



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Rui Miguel Fernandes Oliveira

**Desenvolvimento de assistente na
preparação de modelos para Moldflow**

Dissertação de Mestrado
Mestrado Integrado em Engenharia de Polímeros

Trabalho efetuado sob orientação do:

Professor Doutor Gustavo Dias

Agradecimentos

A realização deste trabalho é o culminar numa etapa da minha vida e só foi possível graças ao contributo de diversas pessoas que me apoiaram e fizeram com que não desistisse. Desejo assim deixar aqui o meu agradecimento:

Ao Professor Doutor Gustavo Dias, pela oportunidade de integrar este projeto.

A todos os colaboradores do Pólo de Inovação em Engenharia de Polímeros, em especial ao Eng. Nuno Gonçalves pelo seu apoio, conselhos e disponibilidade no desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu amigo Eng. Emanuel Fernandes, pela enorme ajuda e disponibilidade ao partilhar comigo os seus conhecimentos de programação em *Python*.

A todos os meus amigos, por todos os momentos e alegrias partilhados ao longo desta fase da minha vida.

Por fim quero agradecer à minha família e à Catarina por todo o carinho, paciência e constante apoio, pois sem eles nada disto seria possível.

A todos um muito Obrigado!

Resumo

Em engenharia é comum utilizar ferramentas CAE para estudar diferentes soluções em produtos a desenvolver. No caso da indústria de transformação de polímeros a ferramenta *Moldflow* é utilizada para simular processos de moldação por injeção, onde se pretende aprimorar a peça a produzir, o molde e as suas condições de processamento. Para conseguir que os resultados sejam o mais aproximado da realidade é necessário incluir vários modelos nas simulações e, por vezes, o tempo de preparação de alguns desses modelos é demasiado elevado, chegando a ultrapassar largamente o tempo da própria simulação.

No desenvolvimento desta dissertação procurou-se criar uma ferramenta cujo o objetivo é auxiliar e automatizar, em parte, o processo de preparação de modelos referentes aos canais de refrigeração, de modo a que estes cumpram os requisitos de importação do *Moldflow*.

Abstract

In engineering, it is common to use CAE tools to study different alternatives while developing a product. In the polymer processing industry, Moldflow is a tool used to study the injection process, where the main goal is to optimize the part to be produced, the mold and its processing conditions. In order to get results as close to reality, it is necessary to include a certain number of models in the simulated process and sometimes the preparation time of some models is too high, even exceeding the time it takes to run the simulation itself.

While developing this dissertation, the main goal was to develop a tool that would help and automate the preparation process of models related to the cooling circuits of the mold, so they can match import requirements of Moldflow.

Índice

AGRADECIMENTOS	III
RESUMO	V
ABSTRACT	VII
LISTA DE FIGURAS	XI
LISTA DE TABELAS	XIII
1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS	1
1.1 INTRODUÇÃO	1
1.2 OBJETIVOS.....	2
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	3
2. ESTADO DE ARTE	5
2.1 FERRAMENTAS CAD.....	5
2.2 MODELAÇÃO 3D	6
2.2.1 <i>Sólidos</i>	6
2.2.2 <i>Superfícies</i>	8
2.2.3 <i>Wireframe</i>	9
2.3 TRANSPOSIÇÃO DE INFORMAÇÃO	9
3. ESTUDO DA ESTRUTURA STEP	15
3.1 SUPERFÍCIE CILÍNDRICA.....	16
3.2 INTERSEÇÃO DE SUPERFÍCIES CILÍNDRICAS.....	22
4. PROBLEMAS E SOLUÇÕES	33
4.1 PROCESSO DE EXTRAÇÃO	33
4.1.1 <i>Análise aos elementos da lista ‘Linhas a Interpolar’</i>	33
4.1.2 <i>Limitações do Centerline Fix</i>	36
4.1.3 <i>Reanálise do ficheiro STEP</i>	37
4.2 PROCESSO DE INTERPOLAÇÃO	40
4.2.1 <i>Entidades CIRCLE</i>	40
4.2.2 <i>Linhas coincidentes</i>	40
5. APRESENTAÇÃO DA FERRAMENTA	43
5.1 FERRAMENTA E OS SEUS REQUISITOS.....	43
5.2 UTILIZAÇÃO DA FERRAMENTA.....	43
5.2.1 <i>Verificação das linhas</i>	45

6. CASOS DE ESTUDO	47
6.1 UTILIZAÇÃO DA FUNÇÃO CENTERLINE FIX	50
7. CONCLUSÃO E PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS	53
7.1 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS	53
8. BIBLIOGRAFIA	55
ANEXO I – TABELAS DE ENTIDADES DOS FORMATOS IGES E STEP.....	57
ANEXO II – PROCEDIMENTOS PARA A PREPARAÇÃO DE FICHEIROS PARA ANÁLISE.....	59

Lista de Figuras

FIGURA 1.1 - EXEMPLO DE SETUP COM OS 3 COMPONENTES (PEÇA, CANAIS DE ALIMENTAÇÃO E REFRIGERAÇÃO) NO MOLDFLOW	1
FIGURA 1.2 – MODELOS REFERENTES ÀS DIFERENTES FASES DO PROCESSO DE PREPARAÇÃO DOS CANAIS DE REFRIGERAÇÃO ...	2
FIGURA 2.1 – (A) CUSTO RELATIVO PARA ALTERAR O PRODUTO, (B) NÍVEL DE CONTROLO PARA APLICAR A ALTERAÇÃO [2].....	5
FIGURA 2.2 – A) CUBO (A) E CILINDRO (B) NO ESPAÇO; B) $A \cup B$ C) $A - B$ D) $A \cap B$ [3]	7
FIGURA 2.3 – REPRESENTAÇÃO DO MESMO SÓLIDO UTILIZANDO O CSG E O B-REP [5]	7
FIGURA 2.4 – EXEMPLO DE REPRESENTAÇÃO DAS SUPERFÍCIES DE UM PARALELEPÍPEDO [3]	8
FIGURA 2.5 – EXEMPLOS DE REPRESENTAÇÃO DO MESMO OBJETO POR SUPERFÍCIES POLIGONAIS E POR NURBS.....	9
FIGURA 2.6 – (A) REPRESENTAÇÃO WIREFRAME DE UM CUBO; (B),(C) E (D) DIFERENTES INTERPRETAÇÕES DO WIREFRAME DO CUBO [3].....	9
FIGURA 2.7 – PROCESSEDIMENTO GENÉRICO PARA A TRANSPOSIÇÃO DO MODELO DE UM CAD PARA UM FICHEIRO NEUTRO [7]	10
FIGURA 2.8 – ESTRUTURA GENÉRICA DE UMA NA SECÇÃO DIRECTORY ENTRY [7]	11
FIGURA 2.9 – EXEMPLO DE ESTRUTURA DE UM FICHEIRO IGES [9]	11
FIGURA 2.10 – EXEMPLO DE PARAMETRIZAÇÃO DE ENTIDADES NA SECÇÃO DATA DO STEP [10]	12
FIGURA 2.11 – FUNÇÃO IMPLÍCITA PARA DEFINIR UM RETÂNGULO [8]	12
FIGURA 3.1 – FICHEIRO DO LADO DAS BUCHAS COMPLETO	15
FIGURA 3.2 – FICHEIRO APÓS ELIMINAÇÃO DOS ELEMENTOS EXTRA	16
FIGURA 3.3 - ILUSTRAÇÃO DO CILINDRO USADO NO MODELO MAIS SIMPLES	17
FIGURA 3.4 - EXEMPLO DE ENTIDADE ADVANCED_FACE NO STEP E OS SEUS PARÂMETROS	17
FIGURA 3.5 - DECOMPOSIÇÃO DE UM ADVANCED_FACE EM QUE NO LADO ESQUERDO ESTÁ O MÉTODO EXPLÍCITO E NO LADO DIREITO O IMPLÍCITO	18
FIGURA 3.6 – ENTIDADE CYLINDRICAL_SURFACE E OS SEUS PARÂMETROS	18
FIGURA 3.7 – DECOMPOSIÇÃO DOS DIFERENTES EDGE_CURVE APRESENTADOS NA FIGURA 3.5.....	20
FIGURA 3.8 - REPRESENTAÇÃO DA COMO SÃO DEFINIDOS OS LIMITES DAS FACES EM CADA EDGE_LOOP, PELO MÉTODO EXPLÍCITO.	21
FIGURA 3.9 - DECOMPOSIÇÃO DA ENTIDADE CIRCLE	21
FIGURA 3.10 - EXEMPLO DE RESULTADOS AO APLICAR A ESTRATÉGIA DE INTERPOLAÇÃO DE PONTOS	22
FIGURA 3.11 - ILUSTRAÇÃO DE INTERSEÇÃO ENTRE CANAIS	23
FIGURA 3.12 - DECOMPOSIÇÃO DO EDGE_LOOP NO MODELO DE DUAS SUPERFÍCIES	23
FIGURA 3.13 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS ENTIDADES DE QUATRO EDGE_LOOP EM QUE AS LINHAS AMARELAS SÃO O BOUNDED_CURVE () B_SPLINE_CURVE	24
FIGURA 3.14 - EXEMPLO DE RESULTADO DE INTERPOLAÇÕES DAS ENTIDADES LINE DA FIGURA 3.13	24
FIGURA 3.15 - PROCEDIMENTO DE VERIFICAÇÃO PARA QUE DUAS LINHAS SEJAM COLINEARES.....	26
FIGURA 3.16 - PROCEDIMENTO DE VERIFICAÇÃO PARA QUE DUAS LINHAS SEJAM CONCORRENTES	27

