chanfros, boleados, etc.).

E Johnson [23] que identifica como fatores que facilitam a alteração de um modelo:

- Atribuição de nomes às operações, na árvore do modelo;
- A implementação de operações de padrão (circular, linear, etc.);
- A utilização de geometrias de referência (planos, linhas, etc.);

- Aplicação de operações simples (baseadas em *sketches* pouco complexos).

O procedimento descrito no próximo ponto tem em consideração as indicações aqui apresentadas, bem como todos os aspetos apresentados no Capítulo 2, tendo especial consideração pelo ponto 2.2.

4.2. Procedimento

O modelo da base de alumínio foi desenvolvido atendendo a toda a informação até aqui apresentada. Os pontos seguintes descrevem a estrutura do modelo ao nível das referências geométricas e da sequência de operações, 4.2.1 e 4.2.2, respetivamente. Seguidamente, em 4.2.3 são analisados os métodos de modelação utilizados pelo autor, que permitiram atingir a estrutura do modelo apresentada.

4.2.1. Referências geométricas

Como foi anteriormente abordado no subcapítulo 2.2, a criação de referências nos limites do sólido é uma potencial causa de instabilidade, uma vez que alterações nas operações que deram origem a essa referência podem impossibilitar a sua utilização para a finalidade desejada. Por esta razão, o modelo da base de alumínio possui uma série de *geometrical sets* (entidades compostas por geometrias não solidas, planos, linhas, pontos, superfícies, etc.), identificados com os mesmos nomes, associados às operações realizadas (os nomes das estruturas que compõem a base de alumínio), como é possível observar na Figura 4.1, onde se encontram todas as referências necessárias (planos, pontos e linhas), para a modelação do sólido. Desta forma, é simplificado o acesso às referências utilizadas por cada operação, sendo eliminada grande parte da possível instabilidade provocada pela referenciação no modelo sólido.

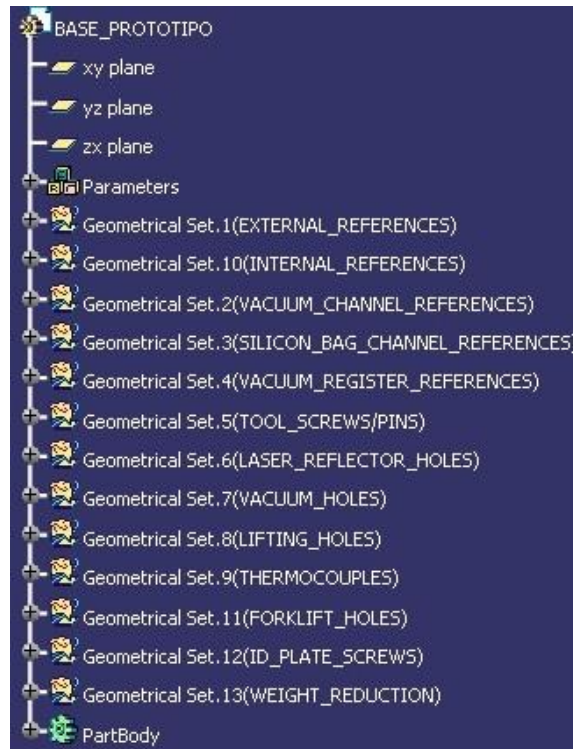


Figura 4.1 - Árvore do modelo da base de alumínio

4.2.2. Sequência de operações

Na ótica de Bodein et al. [6], a tarefa mais complexa no desenvolvimento de um modelo paramétrico é a definição da sequência de operações que permita obter maior robustez. A Figura 4.2 demonstra como a localização de uma operação do tipo chanfro pode provocar instabilidade no modelo na eventualidade desta ser eliminada, situação relativamente comum numa fase inicial do projeto.



Figura 4.2 - Sequência de operações na árvore de um modelo CAD, adaptada [4]

A sequência de operações da base, apresentada na Figura 4.3, foi definida com os objetivos de evitar instabilidades e de facilitar a interpretação e alteração do modelo. Tal como anteriormente apresentado em 4.2.1 todas as operações foram identificadas com os nomes das estruturas que compõem a base de alumínio. Podemos também observar a

presença de várias operações tipo padrão, associadas aos furos. Desta forma existe a garantia de que todos os furos com o mesmo propósito possuem as mesmas dimensões, e, na eventualidade de se proceder a alterações, todos os furos associados a esse padrão são alterados. Relativamente à sequência, podemos identificar em primeiro lugar a operação “Pad1 (BASE_SHAPE)”, a única operação de adição de material, seguida por todas as operações de remoção de material, começando pelas que mais influenciam a geometria do sólido, e terminando com os furos. Em último lugar, foi aplicado um chanfro, eliminando assim a possibilidade de ocorrência de instabilidades do tipo apresentado na Figura 4.2.

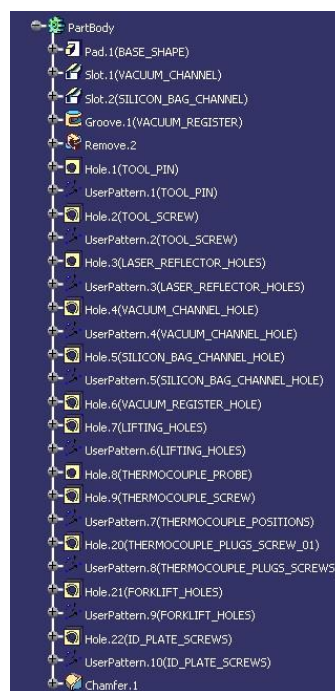


Figura 4.3 - Árvore do sólido da base de alumínio

4.2.3. Modelação

O processo de modelação iniciou-se com a identificação de um conjunto de parâmetros base para o desenvolvimento do modelo (cuja implementação na árvore do modelo é apresentada na Figura 4.4.), nomeadamente: o comprimento e a largura do molde ao qual a base será aplicada (01 e 02 respetivamente); a espessura da base (03); a distância entre centros dos tubos destinados a elevação por empilhador (04); e, por fim, a espessura a retirar quando for efetuada a redução de peso (05).

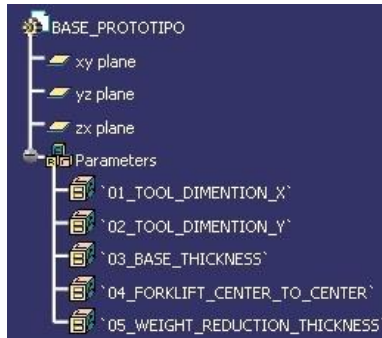


Figura 4.4 – Implementação dos parâmetros

Em segundo lugar, foram criadas as “referências externas”, como apresenta a Figura 4.5. Estas referências são as geometrias base de todo o modelo, que deverão ter origem no molde ao qual a base será aplicada, sendo as suas localizações: a base do molde para o plano; o centro geométrico da base do molde, para o primeiro ponto; e os centros dos furos destinados às cavilhas de fixação, para os pontos dois e três.

Sendo este o modelo original, o plano e os pontos apresentados, foram criados arbitrariamente.

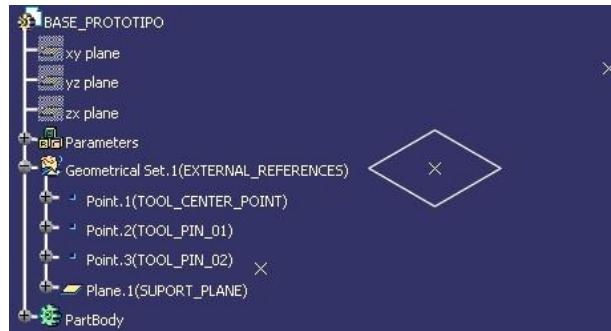


Figura 4.5 - Referências externas

De seguida, foram introduzidas as “referências internas”. Estas são, tal como as externas, transversais a todas as operações, contudo têm origem nas referências externas e não em estruturas exteriores ao modelo da base de alumínio.

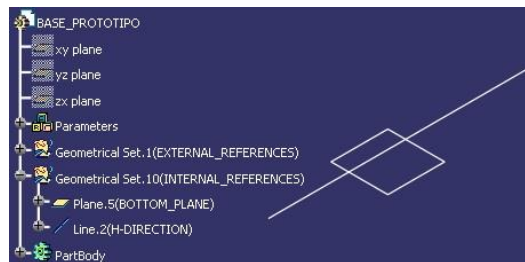


Figura 4.6 – Referências internas

Após a inclusão dos parâmetros e das referências gerais, foram incluídas as referências específicas de cada estrutura.

Em produtos como aviões, helicópteros, ou automóveis, todas as peças são construídas relativamente à mesma origem, e os moldes correspondentes utilizam a superfície da peça, o que leva a que não existam dois planos base iguais. Em todas as estruturas foi utilizado o comando “*Positioned sketch*”, através do qual é possível selecionar, não só o plano, mas também o ponto de origem e a orientação dos eixos do *sketch*. Desta forma, mesmo que o plano e os pontos selecionados como referências externas sejam diferentes dos utilizados na construção do modelo original, as posições relativas de todos os *sketches* manter-se-ão constantes, desde que o ponto de origem selecionado seja o mesmo. A Figura 4.7 apresenta o menu de contexto deste comando, onde se podem observar os campos preenchidos de forma a iniciar um *sketch* sobre o plano da base do molde, com origem no ponto central do molde e orientação da linha existente nas referências internas.