FIGURA 3.17 – (A) DUAS LINHAS DE CIRCUITOS DIFERENTES CONSIDERAM-SE VIZINHAS E CRIAM UM PONTO DE INTERSEÇÃO ENTRE SI (B) DUAS LINHAS CONSIDERAM-SE COLINEARES E COMO RESULTADO AS LINHAS DE CENTRO NÃO CORRESPONDEM AO CIRCUITO	28
FIGURA 3.18 – (A) ATRIBUIÇÃO DA COR À PART; DO MODELO (B) ATRIBUIÇÃO DA COR À SURFACE DO MODELO.....	28
FIGURA 3.19 - DIFERENTES SEQUÊNCIAS DA RELAÇÃO ENTRE AS ENTIDADES COLOUR_RGB E EDGE_LOOP.....	30
FIGURA 3.20 - FLUXOGRAMA COM PROCEDIMENTO ELABORADO PARA A FERRAMENTA.....	32
FIGURA 4.1 – (A) EXEMPLO DE DE LINHAS COM DIREÇÕES OPOSTAS (B) EXEMPLO DE EDGE_LOOP COM TRÊS ENTIDADES LINE	34
FIGURA 4.2 – DEMONSTRAÇÃO DO RESULTADO APÓS APLICAR A FUNÇÃO ‘UNIR LINHAS COLINEARES’	35
FIGURA 4.3 – EXEMPLO ALTERAÇÃO DE COLINEARIDADE DEVIDO À INTERSEÇÃO DE SUPERFÍCIES.....	35
FIGURA 4.4 – DEMONSTRAÇÃO DO RESULTADO APÓS APLICAÇÃO DA FUNÇÃO ‘CENTERLINE Fix’	36
FIGURA 4.5 – DEMONSTRAÇÃO DOS LIMITES DA FUNÇÃO ‘CENTERLINE Fix’	36
FIGURA 4.6 – ENTIDADE B_SPLINE_CURVE E OS SEUS PARÂMETROS	37
FIGURA 4.7 EXEMPLO UMA B-SPLINE COM DEGREE SUPERIOR A 1 QUE SE COMPORTA COMO LINHA.....	38
FIGURA 4.8 EXEMPLOS DAS LINHAS DE UM EDGE_LOOP NUMA SUPERFÍCIE CÓNICA E A SUA LINHA DE CENTRO	38
FIGURA 4.9 FLUXOGRAMA RELATIVO AO PROCESSO DE EXTRAÇÃO DAS LINHAS PARA A LISTA ‘LINHAS A INTERPOLAR’	39
FIGURA 4.10 – EXEMPLO DE SUPERFÍCIES CILÍNDRICAS MAL DEFINIDAS	40
FIGURA 4.11 – EXEMPLO DE LINHAS COINCIDENTES	41
FIGURA 4.12 - SEQUÊNCIA DE FUNÇÕES APLICADAS NO PROCESSO DE INTERPOLAÇÃO.....	42
FIGURA 5.1 – CAIXA DE DIÁLOGO DE ARRANQUE DA APLICAÇÃO	44
FIGURA 5.2 – EXEMPLO DE INFORMAÇÃO DISPONÍVEL NA CONSOLA	45
FIGURA 5.3 – MENSAGEM FINAL QUANDO TERMINADA A ANÁLISE AO STEP.....	45
FIGURA 6.1 – MOLDES ESTUDADOS NA CONSTRUÇÃO DA FERRAMENTA	47
FIGURA 6.2 – RESULTADOS DA ANÁLISE AO MOLDE 2144	48
FIGURA 6.3 – RESULTADOS DA ANÁLISE AO MOLDE 2255	49
FIGURA 6.4 – RESULTADOS DA ANÁLISE AO MOLDE 2256	49
FIGURA 6.5 – CIRCUITO AZUL DA CAVIDADE MOLDE 2255	50
FIGURA 6.6 – (A) RESULTADO SEM ATIVAR FUNÇÃO CENTERLINEFIX (B) RESULTADO COM FUNÇÃO CENTERLINE FIX ATIVADA	51
FIGURA 0.1 – CONFIGURAÇÃO PARA IMPORTAR O MODELO SOB A FORMA DE SUPERFÍCIE	60
FIGURA 0.2 – CONFIGURAÇÃO PARA GUARDAR O MODELO NO FORMATO STEP	60

Lista de Tabelas

TABELA 1 – TABELA COM OS TEMPOS DE ANÁLISE DO FICHEIRO.....	50
TABELA 2 - TABELA DE ENTIDADES DE UM FICHEIRO IGES [7]	57
TABELA 3 - ENTIDADES DA PART 42 DA NORMA STEP [12].....	58

1. Introdução e Objetivos

1.1 Introdução

A utilização de ferramentas CAD/CAE é extremamente importante nos dias de hoje, especialmente no desenvolvimento de novos produtos. Estas, quando utilizadas acrescentam várias vantagens relacionadas com a aceleração e otimização deste processo.

Os *softwares* CAD/CAE permitem, através de várias iterações, otimizar o design, desempenho e produção dos modelos 3D criados. Estes modelos são protótipos virtuais do produto a desenvolver, que em tempo real podem ser testados sem que haja um custo acrescido no final. Estas ferramentas permitem que engenheiros, designers e clientes possam discutir várias alternativas e optar pela solução mais favorável. O facto de o produto ser testado na fase de desenvolvimento faz com que a ocorrência de erros na fase de produção seja menor, evitando assim quebras de produtividade.

Na indústria de transformação de polímeros é comum utilizar a ferramenta *Moldflow* para simular processos de moldação por injeção. Esta ferramenta CAE permite extrair vários tipos de informação, que permitem otimizar as peças a produzir, o molde e as suas condições de processamento. No entanto, a otimização destes elementos está dependente dos componentes que são considerados nas simulações, que podem ser a peça, os canais de alimentação e os canais de refrigeração.

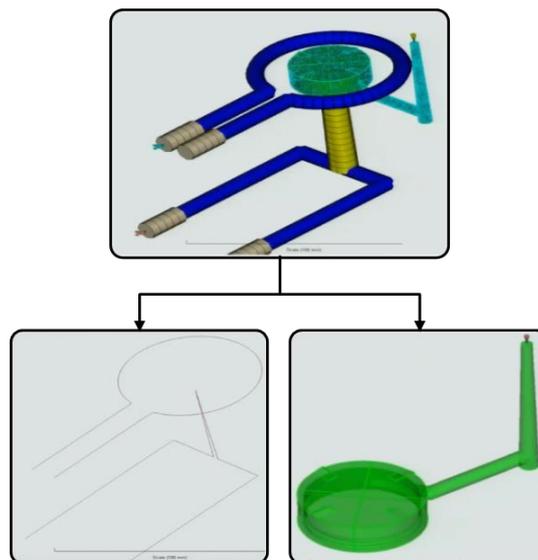


Figura 1.1 - Exemplo de *setup* com os 3 componentes (peça, canais de alimentação e refrigeração) no *Moldflow*

Quando se pretende fazer um estudo completo, que inclua os 3 componentes, o processo de preparação dos modelos pode ser demasiado demorado, em especial no caso do modelo referente aos canais de refrigeração. Ao contrário da peça e os canais de alimentação, que podem ser importados diretamente para o *software* na mesma modelação que estes, geralmente, se encontram no CAD, já os canais de refrigeração têm de ser importados na forma de linhas de centro para depois no *software* lhes serem atribuídas as suas propriedades (tipo de canal, diâmetro do canal). Para casos em que o número de canais/circuitos de refrigeração seja reduzido este processo descrito não representa um problema grave que provoque quebras de produtividade, mas em moldes em que o número de canais/circuitos seja elevado o processo de transformação do modelo 3D em linhas de centro pode ultrapassar largamente o tempo de simulação pelo que se torna contraproducente passar mais tempo a preparar o modelo para a simulação do que iterar o processo.

No desenvolvimento desta dissertação foi criada uma ferramenta para auxiliar esta fase de preparação descrita com o objetivo de automatizar e reduzir o tempo de preparação dos canais de refrigeração. A principal funcionalidade da ferramenta é analisar ficheiros que contenham somente os modelos 3D dos canais de refrigeração e a partir das suas geometrias criar e exportar um ficheiro contendo as linhas de centro. A partir da informação do ficheiro o CAD deve ser capaz de interpretar e desenhar as linhas de centro para que o utilizador consiga editá-las de modo a conseguir o resultado pretendido antes de importar para o *Moldflow*.

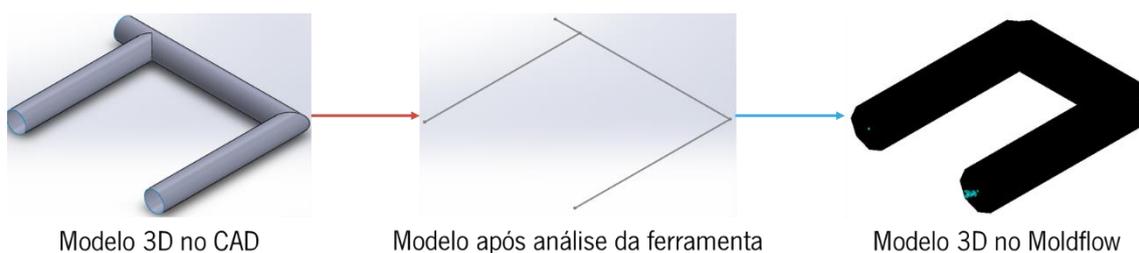


Figura 1.2 – Modelos referentes às diferentes fases do processo de preparação dos canais de refrigeração

1.2 Objetivos

A dissertação a ser apresentada foi realizada no departamento de Engenharia de Polímeros da Universidade do Minho e no instituto Pólo de Investigação em Engenharia de Polímeros (PIEP) e centra-se no desenvolvimento de uma ferramenta que reduza o tempo de

preparação de modelos referentes aos canais de refrigeração para posteriormente serem importados para o *Moldflow*.

Para atingir este objetivo realizou-se um estudo sobre a estrutura de ficheiros STEP que contêm superfícies cilíndricas. Esta decisão recaiu sobre o facto de esta ser uma geometria típica nos canais de refrigeração maquinados no molde, a modelação de superfícies ser mais direta no que diz respeito à representação geométrica de um objeto, assim como os ficheiros que o PIEP recebe dos seus clientes se apresentarem neste tipo de modelação. Quanto à decisão de estudar o ficheiro STEP em vez do IGES, esta está relacionada com a maior facilidade de conseguir analisar e interpretar o conteúdo do ficheiro.

1.3 Estrutura da dissertação

No capítulo 1 será apresentada uma introdução ao problema assim como os objetivos a atingir com a realização deste trabalho. No capítulo 2 será apresentado o estado de arte sobre o uso de ferramentas CAD/CAE, diferentes tipos de modelações em *softwares* CAD e a transposição de informação relativa aos modelos nos principais formatos neutros, IGES e STEP, e as suas diferenças. No capítulo 3 serão apresentados dois estudos sobre a estrutura de ficheiros STEP contendo geométricas típicas de um canal de refrigeração e as abordagens delineadas para extrair informação do ficheiro e criação das linhas de centro dos canais. No capítulo 4 serão mencionados os problemas encontrados na estratégia definida no capítulo anterior e as soluções implementadas. O capítulo 5 consiste na apresentação da ferramenta onde serão indicadas as condições para que esta tenha o funcionamento ideal e os seus métodos de utilização. No capítulo 6 serão apresentados os resultados da ferramenta nos moldes estudados e por fim, no capítulo 7 inclui uma conclusão do trabalho, assim como sugestões de trabalhos futuros para melhoria da ferramenta.

2. Estado de Arte

2.1 Ferramentas CAD

Pode-se definir como CAD a utilização de um computador no processo de desenvolvimento, análise e otimização de um design. [1]

Os primeiros *softwares* CAD apareceram no mercado na década de 70 com a principal funcionalidade a representação 2D, sendo mais tarde, na década de 80, introduzida a modelação 3D. Com a evolução das tecnologias estas ferramentas deixaram de ter o único propósito de auxiliar a tarefa de design e passaram a executar funções de engenharia. Estas ferramentas denominam-se de CAE e, através da implementação do método de elementos finitos, procuram descrever situações reais, quer seja sobre o desempenho do design elaborado ou do seu processo de fabrico.