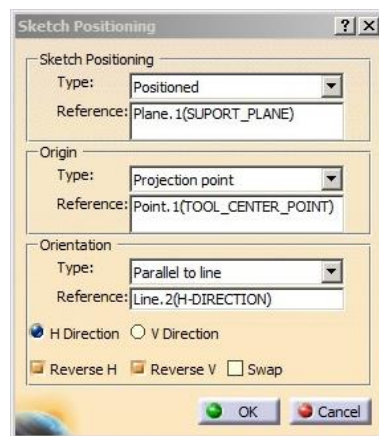


Figura 4.7 - Menú de contexto do comando “*Positioned sketch*”

Utilizando este método, foram criados os *sketches* afetos à construção do canal de vácuo, que podemos observar na Figura 4.8. O *sketch* à esquerda corresponde ao perímetro do canal, onde o comprimento e a largura são controlados por fórmulas, de tal modo que a distância até ao bordo da peça seja sempre igual a cem milímetros. O *sketch* à direita representa a secção do canal. Neste caso os parâmetros foram bloqueados, uma vez que a sua geometria é constante e corresponde à apresentada na Figura 3.6. Este *sketch* está posicionado sobre o plano apresentado, que foi criado com base nas referências externas e internas, para que, desta forma, o seu posicionamento seja sempre o mesmo, independentemente do plano externo selecionado.

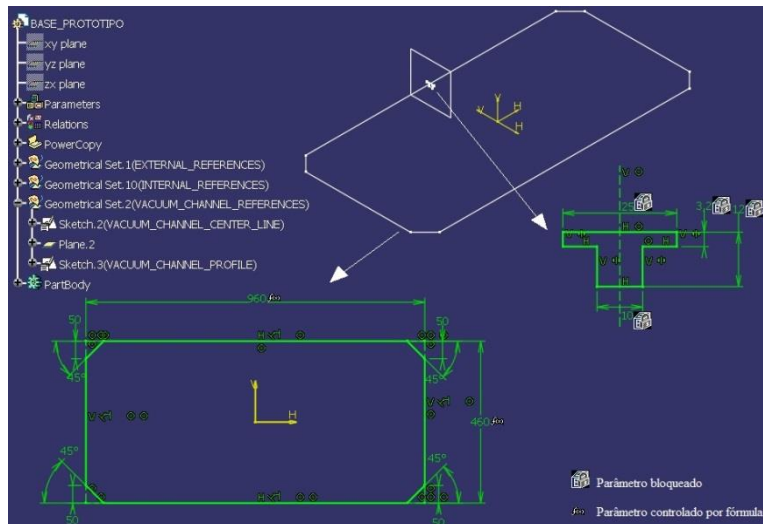


Figura 4.8 - Referências do canal de vácuo

As referências para o canal, para o saco de silicone e para o ponto de registro foram criadas de forma idêntica à apresentada anteriormente. Para os vários furos presentes na base de alumínio, foram criados *sketches* com os pontos que indicam a sua localização, tal como podemos observar na Figura 4.9, que apresenta as referências necessárias para a criação dos furos de fixação do molde, apresentados em 3.3.7, sendo as cavilhas coincidentes com os pontos usados como referência externa. O *sketch* apresentado no canto superior direito contém apenas esses dois pontos e os constrangimentos de coincidência. O *sketch* apresentado no canto inferior direito apresenta os pontos destinados aos parafusos. Neste caso temos dois pontos coincidentes com furos das cavilhas representados como geometria de construção, e os dois pontos onde serão realizados os furos roscados distanciados a dezanove milímetros dos primeiros, estando estes dois parâmetros ligados por uma relação de equivalência e bloqueados, como se pode observar no quadro apresentado na Figura 4.9, (de acordo com a Figura 3.13). Para os restantes conjuntos de furos existentes foram criados *sketches* idênticos a estes.

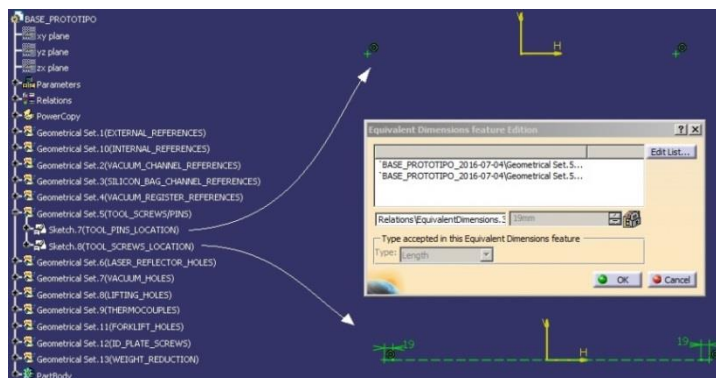


Figura 4.9 – Referências dos furos de fixação do molde

Por fim, foram criadas as referências necessárias para efetuar a redução de peso da base de alumínio, que consiste em retirar material da sua parte inferior, exceto nos locais onde estão localizados os canais, para o saco de silicone e de vácuo, e qualquer tipo de furos. Na Figura 4.10, podemos observar as geometrias de referência para a redução de peso. Nos pontos a), b), e c) temos as estruturas de reforço para a fixação do molde, a fixação dos termopares, e o ponto de registo, respetivamente. Estas estão todas associadas aos pontos que se encontram nas referências de cada um destes conjuntos de furos. No caso da Figura 4.10 d), a geometria apresentada foi construída relativamente as referências, dos canais para saco de silicone e vácuo.

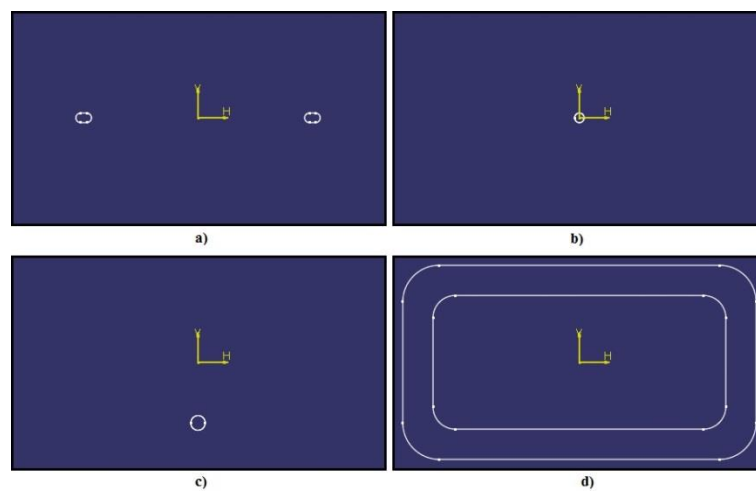


Figura 4.10 – Referências relacionadas com a redução de peso

Nesta fase, estão criadas todas as referências necessárias, passando-se à construção do sólido.

Ao nível do sólido, começou-se pela única operação de adição de material necessária. Na Figura 4.11, podemos observar a definição do “Pad1 (BASE_SHAPE)”, onde é implementada a espessura, definida por um dos parâmetros apresentados na Figura 4.4, e o comprimento e a largura da base são definidos em função da largura e comprimento do molde, facilitando, desta forma, a aplicação do modelo da base a qualquer molde.

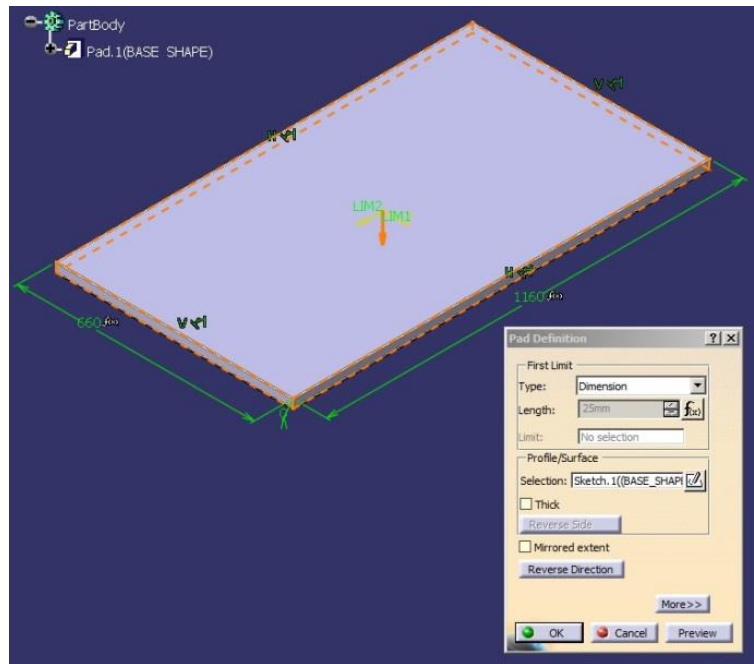


Figura 4.11 - Definição do “*Pad1 (BASE_SHAPE)*”

De seguida, foram aplicadas as operações de remoção de material, como o rasgo que forma o canal de vácuo representado na Figura 4.12, através da operação “*Slot*” que utiliza os dois *sketches* apresentados na Figura 4.8.

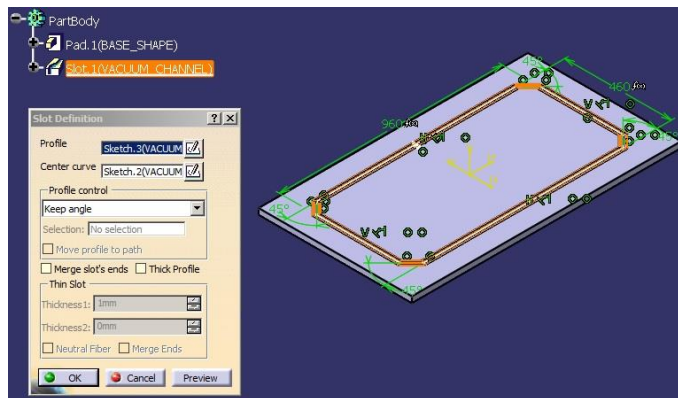


Figura 4.12 – Definição do “*Slot.1 (VACUUM_CHANEL)*”

De forma idêntica, foram criados o canal para o saco de silicone, também utilizando o “*Slot*”, e o ponto de registo, que utiliza o comando “*Groove*”.