As ferramentas CAD são, geralmente, utilizadas na fase de projeto de desenvolvimento de um produto e esta fase é muito importante pois qualquer alteração que se pretenda a partir desta tem um grau de dificuldade e um custo acrescido muito maior, como se pode ver na figura 2.1.

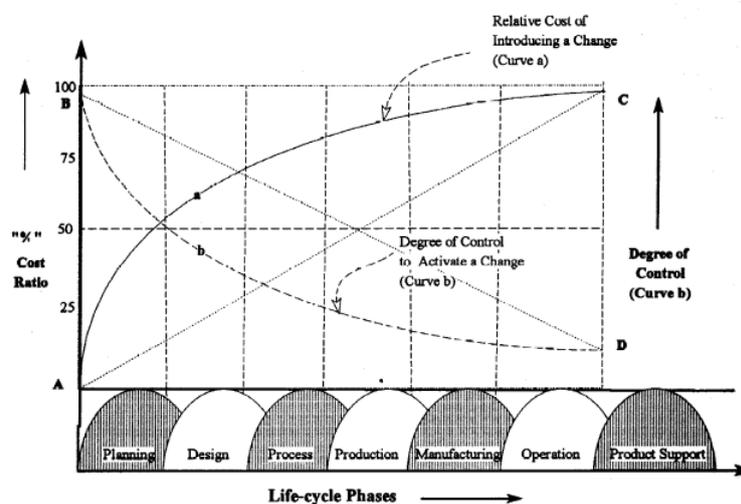


Figura 2.1 – (a) custo relativo para alterar o produto, (b) nível de controlo para aplicar a alteração [2]

Durante a fase de projeto, o uso destas ferramentas melhora a sua eficiência em diferentes vertentes, como:

- Produtividade – com a representações gráficas geradas torna-se mais fácil apresentar, analisar e documentar conceitos/produtos sem ser necessário

protótipos físicos. Este aumento de produtividade reduz o custo do design assim como o tempo de desenvolvimento;

- Qualidade – ao realizar análises sobre desempenho, processamento do produto numa fase inicial permite estudar várias alternativas e selecionar a mais favorável. Este tipo de análises numa fase inicial permite detetar mais de 50% dos problemas que podem surgir no processamento e no desempenho da peça;
- Comunicação – a sua implementação obriga que questões relacionadas com a construção de desenhos e modelos 3D sejam abordadas, promovendo criação de normas. Com a existência destas normas existe uma melhor documentação, menor número de erros e uma melhor legibilidade.
- Registo e recolha de informação – através da criação de bases de dados sobre produtos, listas de materiais, métodos de processamento a informação é facilmente guardada e acedida promovendo a reutilização ou aperfeiçoamento.

[1] [2]

Pode-se concluir que as ferramentas CAD influenciam significativamente o produto final, mais concretamente o seu custo, a sua funcionalidade e a sua qualidade.

2.2 Modelação 3D

Atualmente a maioria dos *softwares* CAD é capaz de modelar os objetos tridimensionais recorrendo a sistemas que fazem a parametrização de sólidos (*Parametric and Feature Based Solid Modelling systems*). Esta modelação a três dimensões pode ser de três tipos:

- Sólidos;
- Surface;
- *Wireframe*.

2.2.1 Sólidos

A modelação de sólidos é o tipo de modelação 3D mais evoluído que existe para a representação de objetos. Este tipo de modelação contém dados relativos aos limites da geometria (superfícies, arestas, vértices) e ao seu interior (volume, centro de gravidade, massa). Estes dados que consegue armazenar fazem da modelação de sólidos ideal para o uso em diferentes fases de projeto de um produto, quer seja no design, análise de elementos finitos, ou prototipagem.

Das abordagens utilizadas para modelar os objetos destacam-se duas, a *Constructive Solid Geometry* (CSG), método mais utilizado no início da modelação 3D, e a *Boundary Representation* (B-rep), mais utilizado atualmente.

No método CSG, um objeto é definido através da combinação de várias geometrias simples e bem definidas, como cubos, esferas, cones, entres outras. A combinação das geometrias é feita através da distribuição das mesmas no espaço e com operações como união, subtração ou interseção o objeto é modelado, figura 2.2. [3] [4]

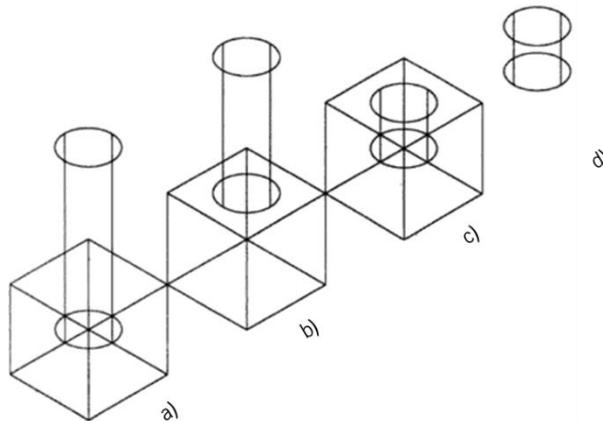


Figura 2.2 – a) Cubo (A) e Cilindro (B) no espaço; b) $A \cup B$ c) $A - B$ d) $A \cap B$ [3]

No método B-rep a modelação do objeto é feita a partir de uma descrição do seu formato exterior. Esta descrição é baseada no conceito de que um objeto é constituído por um conjunto de faces, cada face por um conjunto de arestas e cada aresta é constituída por dois vértices. [3] [4]

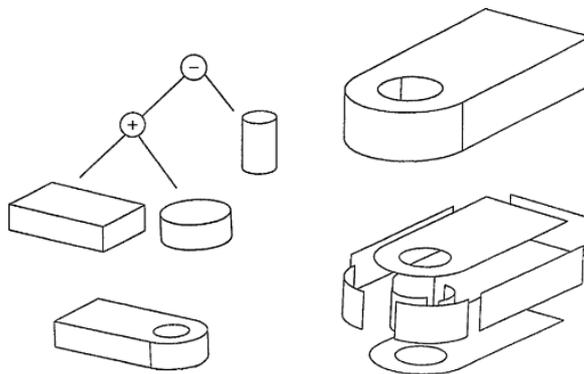


Figura 2.3 – Representação do mesmo sólido utilizando o CSG e o B-rep [5]

Comparando os dois métodos, o CSG oferece modelações mais precisas, que influenciam cálculos como o do centro de massa. Já o B-rep oferece maior liberdade na modelação e modificação de objetos pequenos assim como objetos com geometrias irregulares. [4]

2.2.2 Superfícies

A modelação de superfícies consiste na definição de um espaço limitado por linhas e vértices. A representação de um objeto é feita através de um conjunto de faces, que ao contrário da modelação de sólidos, são independentes e não possuem qualquer relação com as suas vizinhas. Comparando com a modelação de sólidos, esta é mais direta na apresentação da informação relativa à geometria do objeto visto que é a única informação que armazena. [5]

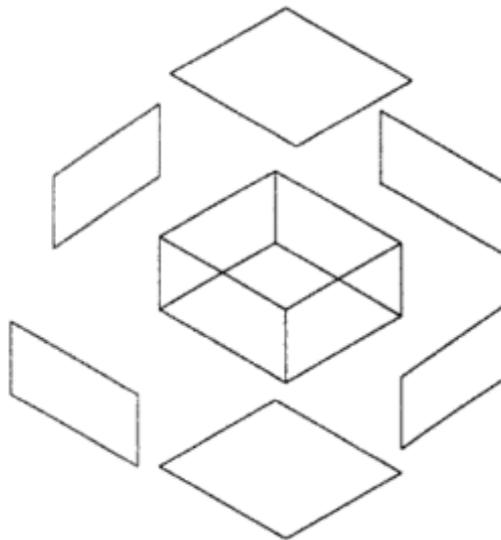


Figura 2.4 – Exemplo de representação das superfícies de um paralelepípedo [3]

Esta modelação é muito utilizada na indústria automóvel e aeronáutica devido à sua capacidade de modelar superfícies de geometria complexa. Atualmente os *softwares* CAD utilizam formulações matemáticas NURBS (*Non-Uniform Rational B-splines*) para representar superfícies devido à sua capacidade de moldar uma superfície em qualquer tipo de geometria, promovendo uma representação mais precisa do modelo real, como representa a figura 2.5. [3]

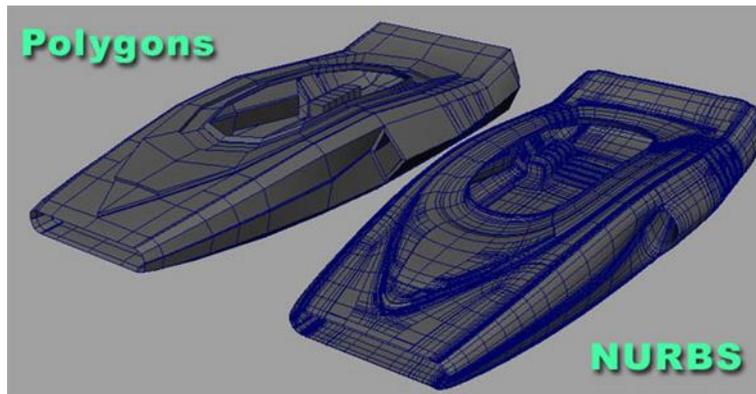


Figura 2.5 – Exemplos de representação do mesmo objeto por superfícies poligonais e por NURBS

2.2.3 Wireframe

É o tipo de modelação mais básico, que consiste num conjunto de vértices e arestas ligados entre si. Estes pontos e arestas estão distribuídos no espaço e são um esboço do objeto 3D que representam. Contudo, a sua interpretação é, por vezes, ambígua sendo capaz de interpretar o mesmo modelo de maneiras diferentes, como mostra a figura 2.6. [5] [3]

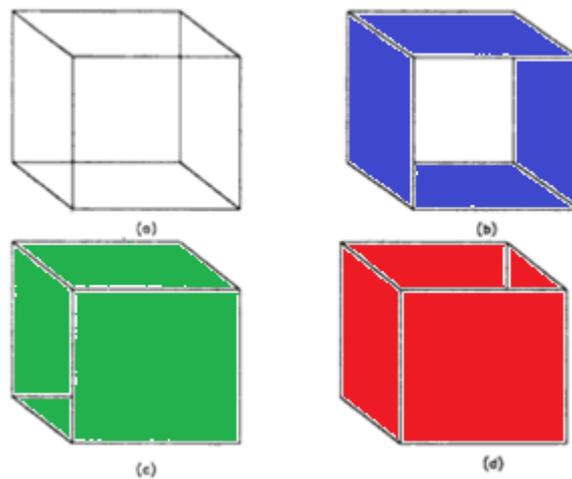


Figura 2.6 – (a) representação wireframe de um cubo; (b),(c) e (d) diferentes interpretações do wireframe do cubo [3]