A redução de peso é efetuada através de um conjunto de operações booleanas. Em primeiro lugar, foram criados o “*Body.2*” e o “*Body.3*” contendo as geometrias apresentas na Figura 4.13 b) e a) respetivamente, sendo a primeira um paralelepípedo idêntico a primeira operação do modelo da base, apresentada na Figura 4.11, mas sendo a espessura controlada pelo parâmetro “*espessura da redução de peso*” (Figura 4.4), e a

segunda um conjunto de geometrias de reforço dos furos, e dos canais presentes na base de alumínio. De seguida, foi aplicada a operação booleana “*Remove*”, onde foi removido o “*Body.3*” ao “*Body.2*” originando a geometria que se pretende remover ao sólido atual da base. Esta pode ser observada na Figura 4.13 c). Por último, foi novamente utilizada a operação booleana “*Remove*” para obter a geometria da base apresentada na Figura 4.13 d) com a redução de peso efetuada.

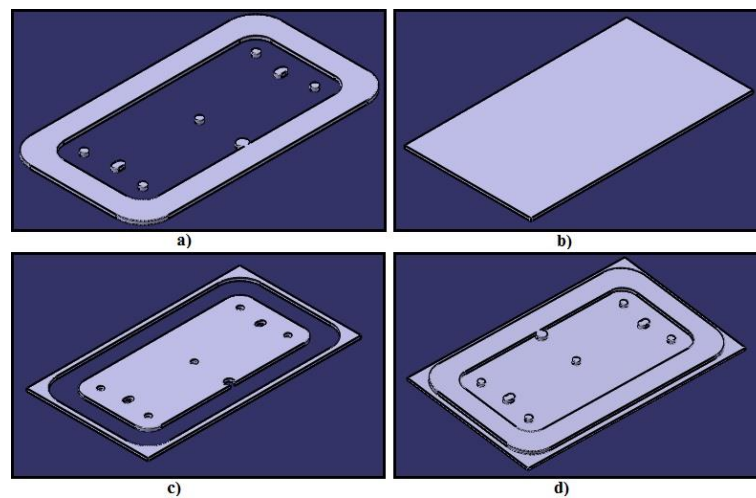


Figura 4.13 – Passos envolvidos na aplicação da redução de peso

Na Figura 4.14. pode ser observado o conjunto de operações que deu origem a estes sólidos, onde é perceptível a existência de várias operações de adição de material na construção do “*Body.3*”. Este podia facilmente ter sido construído com recurso a apenas uma operação, sendo para isso necessário a construção de um único *sketch* com todas as geometrias dos reforços a realizar. Neste cenário, a alteração da posição dos furos da base poderia resultar numa interseção das geometrias, dentro do *sketch*, gerando um erro na aplicação da operação “*Pad*” e consequentemente no modelo. O método utilizado elimina esta possibilidade uma vez que os *sketches* utilizados são constituídos por geometrias simples, anteriormente apresentadas na Figura 4.10, sendo esta a solução mais robusta encontrada.

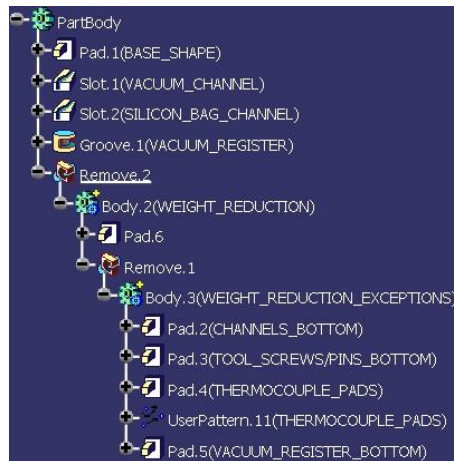


Figura 4.14 – Árvore do sólido após aplicação da operação “Remove.2”

Nesta fase, temos a geometria praticamente definida, faltando apenas os furos e o chanfro. Analisando em maior detalhe a construção furos para alvos óticos, podemos observar, na Figura 4.15, o menu contextual do comando “Hole” aplicado ao primeiro destes furos. O diâmetro do furo foi bloqueado com o valor de 6,35 e o furo definido como passante, sendo a sua localização dada pelas referências presentes no *geometrical set* correspondente, ficando assim este furo definido como apresentado na Figura 3.11.

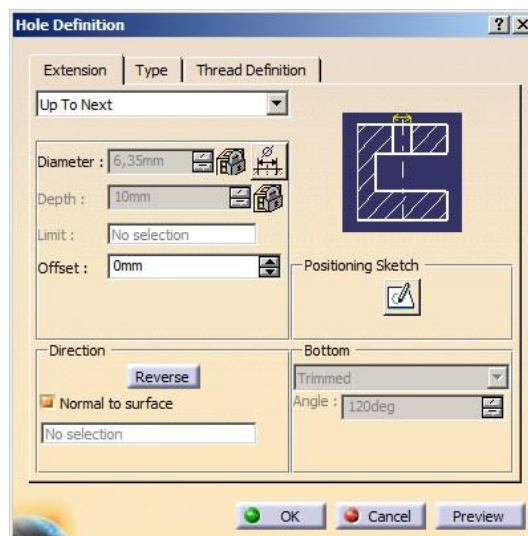


Figura 4.15 – Menu contextual do comando “Hole”

Para completar o conjunto de sete furos, necessário ao bom funcionamento do sistema abordado em 3.3.5, foi aplicada a operação “UserPattern”. Esta permite a multiplicação de geometrias num padrão definido pelo utilizador, através de uma nuvem de pontos contida num *sketch*. Na Figura 4.16 podemos observar o menu contextual da operação “UserPattern”, onde foi introduzido, no campo “Positions”, o *sketch* contendo

as posições onde queremos introduzir os furos, e no campo “*Object*” o furo inicialmente criado. Desta forma, passamos da configuração apresentada na Figura 4.17 a) para a da Figura 4.17 b), com a garantia de que todos os furos destinados aos alvos óticos possuem o mesmo diâmetro. Havendo a necessidade de alterar as posições dos furos, é apenas necessário alterar o posicionamento dos pontos que compõem o *sketch* utilizado.

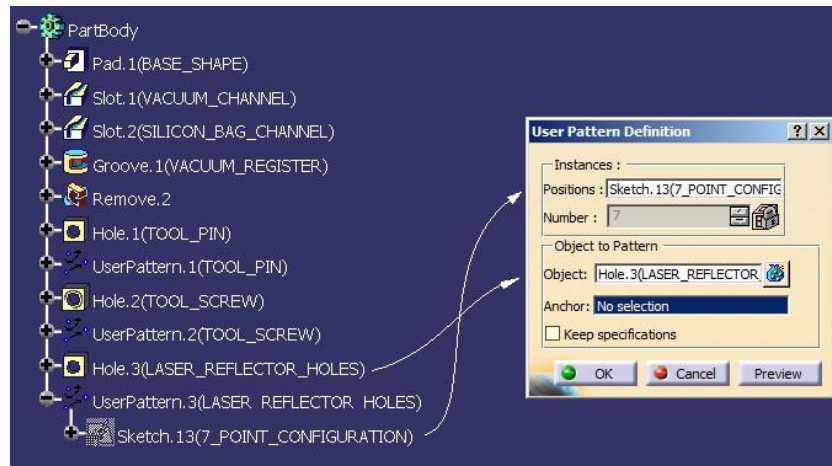


Figura 4.16 – Aplicação da operação “*UserPattern*”

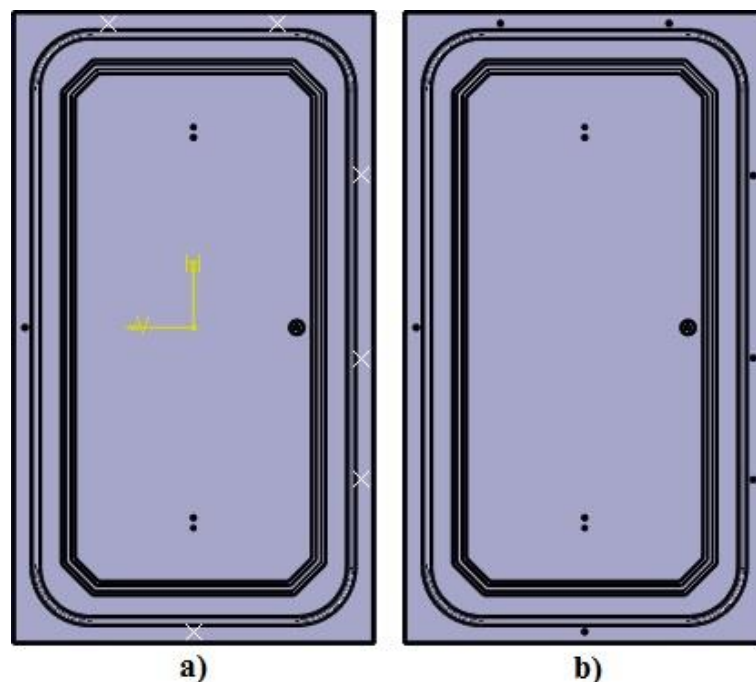


Figura 4.17 – Estado do sólido antes (a) e depois (b) da aplicação do “*UserPattern.3*”

O procedimento anteriormente descrito foi aplicado a todos os conjuntos de furos da base de alumínio, pelas razões anteriormente apresentadas.

Para finalizar o modelo, foi aplicado um chanfro nas arestas apresentadas na Figura

4.18, eliminando algum material desnecessário e reduzindo a probabilidade de acidentes, devido à redução das arestas cortantes.

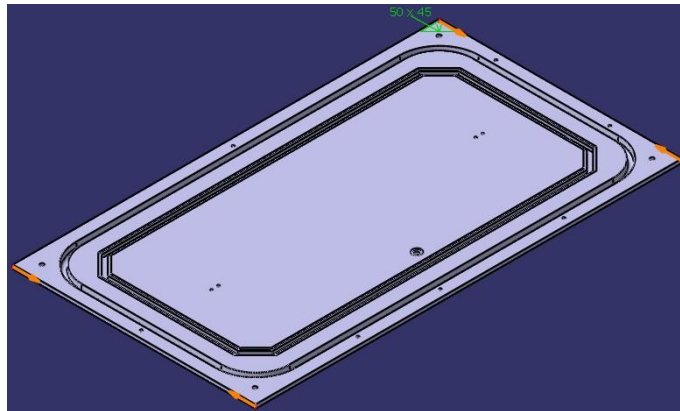


Figura 4.18 – Seleção das arestas para aplicação do chanfro

4.3. Conclusões

A geometria final obtida, apresentada na Figura 4.19 resulta da aplicação das operações que podem ser observadas na árvore do sólido, representada na Figura 4.3, que têm por base as referências geométricas inseridas nos *geometrical sets* que compõem a árvore do modelo, representada na Figura 4.1. Este representa a forma geral da base de alumínio, contendo as suas estruturas de acordo com as indicações presentes nos pontos 3.3.1 - 3.3.8.

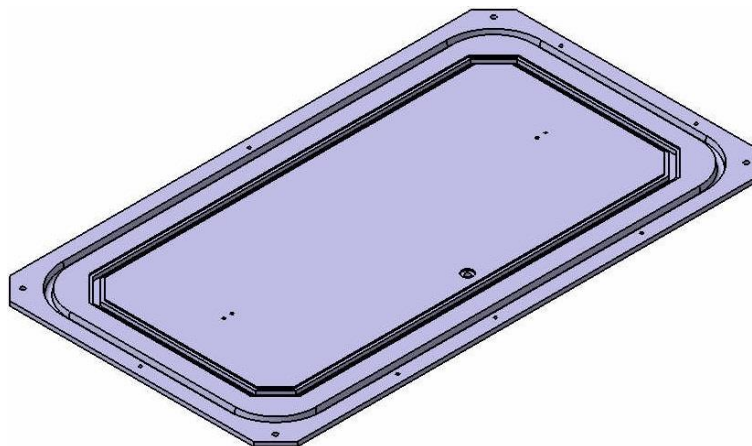


Figura 4.19 – Modelo final da base de alumínio

Todo o modelo foi desenvolvido com o objetivo de ser reutilizado por terceiros, pelo que a sua fácil compreensão um fator essencial ao cumprimento deste propósito. Neste sentido, foi dado especial ênfase à organização da árvore do modelo, tendo

também atenção a robustez do modelo. Assim:

- A sequência de estruturas utilizada tentou ser a mais lógica e intuitiva possível, sendo as operações que representam as maiores alterações na geometria efetuadas em primeiro lugar, obtendo-se assim uma diminuição da instabilidade, uma vez que as operações com maior possibilidade de a provocarem são implementadas quando o modelo ainda é bastante simples.
- A todos os elementos foi atribuído um nome, que permite identificar qual o seu propósito, facilitando a sua localização e eliminando a necessidade de interações desnecessárias por parte do utilizador;
- Foram criadas referências externas ao sólido para utilizar nas operações efetuadas. Todas as operações onde isto não foi possível foram deixadas para último. Estas correspondem, em noventa por cento dos casos, a operações de acabamento, como chanfros ou boleados, que são facilmente editáveis em caso de erro, e desta forma não provocam erros nas restantes operações.

Nesta fase estão, reunidas as condições para transformar este modelo paramétrico num modelo generativo, processo que será descrito no próximo capítulo.

Capítulo 5

Modelo generativo

O presente capítulo descreve o método utilizado para transformar o modelo paramétrico da base de alumínio, apresentado no capítulo anterior, num modelo generativo, uma aplicação que permite a criação de outras bases de alumínio, tendo por referência a geometria dos moldes a que estas serão aplicadas. Exemplos de outras aplicações de modelos generativos podem ser consultados no ponto 2.3.1, onde os métodos apresentados consistem maioritariamente em aplicações de programação como macros ou sistemas de gestão de base de dados, a exceção dos UDF apresentados por Bodein *et al.* [6].

Estando o autor pouco familiarizado com linguagens e estratégias de programação, a opção de encarar o problema deste ponto de vista foi prontamente passada para segundo plano. Considerando que o modelo deve permitir alterações posteriores à sua criação, a utilização de UDF foi posta de parte, uma vez que esta ferramenta é do género caixa negra, ou seja, na árvore do modelo não fica qualquer informação sobre as operações utilizadas, o que inviabiliza alterações posteriores. O método selecionado utiliza o *powercopy*, ferramenta idêntica ao UDF, mas quando é gerado o novo modelo todas as entidades do modelo inicial são copiadas para o contexto atual.

5.1. Powercopy

O *powercopy* é um comando pertencente ao módulo *Knowledgware* do *software* CATIA-V5. Em termos gerais, o seu funcionamento baseia-se em aplicar estruturas previamente modeladas a novos modelos. Para que isto seja possível, as referências a utilizar no contexto de destino devem ser idênticas às utilizadas no contexto original, para que, desta forma, o *software* consiga construir uma estrutura idêntica à original, mas com os parâmetros do contexto de destino.

5.2. Configuração

Normalmente, o *powercopy* é utilizado para aplicar uma estrutura, ou um conjunto pequeno de estruturas, de forma a agilizar o processo de modelação de um componente. No contexto do presente trabalho, o *powercopy* é aplicado de forma a construir todo o componente, sendo necessárias apenas pequenas alterações para finalizar o modelo da base de alumínio.

Em primeiro lugar, são seleccionados as entidades que se pretende incluir no novo modelo. Conforme podemos observar na Figura 5.1, todas as entidades foram seleccionadas com a exceção das referências externas, que deverão ser criadas pelo utilizador a partir do molde ao qual a base de alumínio será aplicada.

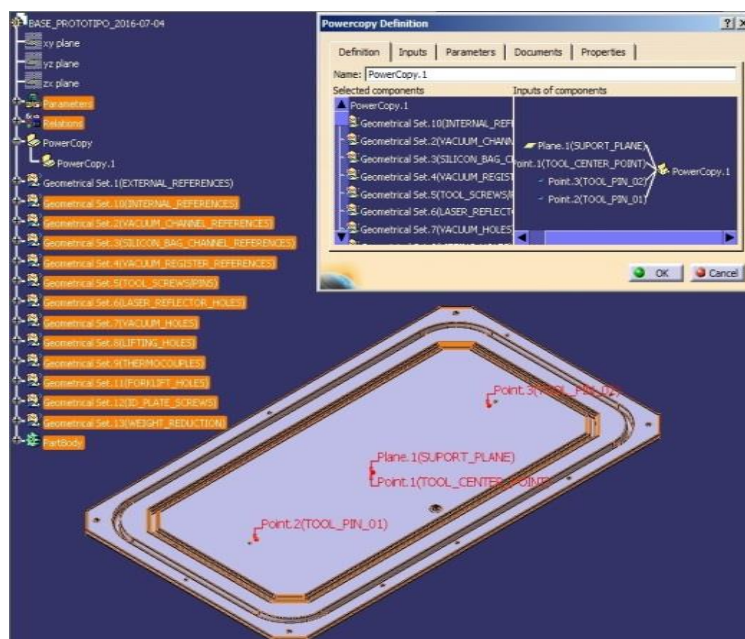


Figura 5.1 - Definição do comando *Powercopy*

De seguida, no separador *inputs*, são seleccionadas as referências necessárias para que se possa aplicar o modelo, como pode ser observado na Figura 5.2. Os únicos *inputs* necessários serão o plano da base do molde, o seu ponto central e os pontos dos dois furos destinados a cavilhas.

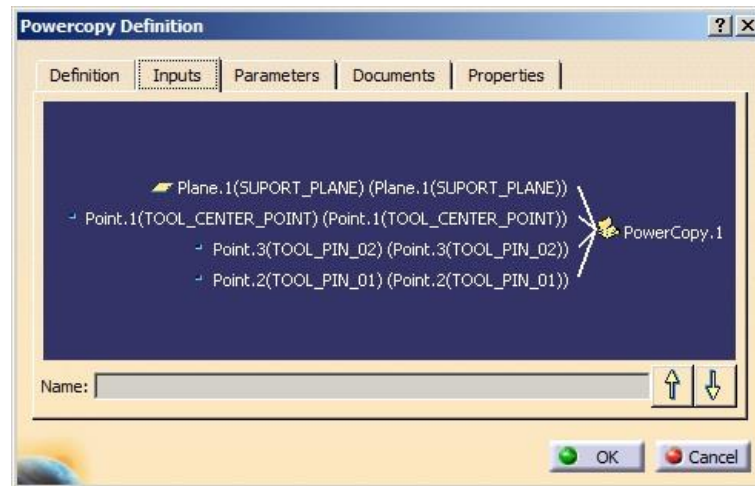


Figura 5.2 – Separador “*Inputs*” do comando *Powercopy*

Por fim, foram escolhidos os parâmetros indispensáveis para que o modelo criado seja correto. Como podemos verificar na Figura 5.3, foram seleccionados os parâmetros que correspondem ao comprimento e largura do molde ao qual a base será aplicada, desta forma o modelo criado terá as dimensões corretas.