Devido à falta de informações sobre a superfície ou volume do objeto a utilização desta modelação é limitada. Esta é utilizada como base das modelações de sólidos e superfícies ao definir os seus limites. [3]

2.3 Transposição de informação

As informações relativas aos modelos criados podem ser partilhadas, entre ferramentas CAD ou CAE, sob a forma de ficheiro. A informação armazenada nestes ficheiros pode ser escrita

em dois formatos, o binário e o ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*). A principal diferença entre estes dois formatos é que a informação contida no binário não pode ser visualizada diretamente e no ASCII pode. A diferença do nível de proteção de informação levou a que várias companhias desenvolvessem para os seus *softwares* ficheiros no formato binário, o que dificulta a partilha de informação entre diferentes *softwares*. Esta dificuldade na partilha de informação fez com que instituições de normalização como *National Institute of Standards and Technology* (NIST) ou *International Organization for Standardization* (ISO) desenvolvessem ficheiros 'neutros', *Initial Graphics Exchange Specification* (IGES) e *Standard for the Exchange of Product model data* (STEP) respetivamente, no formato ASCII. Para usar estes ficheiros, os *softwares* CAD utilizam tradutores *preprocessor* e *postprocessor*. Os tradutores *preprocessor* são utilizados para converter o modelo criado no formato próprio do CAD num formato neutro e os *postprocessor* são utilizados para fazer o processo inverso. [6] [7]

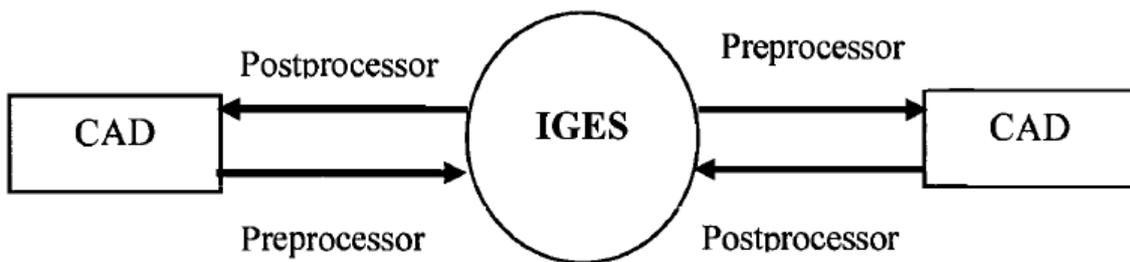


Figura 2.7 – Processamento genérico para a transposição do modelo de um CAD para um ficheiro neutro [7]

Os ficheiros IGES e STEP são os principais ficheiros de formato neutro utilizados na partilha de informações. Com a mesma capacidade de abordar os diferentes tipos de modelações já referidos, estes possuem diferenças principalmente na sua estrutura e entidades utilizadas na descrição dos modelos. [7] [8]

A estrutura de um ficheiro IGES está dividida em três secções, que são a *Global Section*, a *Directory Entry* e a *Parameter Section*. A *Global Section* é a secção que dispõe informações, como a versão do IGES utilizada pelo *preprocessor* para que o *postprocessor* possa fazer a conversão para o formato do CAD. As *Directory Entry* e *Parameter Section* são secções que se complementam, visto que na secção *Directory Entry* são declaradas as entidades utilizadas para descrever o modelo e na *Parameter Section* essas entidades são parametrizadas. Para relacionar

uma entidade com os seus parâmetros e outras propriedades/entidades, estas são declaradas na secção *Directory Entry* com a estrutura da figura 2.8.

Column	1-8	9-16	17-24	25-32	33-40	41-48	49-56	57-64	65-72	73-80
Line 1	Entity Type	Parameter Entry Pointer		Transformat-ion Matrix		Visible Entity Switch				Sequence Number
Line 2	Entity Type									Sequence Number

Figura 2.8 – Estrutura genérica de uma na secção *Directory Entry* [7]

Cada entidade declarada utiliza duas linhas, onde *Entity Type* é a referência à entidade e o *Parameter Entry Pointer* a referência da entidade na secção *Parameter Entry*, sendo a primeira linha desta coluna a referência à parametrização da própria entidade e a segunda linha da coluna a referência para outra entidade com a qual está relacionada. Um exemplo de declaração deste tipo pode ser visto na figura 2.9, onde uma *Rational B-Spline Surface*, entidade 128, é parametrizada pelas linhas referentes ao 3P da *Parameter Entry* e está relacionada com a *Color definition entity*, entidade 314.

Na figura 2.9 estão apresentadas as diferentes secções do ficheiro IGES, em que cada uma delas é separada a partir da última letra na penúltima coluna, sendo G a *Global Section*, D a *Directory Entry* e a P a *Parameter Section*.

1	Comment									S	1
2	1H,,1H;10HSolid Edge,12Hcubohole.igs,17H By Spatial Corp.,22HXPlus GENE									G	1
3	RIC/IGES 3.0,32,38, 6,308,15,7HUnknown,1.000,1,2HIN,1,1.000,15H20120424.G									G	2
4	221533,3.9e-007,0.00,6HAuthor,5HTitle,11,0,15H20120424.221533;									G	3
5	314	1	0	1	0	0	0	0	000010001D	1	
6	314	1	0	2	0	0	0	0	0D	2	
7	128	3	0	1	0	0	0	0	000010001D	3	
8	128	1	0	9	0	0	0	0	0D	4	
9	126	12	0	1	0	0	0	0	000010501D	5	
10	126	1	0	3	0	0	0	0	0D	6	
255	144	426	0	1	0	0	0	0	000000001D	251	
256	144	1	-225	1	0	0	0	0	0D	252	
257	314,75.29412508010864,75.29412508010864,75.29412508010864,10HMix									1P	1
258	edColor;									1P	2
259	128,3,1,3,1,0,0,0,0,0,-1.,-1.,-1.,-1.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,1.,1.,									3P	3
260	1.,0.33333333333333,0.33333333333333,1.,1.,0.33333333333333,									3P	4
261	0.33333333333333,1.,1.5748031496063,1.18110236220472,0.,									3P	5
262	1.5748031496063,0.39370078740158,0.,0.78740157480315,									3P	6

Figura 2.9 – Exemplo de estrutura de um ficheiro IGES [9]

A estrutura de um ficheiro STEP está dividida em duas secções, que são a *Header* e a *Data*. A secção *Header*, tal como a *Global Section* do IGES, contém informação para que o *postprocessor* possa fazer a conversão e a secção *Data* define as entidades necessárias para

representar o modelo, assim como as suas relações e parametrizações. Ao contrário do formato IGES, o STEP apresenta a maioria da informação sobre a forma de texto, sendo mais clara a percepção das entidades utilizadas. A parametrização e relação de entidades também é apresentada num formato mais simples ao ser tudo indicado na mesma linha que define a entidade (índice + entidade + parâmetros que definem a entidade). Na figura 2.10 está representada a definição de uma entidade CIRCLE, através da relação com a entidade CARTESIAN_POINT para definir o seu ponto de centro e o raio.

```
#1000 = CARTESIAN_POINT('', (0.0, 0.0, 1.0));
#2000 = CIRCLE( '', #1000, 1.5);
```

Figura 2.10 – Exemplo de parametrização de entidades na secção *Data* do STEP [10]

Na norma STEP a representação de geometrias pode ser feita recorrendo a dois métodos que coexistem na estrutura do ficheiro e cooperam entre si para que a representação do modelo seja a melhor possível, o explícito e o implícito. A representação explícita é semelhante ao conceito do B-rep onde, por exemplo, uma superfície retangular é limitada por 4 arestas, cada aresta pelos respetivos vértices e cada vértice pela sua coordenada. Na representação implícita são utilizadas funções que a partir de um menor número de dados representam as geometrias. Um exemplo de uma função implícita pode ser observado na figura 2.11, onde a representação de um retângulo é feita através do seu ponto de centro e os comprimentos das retas na direção x e y, onde já estão implícitas as distâncias das linhas ao centro assim como as relações de perpendicularidade e paralelismo entre linhas. [8]

```
ENTITY rectangular_area
  SUBTYPE OF (primitive_2d);
  position: axis2_placement_2d;
  x: positive_length_measure;
  y: positive_length_measure;
END_ENTITY;
```

Figura 2.11 –Função implícita para definir um retângulo [8]

Outra diferença entre estes dois formatos está na forma de como as documentações estão organizadas. Enquanto o IGES possui toda a documentação agrupada numa norma só, o STEP tem a sua documentação separada por *Application Protocols* (AP). Na representação de modelos geométricos os APs utilizados são o AP203 e o AP214, onde a sua principal diferença é a

capacidade do AP214 conseguir armazenar as cores atribuídas no CAD. [11] Estes APs são constituídos por *parts* que definem um conjunto de regras, funções a utilizar quando aplicados. Na definição de modelos 3D a *part* mais relevante é a *part 42 (Geometric and topological representations)*, que é utilizada para descrever o modelo de forma implícita e explícita. [8]

No anexo 1 estão disponíveis duas tabelas com entidades dos dois formatos.

3. Estudo da estrutura STEP

Ao longo deste capítulo serão apresentados diferentes estudos sobre a estrutura do ficheiro STEP que representem um modelo 3D de um sistema de refrigeração do molde, assim como possíveis estratégias para retirar os dados necessários para a construção das linhas de centro.

Para este estudo, utilizou-se o *software* CAD *Solidworks*, no qual os modelos 3D são visualizados/modificados e guardados no formato STEP, juntamente com a livreria disponível no site do *STEP Tools*¹, objeto de consulta sobre as entidades e os seus parâmetros segundo a norma STEP AP214.

Numa fase inicial, o instituto PIEP forneceu dois ficheiros contendo os canais de refrigeração do lado da bucha e cavidade do molde. Cada um destes ficheiros contém um sistema de refrigeração com vários circuitos, semelhante ao da figura 3.1. Estes circuitos para além dos canais incluem elementos como mangueiras, tampões e *o-rings*. Como estes elementos não são necessários para definir a estrutura do canal, optou-se pela sua eliminação, e, seguindo os passos descritos no anexo 2, foi criado um ficheiro STEP contendo um conjunto de superfícies cilíndricas que definem os circuitos de refrigeração, figura 3.2.