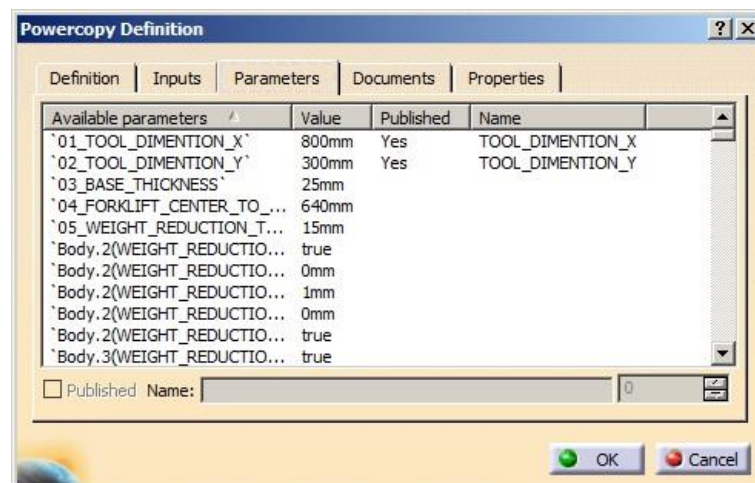


Figura 5.3 – Separador “*Parameters*” do comando *Powercopy*

Temos assim o *powercopy* configurado. O próximo ponto aborda o procedimento necessário para gerar uma base de alumínio aplicada a um molde.

5.3. Aplicação

Para que seja possível aplicar o modelo, é necessário conservar uma cópia do ficheiro onde originalmente foi configurado o *powercopy*. Em primeiro lugar é necessário criar as “referências externas”, um plano coincidente com a base do molde, um ponto central do molde, e dois pontos posicionados no centro dos furos, destinados às cavilhas de fixação do molde.

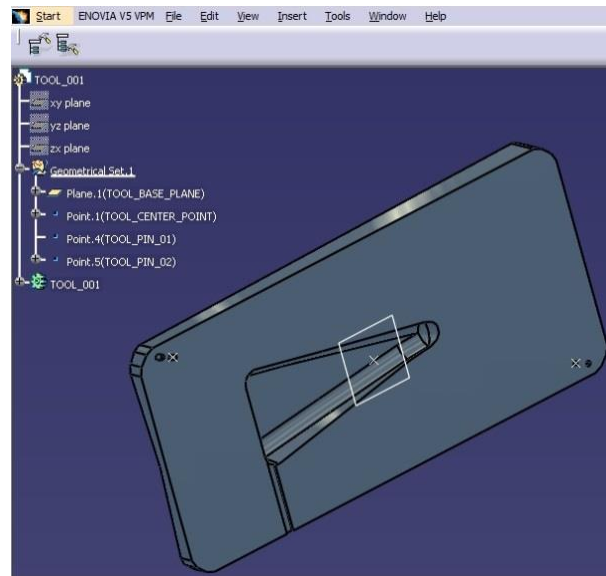


Figura 5.4 – Criação das “referências externas”

De seguida utilizar o comando “*Instantiate From Document*” do menu “*Insert*”, e seleccionar o modelo original, tal como representa a Figura 5.5. Isto irá dar início ao processo de aplicação do modelo da base.

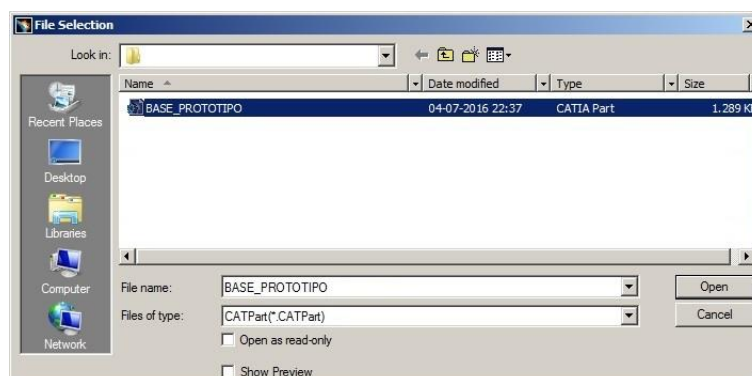


Figura 5.5 – Seleção do ficheiro contendo o modelo original da base de alumínio

O próximo passo consiste em seleccionar o plano e os pontos, anteriormente criados, nos locais apropriados, como pode observar-se na Figura 5.6 a), e introduzir os valores

dos parâmetros de comprimento e largura da base no menu contextual da opção “parameters” representado na Figura 5.6 b)

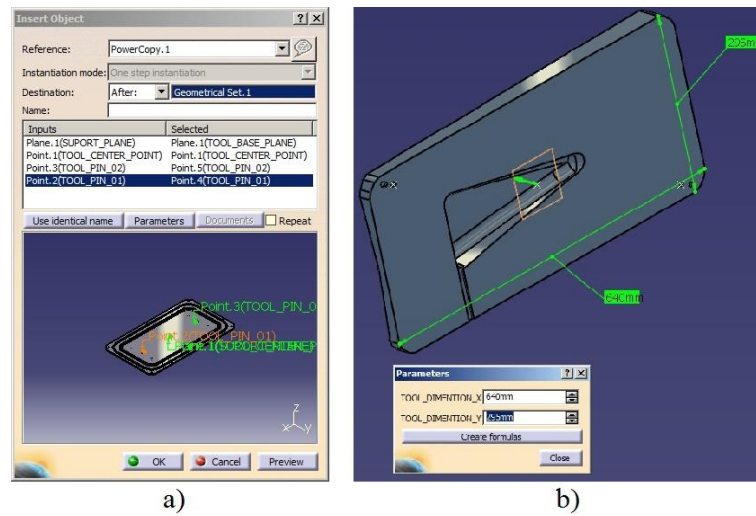


Figura 5.6 – Introdução das referências (a) e dos parâmetros (b) necessários a aplicação do modelo

No fim do processo o resultado obtido deverá ser idêntico ao apresentado na Figura 5.7, onde podemos observar que todos os *geometrical sets* foram criados, bem como o sólido da base de alumínio, sendo a geometria apresentada proporcional ao molde.

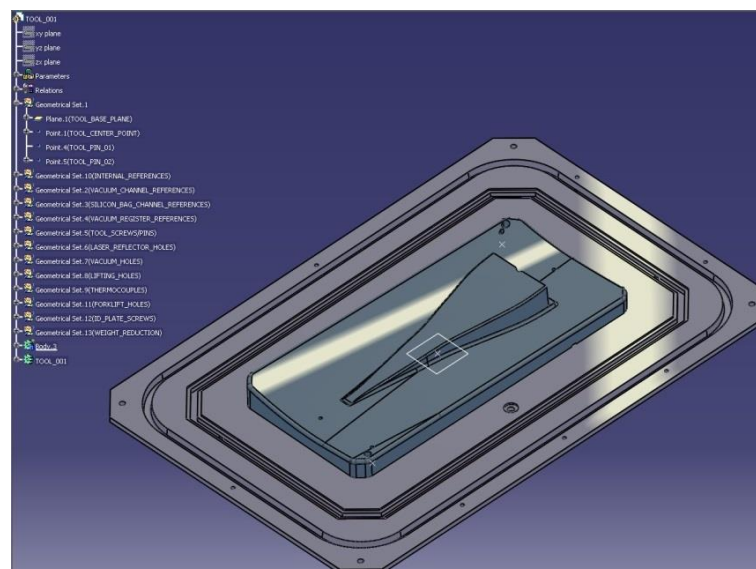


Figura 5.7 – Resultado da aplicação do modelo a um molde de laminação

5.4. Conclusões

Com recurso à ferramenta *powercopy*, foi possível desenvolver um modelo generativo da base de alumínio que pode ser aplicado a moldes de laminação

desenvolvidos pela OSS. Paralelamente, foi elaborado manual de instruções, apresentado no Anexo I, com o propósito de familiarizar o utilizador com o método de implementação do modelo.

Comparativamente com aplicações de programação, como as apresentadas nas referências [3], [5], [13], e [14], este método possui menos flexibilidade pois não possibilita a escolha automática entre várias configurações possíveis de uma determinada estrutura. No entanto a sua aplicação, bem como eventuais alterações, podem ser realizadas diretamente pelos desenhadores, não sendo necessária a intervenção de profissionais com conhecimentos ao nível da programação.

A principal diferença entre o método utilizado e os UDF's apresentados por Bodein et al. [6], está no resultado final da árvore do modelo. Quando são utilizados UDF's, a árvore não representa nenhuma das operações utilizadas. Contrariamente, quando é utilizado o *powercopy*, a árvore do modelo é igual à presente no modelo originalmente construído. O primeiro é mais vantajoso quando se pretende limitar a interação do utilizador. O segundo é mais indicado quando a posterior alteração é espectável, sendo este o nosso caso.

Findo o processo de construção do modelo, passou-se à avaliação do mesmo. A descrição mais detalhada dos testes realizados, bem como das avaliações levadas a cabo pelos desenhadores afetos à OSS, serão descritas em mais detalhe no próximo capítulo.

Capítulo 6

Testes e avaliação

Esta secção apresenta os testes realizados pelo autor e pelos colaboradores da OSS. É também efetuada a análise estatística do questionário apresentado no Anexo II, que pretende avaliar a qualidade e aplicabilidade do modelo desenvolvido no presente trabalho.

6.1. Testes

Foram realizados pelo autor vários testes durante o desenvolvimento do modelo. Numa primeira fase, foram criadas, num documento novo, as “referências externas”, de modo idêntico às originais, sendo posteriormente aplicado o modelo. Desta forma, foi possível confirmar a construção de todos os elementos que compõem a base, e testar (durante a sua aplicação e depois de a geometria estar criada) a capacidade do modelo em assumir várias dimensões através da alteração dos parâmetros de comprimento e largura. Nesta fase foram detetados poucos erros e, por essa razão, decidiu-se então aplicar o modelo no seu contexto correto, ou seja, utilizar um molde anteriormente modelado pela OSS.

Nesta fase, foram construídas as “referências externas” sobre um molde. Desta maneira, foi possível testar a capacidade de adaptação do modelo a um plano diferente do originalmente utilizado. Aqui, foram detetadas várias falhas ao nível do posicionamento relativo entre as estruturas, provocadas maioritariamente por erros de posicionamento de pontos de referência.