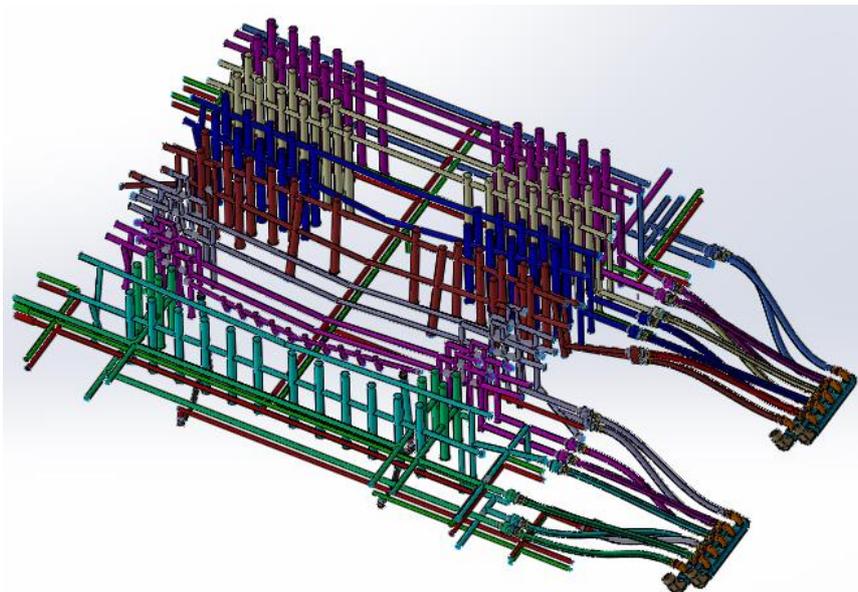


Figura 3.1 – Ficheiro do lado das buchas completo

¹ http://www.steptools.com/support/stdev_docs/express/ap214/html/index.html Acedido em Dezembro de 2016

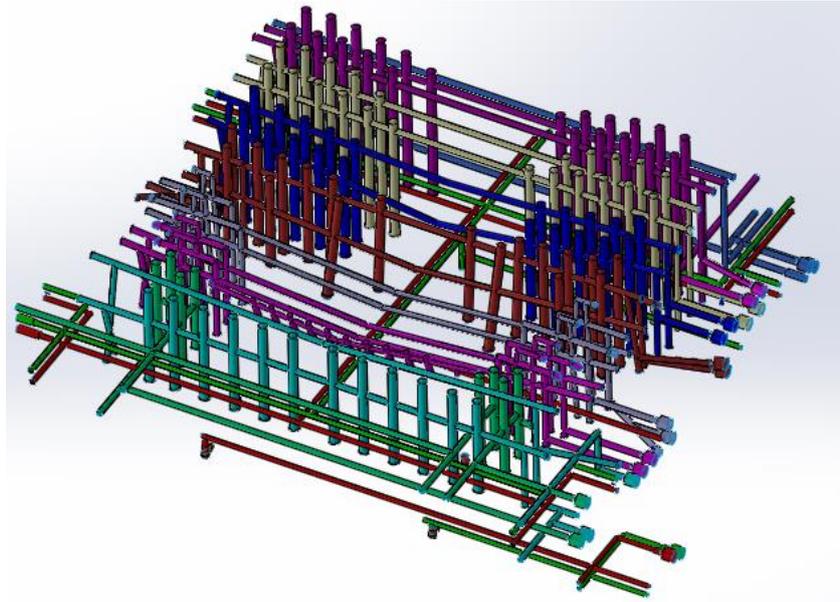


Figura 3.2 – Ficheiro após eliminação dos elementos extra

A análise à estrutura do ficheiro fornecido demonstrou-se complexa devido ao grande número de entidades presentes, assim como a falta de mapeamento dos circuitos, pelo que foram criados dois ficheiros com modelos 3D mais simples, um com uma superfícies cilíndricas e outro com duas superfícies cilíndricas que se intersejam. Apesar do ficheiro fornecido ser demasiado complexo para analisar, este foi utilizado para comparar com os ficheiros mais simples e verificar se existiam falhas nas estratégias elaboradas.

3.1 Superfície cilíndrica

Para o estudo do modelo mais simples, criou-se uma superfície cilíndrica com 5 milímetros de raio e 10 milímetros de altura, em que a sua linha de centro deve ser definida pelos pontos representados na figura 3.3.

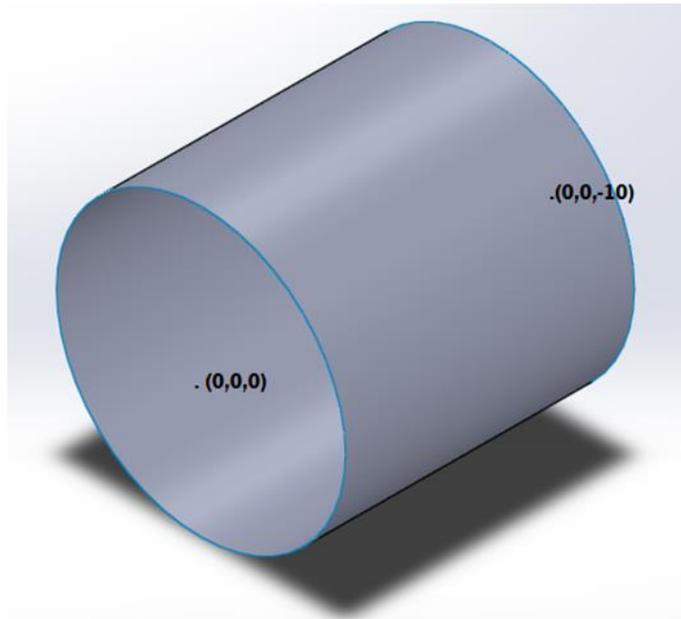


Figura 3.3 - Ilustração do cilindro usado no modelo mais simples

Sendo a superfície cilíndrica um objeto circular, o primeiro passo foi encontrar na tabela 3 do anexo 1 entidades relacionadas com a sua forma geométrica, que foram a CYLINDRICAL_SURFACE e a CIRCLE. Ao pesquisar estas entidades no ficheiro STEP obtiveram-se duas correspondências para a CYLINDRICAL_SURFACE e quatro para a CIRCLE. Após analisar estas entidades e as suas relações com outras observou-se que ambas estavam igualmente distribuídas por duas entidades ADVANCED_FACE, uma entidade superior apresentada na figura 3.4.

```
ADVANCED_FACE ( 'NONE', ( #69 ), #105, .F. )
```

Entity: advanced_face has the following local and inherited explicit attributes:

Attribute	Type
name	label (STRING)
<u>bounds</u>	SET OF <u>face_bound</u> (ENTITY)
<u>face_geometry</u>	<u>surface</u> (ENTITY)
same_sense	BOOLEAN

Figura 3.4 - Exemplo de entidade ADVANCED_FACE no STEP e os seus parâmetros

Esta entidade é fundamental na definição de superfícies, pois através do parâmetro *bounds* definem-se os limites da superfície, método explícito, e através do *face_geometry* define-se o tipo de superfície que é, método implícito. Esta associação parâmetro tipo de método só foi

possível após analisar um determinado número de entidades que estão hierarquicamente representadas na figura 3.5, através dos métodos explícito e implícito.

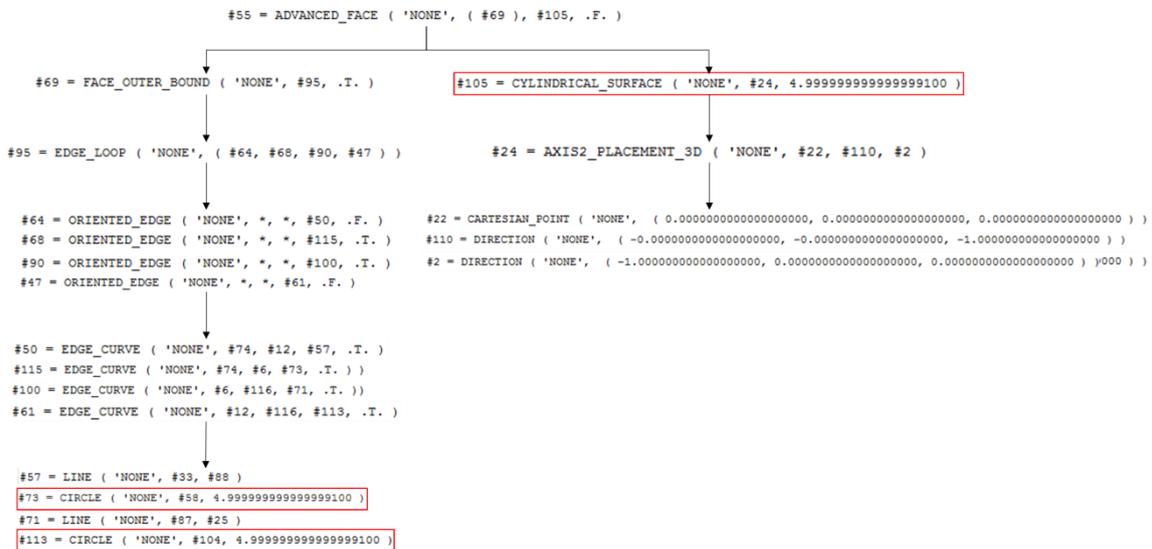


Figura 3.5 - Decomposição de um ADVANCED_FACE em que no lado esquerdo está o método explícito e no lado direito o implícito

No caso do método implícito, a leitura de informações relacionada com a geometria da superfície é complexa devido ao desconhecimento das funções utilizadas na definição dos seus parâmetros. Para que seja feita uma associação clara deste método com uma entidade considera-se o CYLINDRICAL_SURFACE como a entidade que define o método implícito.

Entity cylindrical_surface has the following local and inherited explicit attributes:

Attribute	Type
name	label (STRING)
position	axis2_placement_3d (ENTITY)
radius	positive_length_measure (REAL)

Figura 3.6 – Entidade CYLINDRICAL_SURFACE e os seus parâmetros

A entidade CYLINDRICAL_SURFACE, conforme apresentado nas figuras 3.5 e 3.6, possui dois parâmetros, sobre os quais é possível retirar informações sobre o posicionamento e o raio da superfície. Relativamente ao parâmetro do posicionamento recolhem-se: o ponto cartesiano da localização, (0,0,0) no CYLINDRICAL_SURFACE de um ADVANCED_FACE e (0,0,-10) do outro; duas direções, onde a primeira aparenta ser uma referência para a direção da altura do cilindro e a segunda sugere uma direção de revolução do cilindro. Como os CYLINDRICAL_SURFACE fornecem os dois pontos de centro da base e do topo do cilindro seria possível utilizar estas entidades para criar a linha de centro da superfície, mas para que isso seja

possível, em ficheiros com várias superfícies, as entidades `ADVANCED_FACE` precisam de ser agrupadas consoante a superfície que definem, o que não acontece. Outra opção é, através de um só `CYLINDRICAL_SURFACE`, combinar o ponto cartesiano com a direção relacionada com a altura do cilindro, mas como se desconhecem os métodos da sua atribuição torna-se impossível extrair o ponto cartesiano da outra extremidade do cilindro.

Excluída a hipótese de utilizar o método implícito na construção de linhas de centro, vamos analisar as informações disponíveis no método explícito. Tal como o outro método associa-se uma entidade ao método e essa entidade é o `EDGE_LOOP`. Esta associação deve-se ao facto desta entidade ser a última entidade do método explícito que concentra em si relações entre entidades que vão dar seguimento até aos `EDGE_CURVE`, entidade onde as informações sobre os limites da superfície estão concentradas. Cada entidade deste tipo possui três parâmetros, em que os dois primeiros são referências para os pontos de início e fim da aresta, respetivamente, e o terceiro é a referência para o tipo de aresta que define o limite da superfície. Na figura 3.7 pode-se observar a decomposição de cada `EDGE_CURVE` representado na figura 3.5.

```

#50 = EDGE_CURVE ( 'NONE', #74, #12, #57, .T. )
#57 = LINE ( 'NONE', #33, #88 )

#74 = VERTEX_POINT ( 'NONE', #79 )
#79 = CARTESIAN_POINT('NONE',(4.999999999999999100, 6.123233995736765300E-016, 0.000000000000000000))

#12 = VERTEX_POINT ( 'NONE', #41 )
#41 = CARTESIAN_POINT('NONE',(4.999999999999999100, 6.123233995736765300E-016, -10.000000000000000000))

#115 = EDGE_CURVE ( 'NONE', #74, #6, #73, .T. )
#73 = CIRCLE ( 'NONE', #58, 4.999999999999999100 )

#74 = VERTEX_POINT ( 'NONE', #79 )
#79 = CARTESIAN_POINT('NONE',(4.999999999999999100, 6.123233995736765300E-016, 0.000000000000000000))

#6 = VERTEX_POINT ( 'NONE', #84 )
#84 = CARTESIAN_POINT('NONE',(-4.999999999999999100, 0.000000000000000000, 0.000000000000000000))

#100 = EDGE_CURVE ( 'NONE', #6, #116, #71, .T. )
#71 = LINE ( 'NONE', #87, #25 )

#6 = VERTEX_POINT ( 'NONE', #84 )
#84 = CARTESIAN_POINT('NONE',(-4.999999999999999100, 0.000000000000000000, 0.000000000000000000))

#116 = VERTEX_POINT ( 'NONE', #106 )
#106 = CARTESIAN_POINT('NONE',(-4.999999999999999100, 0.000000000000000000, -10.000000000000000000))

#61 = EDGE_CURVE ( 'NONE', #12, #116, #113, .T. )
#113 = CIRCLE ( 'NONE', #104, 4.999999999999999100 )

#12 = VERTEX_POINT ( 'NONE', #41 )
#41 = CARTESIAN_POINT('NONE',(4.999999999999999100, 6.123233995736765300E-016, -10.000000000000000000))

#116 = VERTEX_POINT ( 'NONE', #106 )
#106 = CARTESIAN_POINT('NONE',(-4.999999999999999100, 0.000000000000000000, -10.000000000000000000))

```

Figura 3.7 – Decomposição dos diferentes EDGE_CURVE apresentados na figura 3.5

Ao observar os pontos de início e fim das entidades CIRCLE constatou-se que apenas representam meia circunferência, indicando que a face da superfície cilíndrica está dividida em duas. Este facto explica a existência de dois EDGE_LOOP no ficheiro para a descrição da superfície cilíndrica do cilindro. Assim, o método explícito define os limites das faces da maneira representada na figura 3.8, onde as linhas verdes e vermelhas representam um EDGE_LOOP e as linhas azuis e vermelhas representam outro.

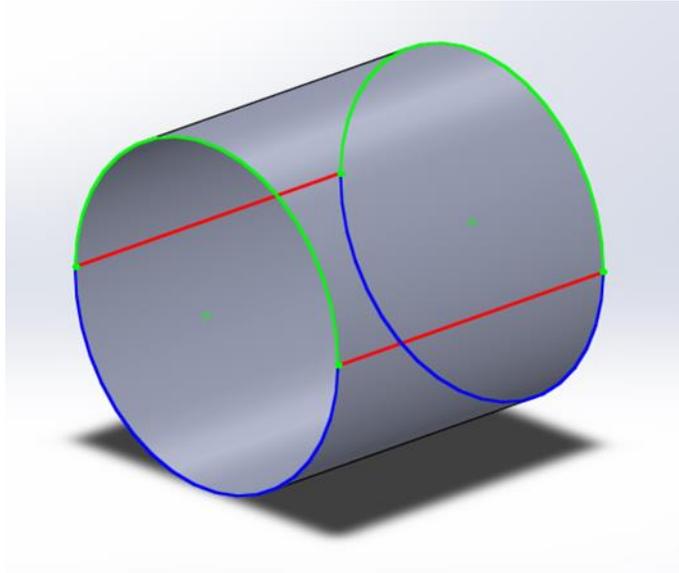


Figura 3.8 - Representação da como são definidos os limites das faces em cada EDGE_LOOP, pelo método explícito.

Os parâmetros da entidade CIRCLE, nomeadamente o ponto de centro e o raio do círculo são parâmetros relevantes e são obtidos do seguinte modo: o ponto de centro pode ser obtido seguindo a sequência de entidades relacionadas com o primeiro parâmetro, e o raio do círculo é obtido através do segundo parâmetro, como representado na figura 3.9. Nenhum dos parâmetros do LINE é relevante, pois o primeiro representa o ponto de início da linha, valor que pode ser extraído do EDGE_CURVE, e o segundo é um vetor definido através do método implícito, não sendo possível obter o comprimento do vetor.

```
#73 = CIRCLE ( 'NONE', #58, 4.999999999999999100 )
#58 = AXIS2_PLACEMENT_3D ( 'NONE', #54, #56, #5 )
#54 = CARTESIAN_POINT('NONE', ( 0.000000000000000000,0.000000000000000000,0.000000000000000000))
#113 = CIRCLE ( 'NONE', #104, 4.999999999999999100 )
#104 = AXIS2_PLACEMENT_3D ( 'NONE', #38, #108, #46 )
#38 = CARTESIAN_POINT('NONE', (0.000000000000000000, 0.000000000000000000, -10.0000000000000000))
```

Figura 3.9 - Decomposição da entidade CIRCLE

Concluindo assim a análise ao método explícito, EDGE_LOOP, e à informação que se pode retirar, é possível elaborar duas estratégias² para a construção das linhas de centro:

² Em ambas as estratégias existe informação duplicada, pois existem dois ADVANCED_FACE em que cada um contem um EDGE_LOOP e apesar de serem diferentes em termos de índices das entidades, ambos possuem os mesmos valores para os pontos cartesianos a extrair.

- O EDGE_LOOP é constituído por duas entidades CIRCLE sobre as quais se pode obter informação relativa ao seu ponto de centro, e a partir dos quais é possível construir a linha de centro.
- O EDGE_LOOP possui duas entidades LINE, em que cada uma apresenta um ponto de início e fim. Assim, a equação 1 permite obter duas interpolações de pontos, uma com os pontos iniciais e outra com os finais, e obtêm-se assim os pontos inicial e final da linha de centro com um resultado semelhante ao exemplificado na figura 3.10.

$$P_{\text{Linha de centro}}(x, y, z) = \left(\frac{x_{\text{Line1}} + x_{\text{Line2}}}{2}, \frac{y_{\text{Line1}} + y_{\text{Line2}}}{2}, \frac{z_{\text{Line1}} + z_{\text{Line2}}}{2} \right) \quad (1)$$

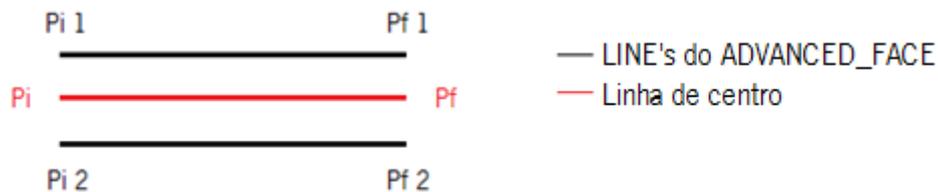


Figura 3.10 - Exemplo de resultados ao aplicar a estratégia de interpolação de pontos

Terminado o estudo sobre este modelo mais simples avançou-se para o estudo de outra situação presente habitualmente nos canais de refrigeração, a interseção entre canais.

3.2 Interseção de superfícies cilíndricas

Para este estudo construiu-se o modelo da figura 3.11 com duas superfícies cilíndricas de raio 5 milímetros e comprimento 20 milímetros a intersetarem-se no ponto de coordenadas $(0,0,-15)$.

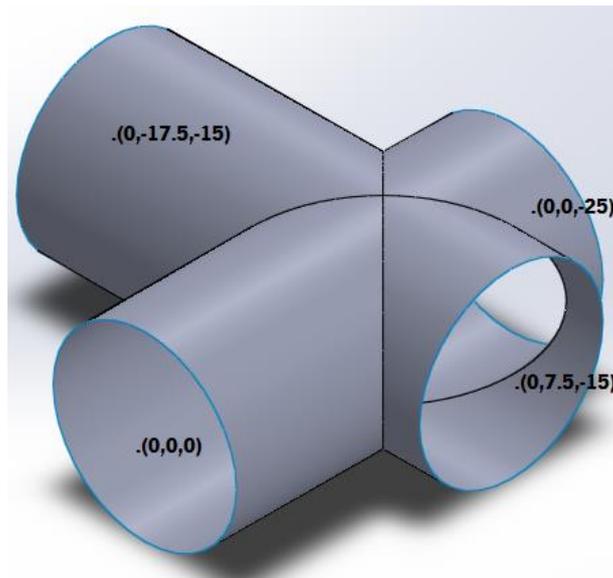


Figura 3.11 - Ilustração de interseção entre canais

No modelo anterior, as informações necessárias para as estratégias elaboradas encontravam-se nas entidades EDGE_LOOP, e como tal para este estudo/situação a pesquisa foi feita nesse sentido e obtiveram-se oito correspondências. No entanto, quando comparadas estas entidades com as do modelo anterior, verifica-se que em cada EDGE_LOOP existe mais um EDGE_CURVE, e que os limites já não são definidos por dois CIRCLE e dois LINE, mas sim por um CIRCLE, dois LINE e dois BOUNDED_CURVE () B_SPLINE_CURVE. Esta é uma entidade nova, e as figuras 3.12 e 3.13 apresentam respetivamente a decomposição das entidades e a sua representação gráfica através dos pontos extraídos dos EDGE_CURVE.

```
#316 = EDGE_LOOP ( 'NONE', ( #68, #315, #273, #209, #230 ) )
    ↓
#68 = ORIENTED_EDGE ( 'NONE', *, *, #46, .F. )
#315 = ORIENTED_EDGE ( 'NONE', *, *, #253, .F. )
#273 = ORIENTED_EDGE ( 'NONE', *, *, #225, .F. )
#209 = ORIENTED_EDGE ( 'NONE', *, *, #75, .T. )
#230 = ORIENTED_EDGE ( 'NONE', *, *, #20, .T. )
    ↓
#46 = EDGE_CURVE ( 'NONE', #281, #245, #39, .T. )
#253 = EDGE_CURVE ( 'NONE', #322, #281, #287, .T. )
#225 = EDGE_CURVE ( 'NONE', #213, #322, #303, .T. )
#75 = EDGE_CURVE ( 'NONE', #213, #24, #314, .T. )
#20 = EDGE_CURVE ( 'NONE', #24, #245, #234, .T. )
    ↓
#39 = LINE ( 'NONE', #36, #264 ) ;
#287 = ( BOUNDED_CURVE ( ) B_SPLINE_CURVE ( 3, ( #103, #104, #110, #111 ) )
#303 = ( BOUNDED_CURVE ( ) B_SPLINE_CURVE ( 3, ( #72, #81, #85, #86 ) ,
#314 = LINE ( 'NONE', #41, #220 ) ;
#234 = CIRCLE ( 'NONE', #270, 5.000000000000000900 ) ;
```