Após reformulação dos elementos erróneos, aplicou-se o modelo a mais dois moldes distintos. Nesta fase foram detetados poucos erros e, após a sua correção, aproveitou-se para se analisar a facilidade de compreensão e modificação do modelo, tornando-se evidente a necessidade de se obter opiniões de utilizadores não familiarizados com o modelo, nem com a forma como este foi construído.

Idealmente, seria dada total liberdade aos desenhadores afetos à OSS para efetuarem qualquer tipo de teste ou modificação. No entanto, por questões de disponibilidade, foram adicionadas ao questionário algumas propostas de alteração a realizar, previamente à resposta das questões base do questionário. O documento distribuído pode ser consultado no Anexo II.

6.2. Avaliação do modelo

A avaliação da facilidade de compreensão e modificação do modelo desenvolvido foi efetuada com base na aplicação de um questionário a todos os elementos do departamento de desenho da OSS.

Este questionário teve como objetivos:

- Avaliar a qualidade do modelo através dos seguintes parâmetros: organização; parametrização; facilidade de compreensão; facilidade de alteração; robustez do modelo;
- Comparar o modelo desenvolvido com o método de modelação convencional, nomeadamente, nos tempos de modelação e alteração do modelo.

6.2.1. Caracterização da amostra

Foram recolhidos dados dos sete profissionais que compõem o departamento de desenho da OSS, onde o modelo desenvolvido será implementado. A amostra é constituída por 6 elementos do sexo masculino (86%) e por um elemento do sexo feminino (14%), com idades compreendidas entre os 25 e os 50 anos.

Apesar de ser composta pela totalidade dos profissionais ligados à OSS com conhecimentos de modelação, o número reduzido de indivíduos da amostra não permite a obtenção de resultados estatisticamente significativos. No entanto, representa uma oportunidade de analisar o desempenho do modelo, numa perspetiva diferente da possuída pelo autor.

Analisando a amostra quanto à sua experiência e formação em *softwares* CAD, foram obtidos os gráficos apresentados na Figura 6.1 e na Figura 6.2. Como podemos observar, todos os inquiridos têm uma experiência igual ou superior a cinco anos em *softwares* CAD, no entanto, a maioria possui menos de cinco anos de experiência no *software* CATIA-V5. Em termos de formação, os resultados indicam que quase a maior parte das horas de formação obtidas foram em *software* CATIA-V5. Isto poderá indicar a utilização de outros *softwares* a nível académico, como ferramentas de introdução ao CAD, e a posterior utilização de CATIA-V5 em contexto profissional, tendo obtido para isso formação específica.



Figura 6.1 – Distribuição da amostra relativamente à sua experiência em *softwares* CAD e, especificamente, no *software* CATIA-V5

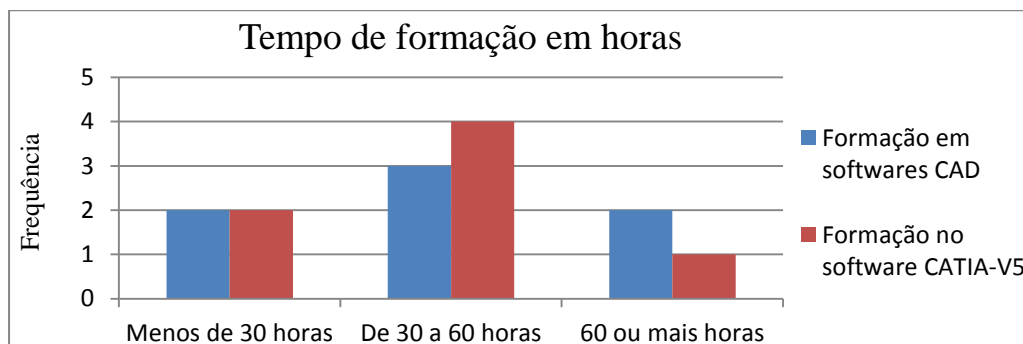


Figura 6.2 – Distribuição da amostra relativamente à sua formação em *softwares* CAD e, especificamente, no *software* CATIA-V5

6.2.2. Resultados

Procede-se agora à análise dos resultados da avaliação do modelo. A análise de frequência da classificação dos parâmetros de avaliação do modelo apresentada na Figura 6.3 sugere uma classificação geral do modelo positiva, sendo no entanto observáveis classificações contraditórias ao nível da robustez.

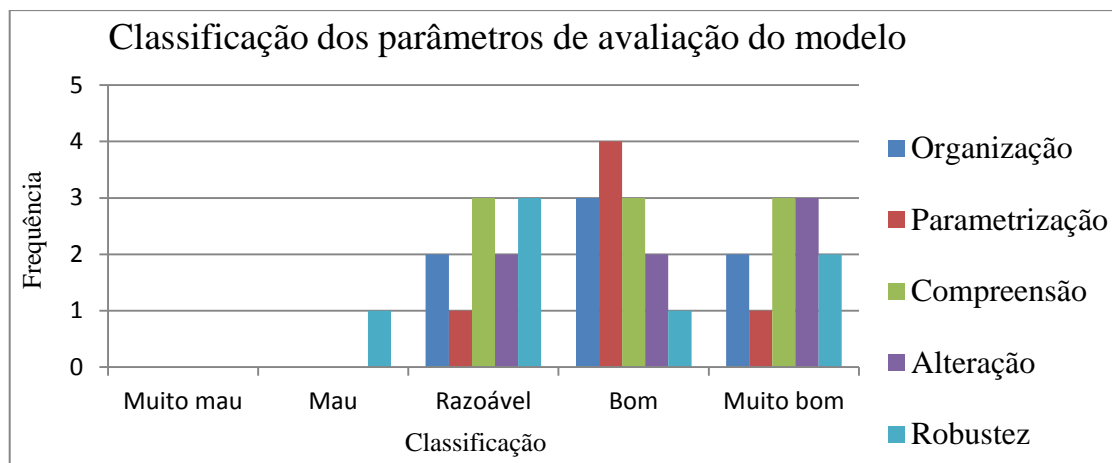


Figura 6.3 – Análise de frequência da classificação dos parâmetros de avaliação do modelo

Na Tabela 6.1 temos as classificações médias de todos os parâmetros positivos sendo a média total da classificação do modelo de 4,03. A análise do desvio padrão também sugere uma maior discordância relativamente a classificação da robustez.

Tabela 6.1 – Classificação dos parâmetros de avaliação do modelo

1-Muito mau;2-Mau;3-Razoável;4-Bom;5-Muito bom	Média	Desvio padrão
Organização	4,00	0,76
Parametrização	4,14	0,64
Facilidade na compreensão	4,29	0,70
Facilidade de alteração	4,14	0,83
Robustez do modelo	3,57	1,05
Média	4,03	1,52

Relativamente à possibilidade de a implementação deste modelo permitir a redução do tempo de modelação da base de alumínio, a análise da frequência absoluta, apresentada Figura 6.4, reflete resultados positivos, obtendo-se uma média de 48,7 minutos. No entanto, o desvio padrão, apresentado na Tabela 6.1, de 41,64 revela grande dispersão das respostas, consequência de um *outlier*, com o valor de 150 minutos.

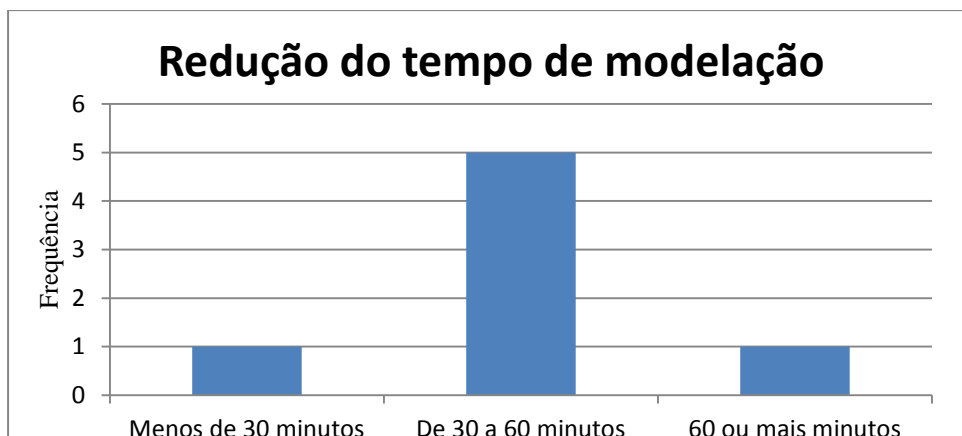


Figura 6.4 - Análise de frequência da quantificação da redução do tempo de modelação

Analisando a possibilidade de a implementação deste modelo permitir a redução do tempo de modelação da base de alumínio, a análise da frequência absoluta, apresentada Figura 6.5, aponta no sentido de uma amostra muito dispersa, obtendo-se uma média de 6,57 minutos, e um desvio padrão, apresentados na Tabela 6.1, de 4,37 confirmando assim a grande dispersão espectável dos resultados. Neste caso não existem *outliers*.

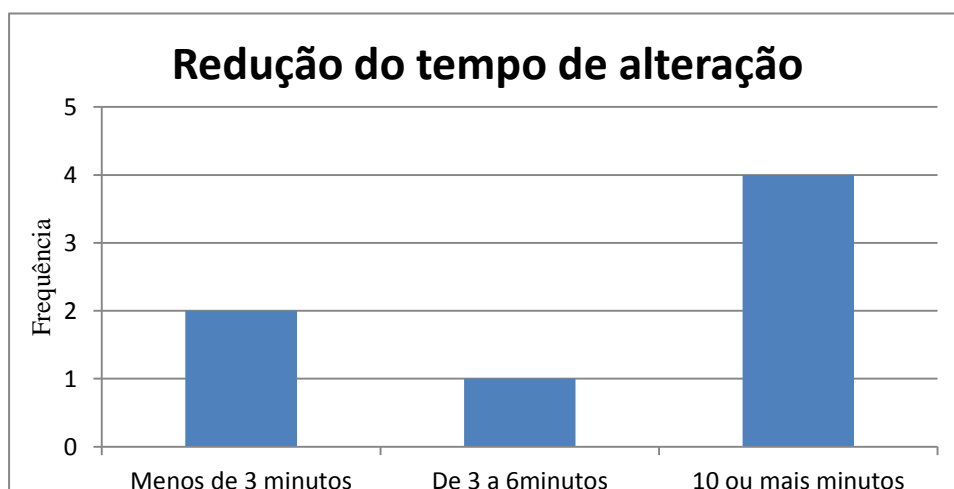


Figura 6.5- Análise de frequência da quantificação da redução do tempo de alteração

Tabela 6.2 – Análise de localização e dispersão das reduções de tempo obtidas

	Média (minutos)	Desvio padrão
Redução do tempo de modelação	48,57	41,64
Redução do tempo de alteração	6,57	4,37

Quando questionados sobre se a implementação desta ferramenta poderia representar uma mais-valia para o processo de modelação, 100% dos inquiridos responderam de forma positiva, tendo 72% indicado, no entanto, que esta necessita de melhorias antes de ser possível a sua implementação.

Relativamente a propostas de melhoria, estas envolvem:

- Aumentar a quantidade opções controladas por parâmetros;
- Incluir a quantidade de termopares e furos OPT nos parâmetros;
- Melhorar a robustez do modelo.

6.3. Conclusões

As avaliações realizadas pelos colaboradores da OSS apresentam classificações positivas aos parâmetros utilizados. No entanto, temos uma dispersão elevada dos resultados, possivelmente provocada pela dimensão reduzida da amostra. O parâmetro onde esta dispersão é mais evidente é a robustez, o que pode indicar que alguns dos inquiridos tenham explorado mais profundamente o modelo, resultando em instabilidade acrescida.

Foi verificada uma diminuição dos tempos de modelação, 48,57 minutos em média, e alteração do modelo, 6,57 minutos em média. A pequena melhoria registada no tempo de alteração pode ser provocada por vários fatores:

- Dimensão reduzida do modelo;
- Problemas de instabilidade provocados por falta de robustez, sendo esta hipótese suportada pela classificação obtida por este parâmetro;
- Conjugação dos fatores anteriores.

A implementação do modelo no departamento de desenho é considerada positiva pelos colaboradores da OSS, mas apenas após revisão do mesmo. A análise das propostas de melhoria revela a necessidade de implementar processos de alteração mais fáceis de utilizar, através do aumento da quantidade opções controladas por parâmetros. Neste sentido, devem ser identificadas as modificações mais comuns e analisar quais os parâmetros que podem ser implementados, sendo a inclusão da quantidade de termopares e furos OPT nos parâmetros, uma das opções em análise. Considerando que a sua construção está dependente da operação “*user pattern*”, esta alteração pode, por

exemplo, passar pela construção de um conjunto de *sketches*, com as configurações das diferentes quantidades de furos, sendo a seleção do *sketch* utilizado pelo “*user pattern*” controlada por um parâmetro do tipo *string*. Para efetuar melhorias ao nível da robustez do modelo, pode ser aumentada a quantidade de dimensões bloqueadas ou inseridos parâmetros com valores pré-definidos, quando as variáveis em causa assim o permitam. Será também indispensável o aumento da quantidade de testes realizados por parte dos desenhadores da OSS, de forma a identificar as operações que originam erros e verificar a efetividade das alterações.

É de salientar que, embora a informação recolhida represente uma ferramenta importante no processo de melhoria do modelo desenvolvido, a sua significância estatística é questionável, devido ao tamanho reduzido da amostra utilizada. Neste sentido, poderá ser considerado o estudo da aplicação deste método a diferentes componentes, num contexto que permita a utilização de uma amostra estatisticamente relevante, possibilitando assim a avaliação apropriada do impacto do mesmo no tempo de desenvolvimento de um produto.

Capítulo 7

Conclusões e trabalhos futuros

7.1. Conclusões

A modelação generativa é uma das formas de KBE, que origina modelos generativos que podem ser construídos de várias formas. O seu potencial é amplificado quando utilizada em conjugação com a modelação paramétrica.

Baseado nesta conjugação, e de forma a agilizar o processo de modelação de ferramentas de laminação na OSS, foi desenvolvido um modelo paramétrico generativo de uma base de alumínio.

No desenvolvimento do modelo apresentado, foi utilizado o método *powercopy*. Este permite copiar um conjunto de operações previamente modeladas, possibilitando a aplicação destas operações a outros modelos. No contexto do presente trabalho, este método foi utilizado para copiar um modelo completo de uma base de alumínio. Para tal, toda a informação disponível sobre a geometria da base de alumínio foi analisada e, posteriormente, utilizada na construção do modelo paramétrico da mesma, no qual foi configurado o *powercopy*, transformando-o num modelo generativo.

Durante a elaboração do modelo, foram realizados, pelo autor, vários testes que resultaram em diversas alterações e melhorias. Foram ainda consultados os desenhadores pertencentes a OSS, de forma a avaliar a facilidade de compreensão e modificação do modelo apresentado. Os resultados obtidos sugerem que:

- Os dados recolhidos não parecem ser suficientes para avaliar corretamente o modelo. Tornando difícil a avaliação dos aspetos do modelo que necessitam de revisão;
- Existe uma redução efetiva dos tempos de modelação e alteração, indicação de que a aplicação deste tipo de metodologias representa uma mais-valia na redução do tempo de projeto;

- O presente modelo deve ser melhorado, atendendo as indicações dos desenhadore, devendo estes ser incluídos no processo de escolha das estratégias de modelação a utilizar.

De um modo geral, a literatura consultada sugere que a utilização de metodologias de KBE resulta numa diminuição do tempo de modelação dos produtos, o que suporta os resultados obtidos neste estudo. Não foram, contudo, encontrados estudos utilizando o método apresentado pelo autor.

7.2. Trabalhos futuros

Estando assim iniciado o percurso da OSS no âmbito da modelação generativa, o possível desenvolvimento de modelos idênticos, aplicados a outros componentes e produtos, está agora mais acessível, sendo crucial a inclusão dos desenhadore no processo de escolha dos componentes a modelar, na definição dos parâmetros relevantes e das estratégias de modelação a utilizar.

No seguimento do trabalho desenvolvido, o modelo apresentado deverá ser melhorado, para que seja possível a sua implementação no processo produtivo. Para aplicar as propostas de alteração apresentadas pelos desenhadore, devem ser realizados mais testes e também reuniões com os desenhadore da OSS, de forma a identificar melhor as alterações a aplicar e definir os processos de modelação a utilizar.

Tendo em conta a reduzida validade da análise estatística efetuada, aliada ao facto de não ter sido identificada literatura contendo a aplicação do método considerado pelo autor. Considera-se relevante a realização, em contexto académico, de um estudo que permita uma análise mais detalhada da influência desta metodologia no tempo de desenvolvimento de um produto.

Bibliografia

- [1] Mermoz, E. Linares, J.M. Bernard A. (2011). Benefits and limitations of parametric design implementation in helicopter gearbox design phase. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, 60: 199-202. ISSN: 0007-8506
- [2] Brière-Côté, A. Rivest, L. Desrocheres, A. (2010). Adaptive generic product structure modeling for design reuse in engineer-to-order products. *Computers in Industry*, 61: 53-65. ISSN: 0166-3615
- [3] Gardan, N. Gardan, Y. (2003). An application of knowledge based modeling using scripts. *Expert Systems With Applications*, 25: 555-68. ISSN: 0957-4174.
- [4] Skarka, W. (2007). Application of MOKA methodology in generative model creation using CATIA. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 20: 677-90. ISSN: 0952-1976.
- [5] Ramly, M.R. Asrokin, A. Rahman, S.A. Zulkifly, N.A.M. (2013). Automated a complex computer aided design concept generated using macros programming. Em: 2nd International Conference on Mechanical Engineering Research. Pahang, Malaysia, 1 a 4 de Julho de 2013, Institute of Physics Publishing. 309-16. Doi: 10.1088/1757
- [6] Bodein, Y. Rose, B. Emmanuel, C. (2013). A roadmap for parametric CAD efficiency in the automotive industry. *Computer-Aided Design*, 45: 1198-214. ISSN: 0010-4485
- [7] Sutherland, I.E. (1963). Sketchpad: A man-machine graphical communication system. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology. Dissertação de doutoramento.
- [8] Amadori, K. Tarkian, M. Ölvander, J. Krus, P. (2012). Flexible and robust CAD models for design automation. *Advanced Engineering Informatics*, 26: 180-95. ISSN: 1474-0346.
- [9] Salehi, V. McMahon, C. (2009). Action research into the use of parametric associative cad systems in an industrial context. Em: International Conference on engineering design. Stanford, CA, USA, 24 a 27 de Agosto de 2009, Stanford university. 133-44.
- [10] Rynne, A. Gaughran, W. (2007). Cognitive modeling strategies for optimum design intent in parametric modeling. *American society for engineering education*. AC: 2007-2132.
- [11] Bodein, Y. Rose, B. Emmanuel, C. (2014). Explicit reference modeling methodology in parametric CAD system. *Computers in Industry*, 65: 136-147. ISSN: 0166-3615
- [12] Mok, H.S. Kim, C.H. Kim, C.B. (2011). Automation of mold designs with the reuse of standard parts. *Expert Systems with Applications*, 38: 12537-47. ISSN: 0957-4174.
- [13] Chu, C.H. Song, M.C. Luo, V.C.S. (2006). Computer aided parametric design for 3D tire mold production. *Computers in Industry*, 57: 11-25. ISSN: 2212-8271
- [14] Hussein, H.M.A. (2014). Computer Aided Blanking Die Design Using CATIA. Em: international conference on manufacture of lightweight components. Dortmund, Julho de 2014. *Procedia CIRP*, 18: 96-101. ISSN: 2212-8271
- [15] Philipp, T.R. Winkler, T. Reinhart, G. (2013). Enhanced production control for prepreg

manufacturing. Procedia CIRP 7 doi: 10.1016/j.procir.2013.06.017

[16] Centea, T. Grunenfelder, L.K. Nutt, S.R. (2015). A review of out-of-autoclave prepregs – Material properties, process phenomena, and manufacturing considerations. *Composites: Part A*, 70: 132-54 ISSN: 1359-835X

[17] Grunenfelder, L.K. Centea, T. Hubert, P. Nutt, S.R. (2013). Effect of room-temperature out-time on tow impregnation in an out-of-autoclave prepreg. *Composites:PartA*, 45:119-26. ISSN: 1359-835X

[18] Gaspar, A (2014) Guidelines para ferramentas de laminação. Optimal Structural Solutions, documento interno.