Figura 3.12 - Decomposição do EDGE_LOOP no modelo de duas superfícies

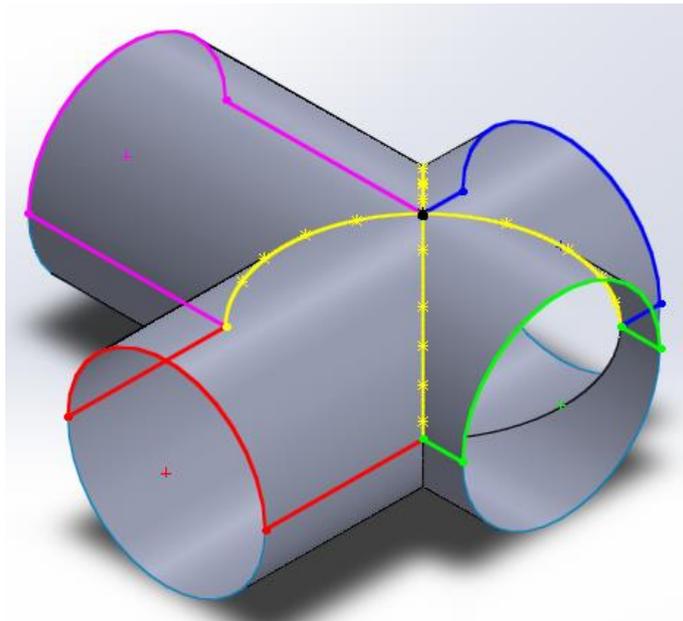


Figura 3.13 - Representação gráfica das entidades de quatro EDGE_LOOP em que as linhas amarelas são a entidade BOUNDED_CURVE () B_SPLINE_CURVE

Esta mudança de entidades na definição dos limites da superfície descarta a estratégia de utilizar as entidades CIRCLE na criação de linhas de centro, convertendo a estratégia LINE no principal foco. Contudo, como se pode ver pela figura 3.14, o principal problema das interpolações é o facto de a linha resultante não ter o comprimento necessário para atingir o ponto de interseção.

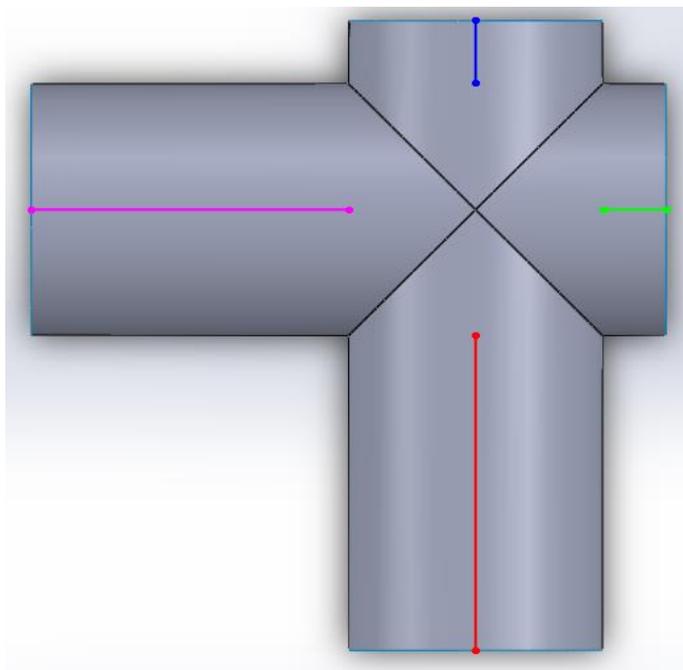


Figura 3.14 - Exemplo de resultado de interpolações das entidades LINE da figura 3.13

Para solucionar este problema de comprimento das linhas, optou-se por desenvolver a estratégia de modo a que a ferramenta as editasse pelo utilizador. Estes passos baseiam-se na utilização de equações de cálculo vetorial e geometria analítica para que uma linha verifique se tem à sua volta outras com as quais possa ter um ponto de interseção.

A primeira condição que deve ser verificada para que duas linhas se intersetem é a condição de serem coplanares, isto é, se existe um plano que possa descrever as duas linhas. Para efetuar esta verificação é criada uma matriz com um vetor criado a partir de dois pontos das diferentes linhas e com os vetores das linhas. A partir do determinante da matriz, verifica-se que as linhas pertencem ao mesmo plano se for verificada a seguinte condição:

$$[\overrightarrow{P_1P_2}, \vec{v}_1, \vec{v}_2] = \begin{vmatrix} P_{x_2} - P_{x_1} & P_{y_2} - P_{y_1} & P_{z_2} - P_{z_1} \\ x_1 & y_1 & z_1 \\ x_2 & y_2 & z_2 \end{vmatrix} = 0 \quad (2)$$

Após confirmar que as retas são coplanares é preciso verificar se são colineares ou concorrentes. Para o caso das linhas colineares, como as linhas vermelha e azul da figura 3.14, a sua relação pode ser verificada através da comparação entre os vetores unitários das linhas através da equação 3:

$$\vec{u}(x, y, z) = \left(\frac{\vec{v}_x}{|\vec{v}|}, \frac{\vec{v}_y}{|\vec{v}|}, \frac{\vec{v}_z}{|\vec{v}|} \right) \quad (3)$$

onde \vec{u} representa o vetor unitário, \vec{v} o vetor da linha e $|\vec{v}|$ o comprimento do vetor. Estes vetores unitários são vetores de tamanho 1, criados a partir da transformação de vetores da linha, e são um indicativo da sua direção. Assim, ao comparar os vetores unitários das linhas vermelhas e azul, sabemos que elas têm a mesma direção, mas isso não chega para saber se são colineares, pois linhas paralelas também têm vetores unitários iguais e não são colineares. A confirmação é então obtida através da comparação dos vetores unitários com outros posteriormente criados a partir de pontos que não pertencem à mesma linha. Caso sejam todos iguais, confirma-se, portanto, a colinearidade.

Colineares

Procedimento de verificação:

1. Comparar o vetor unitário das linhas

$$\vec{u}_1 = \vec{u}_2$$

2. Comparar \vec{u}_1 com outros vetores criados a partir do seu ponto inicial e os pontos inicial e final de \vec{u}_2

$$\vec{u}_1 = \overrightarrow{P_i P_i} = \overrightarrow{P_i P_f}$$

Figura 3.15 - Procedimento de verificação para que duas linhas sejam colineares

Linhas concorrentes, como as vermelha e rosa da figura 3.14, são linhas que se intersectam e que formam um ângulo entre si diferente de 0° (zero), ou seja, quando comparando os vetores unitários estes não podem ser iguais. Para verificar que as linhas são concorrentes, calcula-se o produto escalar entre vetores através da equação 4:

$$\vec{v}_1 \cdot \vec{v}_2 = vx_1 \times vx_2 + vy_1 \times vy_2 + vz_1 \times vz_2 \quad (4)$$

onde o resultado deve ser 0 (zero) para todas as linhas perpendiculares, um caso especial de linhas concorrentes, e diferente de 0 (zero) para as restantes. No entanto, para saber o ponto de interseção é necessário escrever as linhas segundo as equações vetoriais da reta, equações 5 e 6:

$$r_1: P = Pi_1 + t \times \vec{v}_1 \quad (5)$$

$$r_2: P = Pi_2 + k \times \vec{v}_2 \quad (6)$$

e igualá-las, para obter a equação 7:

$$P - Pi_1 + t \times \vec{v}_1 = P - Pi_2 + k \times \vec{v}_2 \quad (7)$$

$$Pi_1 + t \times \vec{v}_1 = Pi_2 + k \times \vec{v}_2$$

Aqui, P_i é o ponto inicial da linha e os parâmetros t e k definem o ponto P da respetiva reta. Esta igualdade assume que existe um ponto P que é comum às duas retas e que, a partir dos seus parâmetros (as variáveis da equação), pode-se descobrir qual é esse ponto. Para que seja possível calcular os parâmetros é necessário dividir a equação pelas coordenadas cartesianas e converter as equações numa matriz, como mostra a equação 8.

$$\begin{bmatrix} vx_1 & -vx_2 \\ vy_1 & -vy_2 \\ vz_1 & -vz_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} t \\ k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Pxi_1 - Pxi_2 \\ Pyi_1 - Pyi_2 \\ Pzi_1 - Pzi_2 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Concorrentes

Procedimento de verificação:

1. Calcular o produto escalar dos vetores das duas linhas

$$\vec{v}_1 \cdot \vec{v}_2 \neq 0 \vee \vec{v}_1 \cdot \vec{v}_2 = 0$$
2. Igualar as equações da reta de \vec{v}_1, \vec{v}_2 e calcular os parâmetros para o ponto de interseção

$$r_1 = r_2 \rightarrow Pi_1 + t \times \vec{v}_1 = Pi_2 + k \times \vec{v}_2$$
3. Substituir parâmetros nas respectivas equações e calcular o ponto de interseção

Figura 3.16 - Procedimento de verificação para que duas linhas sejam concorrentes

Enquanto que as linhas concorrentes são editadas para que atinjam o ponto de interseção, nas linhas colineares o procedimento é diferente. Como duas linhas colineares podem ser descritas através de uma única linha, opta-se pela substituição das duas por uma linha de maior comprimento.

Como foi anteriormente mencionado, uma linha deve apenas verificar as suas relações com linhas que estejam nas suas redondezas e, como tal, é preciso calcular e definir a distância máxima entre pontos das linhas para que estas sejam consideradas vizinhas. Para calcular distância entre pontos das linhas recorre-se à equação 7, onde a distância é definida pelo comprimento de um vetor criado a partir de pontos de diferentes linhas:

$$|\overrightarrow{P_1P_2}| = \sqrt{(Px_2 - Px_1)^2 + (Py_2 - Py_1)^2 + (Pz_2 - Pz_1)^2} \quad (9)$$

A distância máxima entre pontos foi obtida a partir da equação 10:

$$\text{distância máxima entre linhas} = 2 \times \text{raio} \quad (10)$$

, onde o raio é o maior valor encontrado no parâmetro raio das entidades CIRCLE.