[19] Harper, A. (2013) Why consider reusable vacuum bags? *Reinforced Plastics*, 57: 40-2. Doi 10.1016/S0034-3617

[20] Kratz, J. Hubert, P. (2015). Vacuum-bag-only co-bonding prepreg skins to aramid honeycomb core. Part II, *In-situ* core pressure response using embedded sensors. *Composites: Part A*, 72:219-227.

[21] Morais S. Desenho técnico básico 3. 2006:Porto Editora,2006. ISBN 978-972-96525-2-3

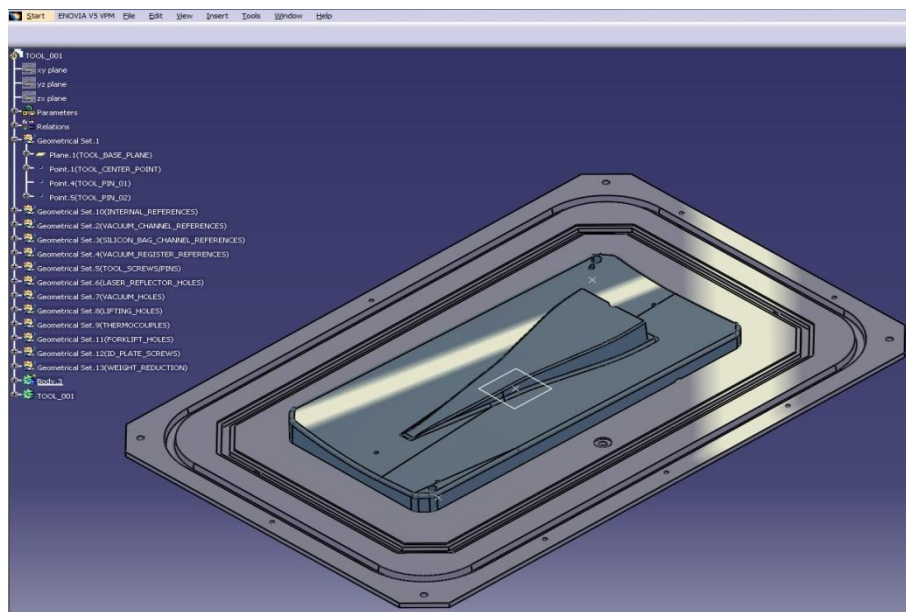
[22] Marcinčin. J.N. Barna, J. (2010). Visualization technologies in the process of making composite structures. Em: 14th International Research/Expert Conference, Mediterranean Cruise, 11-18 Setembro 2010, TMT. ISSN: 1840-4944

[23] Johnson, M.D. Diwakaran, R.P. (2011). An educational exercise examining the role of model attributes on the creation an alteration of cad models. *Computers & Education*, 57: 1749-61. ISSN: 0360-1315

Anexo I

Manual de instruções

Nesta secção é apresentado o manual de instruções, utilizado pelos desenhadores da OSS durante a fase de testes do modelo construído durante o presente trabalho. O seu objetivo é guiar, passo a passo, o utilizador, para que este possa aplicar com sucesso o modelo desenvolvido a um molde de laminação.



Criação automática de base de alumínio

Manual de instruções

Julho de 2016

1ºPasso

1. Criar um plano coincidente com a base da ferramenta (TOOL_BASE_PLANE) (Fig. 1).
2. Criar um ponto no centro da ferramenta, coincidente com o plano base (TOOL_CENTER_POINT) (Fig. 1).
3. Criar um ponto no centro do furo destinado à cavilha (TOOL_PIN_01) (Fig. 1).
4. Criar um ponto no centro do furo oblongo destinado à cavilha (TOOL_PIN_02) (Fig. 1).

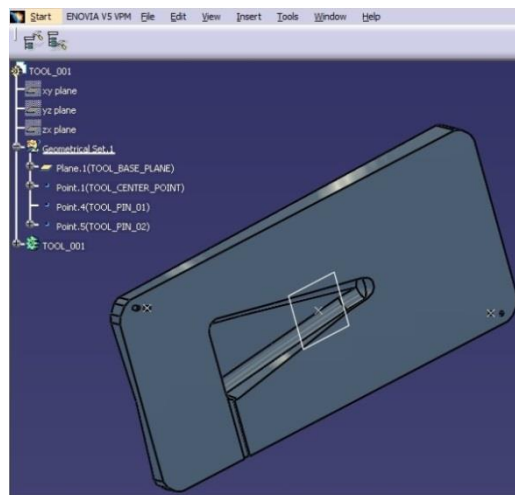


Fig. 1 - Referências do molde

2ºPasso

1. Iniciar o comando “*Instantiate From Document*” do menu “*Insert*”.
2. Selecionar o ficheiro “BASE_PROTOTIPO”(Fig. 2).

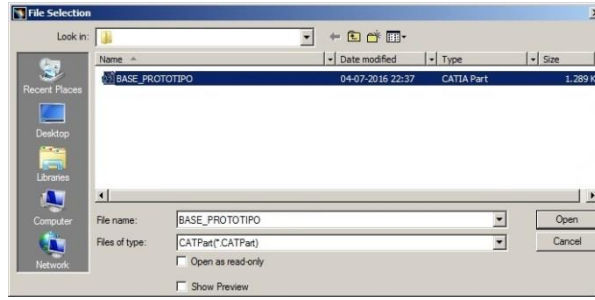


Fig. 2 - Seleção do ficheiro

3º Passo

1. Introduzir o plano e os pontos criados no 1º passo (Fig. 4 a).
2. Abrir a caixa de dialogo “Parameters”, alterar os valores de forma a que estes correspondam às dimensões da ferramenta, pressionar o botão “CLOSE” (Fig. 4 b)
3. Pressionar o botão “OK”(Fig. 4 a)

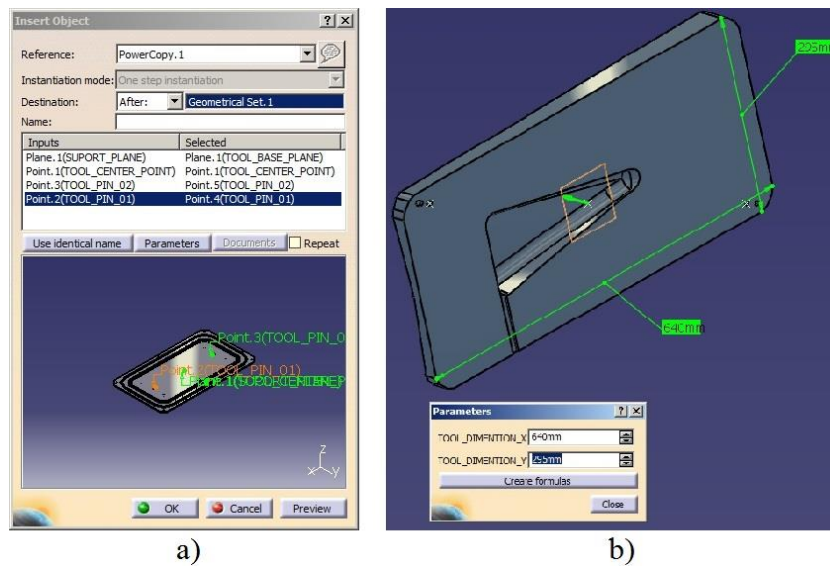


Fig. 4 - Introdução das referências (a) e dos parâmetros (b) necessários a aplicação do modelo

Seguindo estes passos o resultado final deveria ser o apresentado na Fig. 5

Anexo II

Questionário

Com o objetivo de recolher as opiniões e sugestões dos desenhadors da OSS relativamente ao modelo, foi desenvolvido o questionário contido no presente anexo.

Tempo máximo espectável 20 min.

1. Abrir ficheiro “*TEST_TOOL_001*”, e gerar a base 14B seguindo o manual de instruções fornecido.
2. Após criar o modelo da base, efetue as seguintes modificações:
 - Reduzir número de termopares para 3;
 - Aumentar o número de tomadas de vácuo para 4 por canal;
 - Aumentar o número de furos OPT para 10;
 - Diminuir a distância entre tubos de elevação para 600mm;
3. Classifique os seguintes aspetos do modelo.

1-Muito mau;2-Mau;3-Razoavel;4-Bom;5-Muito bom	1	2	3	4	5
Organização					
Parametrização					
Facilidade na compreensão					
Facilidade de alteração					
Robustez do modelo					

4. Comparando com o método de modelação convencional:

Existe uma diminuição do tempo de modelação da base? Quantifique em minutos.

Existe uma diminuição do tempo de alteração do modelo? Quantifique em minutos.

Considera esta ferramenta uma mais-valia para o processo de modelação?

Propostas de modificação.

5. Quantifique

Tempo de experiência em *softwares* CAD (anos). _____

Tempo de experiência em CATIA (anos). _____

Tempo de formação em *softwares* CAD (horas) _____

Tempo de formação em CATIA (horas). _____