Contudo, um sistema de refrigeração pode ter vários circuitos independentes e com diferentes dimensões, pelo que é necessário fazer uma distinção entre eles para que se evitem situações em que a distância máxima entre linhas seja definida pelo raio de entidades CIRCLE referentes a circuitos com maiores dimensões e provoque resultados indesejados em circuitos de dimensões menores. Nas figuras 3.17A e 3.17B estão representadas duas situações possíveis que se pretendem evitar ao fazer uma distinção entre circuitos.

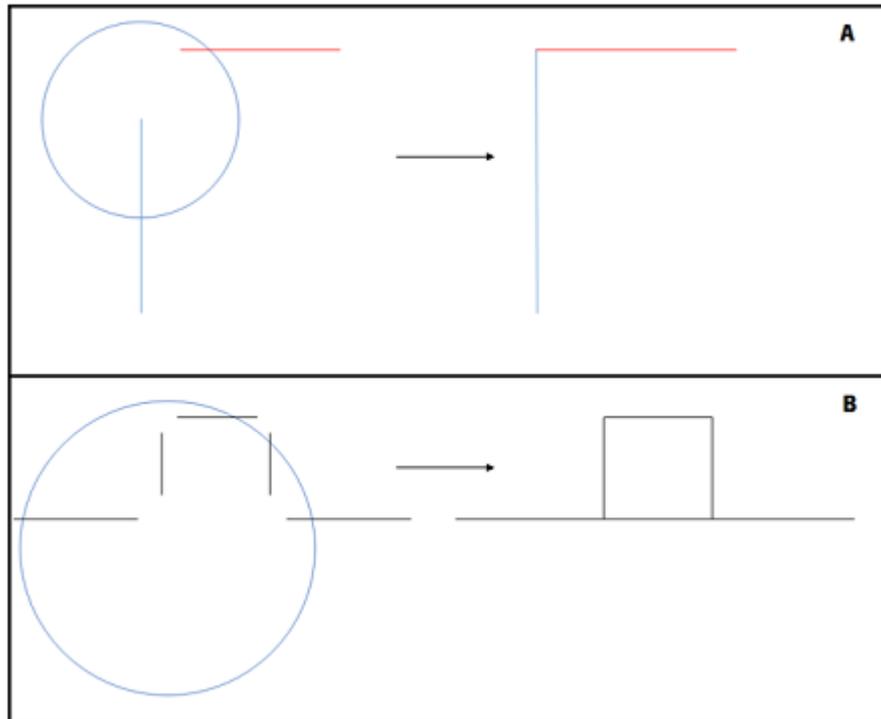


Figura 3.17 – (a) duas linhas de circuitos diferentes consideram-se vizinhas e criam um ponto de interseção entre si
 (b) duas linhas consideram-se colineares e como resultado as linhas de centro não correspondem ao circuito

A distinção de circuitos foi feita através de cores que são atribuídas no CAD, onde deve ser atribuída uma cor própria a cada circuito independente. No entanto, dependendo da maneira como é atribuída a cor ao elemento, a relação entre as entidades `EDGE_LOOP` e `COLOUR_RGB` varia, como está demonstrado na figura 3.19, onde são apresentadas a sequência de entidades para a atribuição da cor à *part* do elemento, figura 3.18A, e a sequência para a atribuição de cor à *surface* do elemento, figura 3.18B.

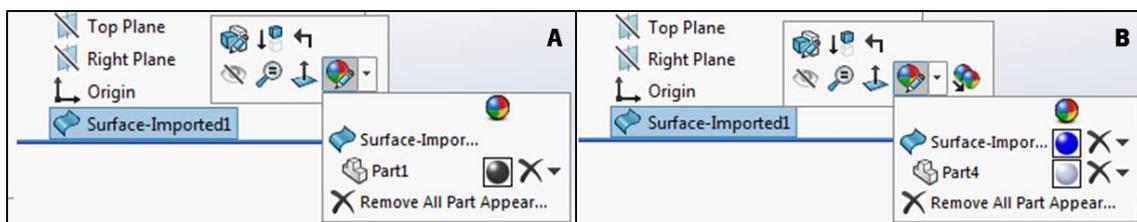


Figura 3.18 – (a) Atribuição da cor à *part*, do modelo (b) Atribuição da cor à *surface* do modelo

A diferença entre os dois modos de atribuição de cor é associada à organização das entidades. Um só `COLOUR_RGB` está relacionado com todas as entidades `ADVANCED_FACE`, como se pode verificar na figura 3.17A, enquanto que cada `COLOUR_RGB` está associado apenas a um determinado `ADVANCED_FACE`, presente na figura 3.17B. É de salientar que, quando se

atribui a cor à *surface*, a cor padrão da *part*, atribuída automaticamente pelo *Solidworks*, não desaparece pelo que neste caso coexistem os dois tipos de relações entre entidades. Assim, para evitar que exista ainda mais informação repetida e para obrigar o utilizador a fazer distinção entre circuitos, a ferramenta deve ignorar a cor padrão do *Solidworks*.

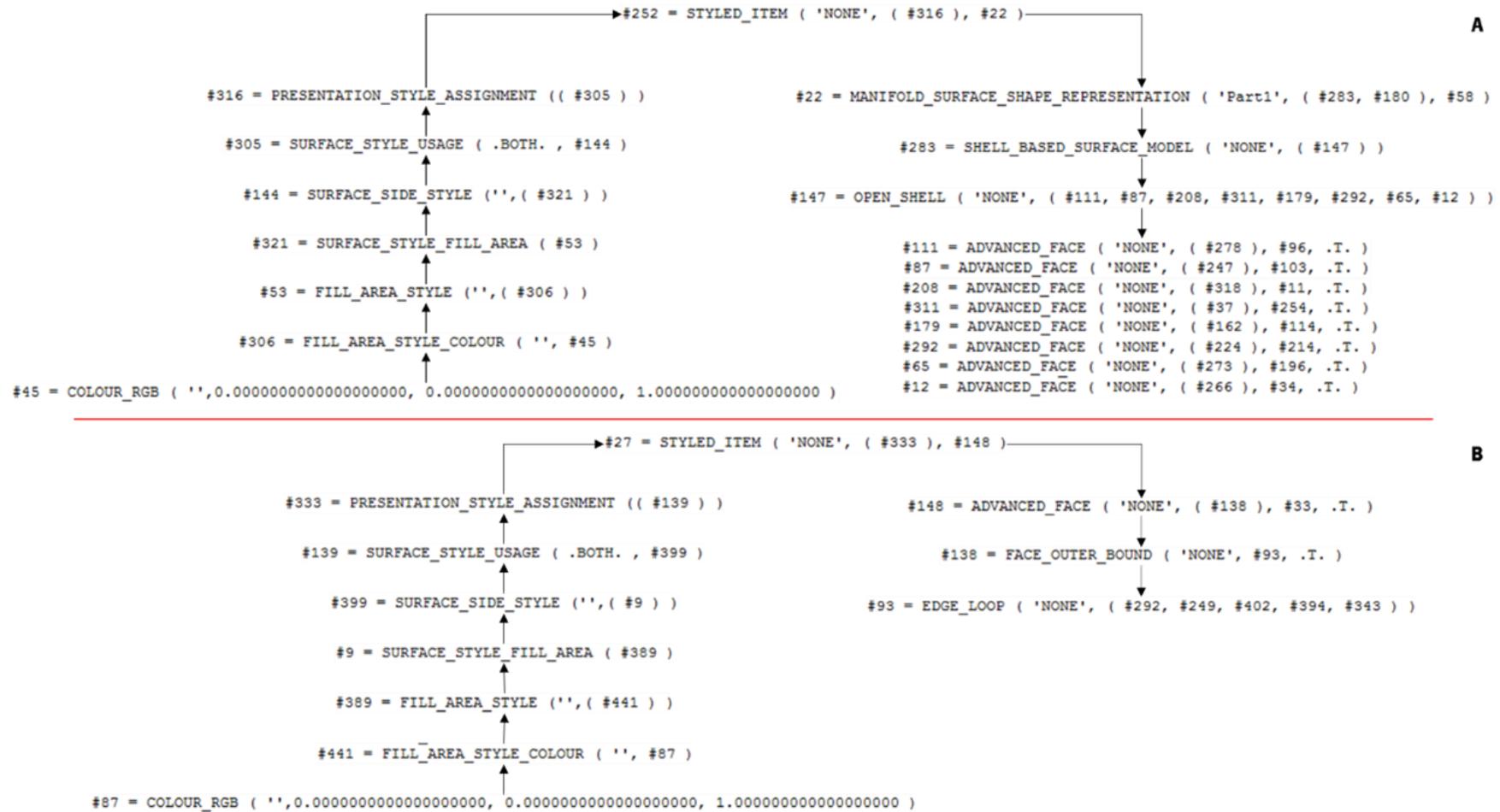


Figura 3.19 - Diferentes seqüências da relação entre as entidades COLOUR_RGB e EDGE_LOOP³

³ Na figura 3.19A, apesar de não estar representado, a relação a partir dos ADVANCED_FACE até aos EDGE_LOOP é igual à da figura 3.17B

Finalizado o estudo sobre a estrutura STEP do modelo mais complexo apresenta-se a estratégia final a adotar no desenvolvimento da ferramenta. Para retirar os dados relativos às geometrias dos circuitos de refrigeração a ferramenta deve:

- Criar grupos de EDGE_LOOP, que através dos índices entre entidades, são agrupados consoante o seu COLOUR_RGB associando. Esta associação deve ser conseguida independentemente da maneira de como a cor é atribuída ao circuito;
- Analisar sequencialmente os grupos de EDGE_LOOP criados;
- Analisar os EDGE_LOOP e as suas entidades hierarquicamente inferiores, procurando entidades LINE e CIRCLE;
- Guardar o valor do raio das entidades CIRCLE numa lista de raios referentes ao circuito que está a ser analisado;
- A partir dos pares de entidades LINE presentes nos EDGE_LOOP aplicar a equação 1 para a interpolação de pontos e guardar o resultado numa lista que contem as linhas de centro do circuito;
- Analisar a lista que contem as linhas de centro verificando quais é que são colineares, substituindo as que foram por linhas de maior comprimento;
- Reanalisar a lista que contem as linhas de centro verificando quais é que são concorrentes e edita-las de modo a que estas se intersetem com as suas vizinhas;
- Finalizar o processo de construção de linhas de centro, estas devem ser exportadas num formato que permita o desenho automático em ferramentas CAD.

Para que estes passos sejam mais elucidativos criou-se o fluxograma apresentado na figura 3.20, que está dividido em dois processos gerais, o de extração que consiste na extração do STEP e a sua organização, e o de interpolação que consiste no processo de construção das linhas de centro dos canais.

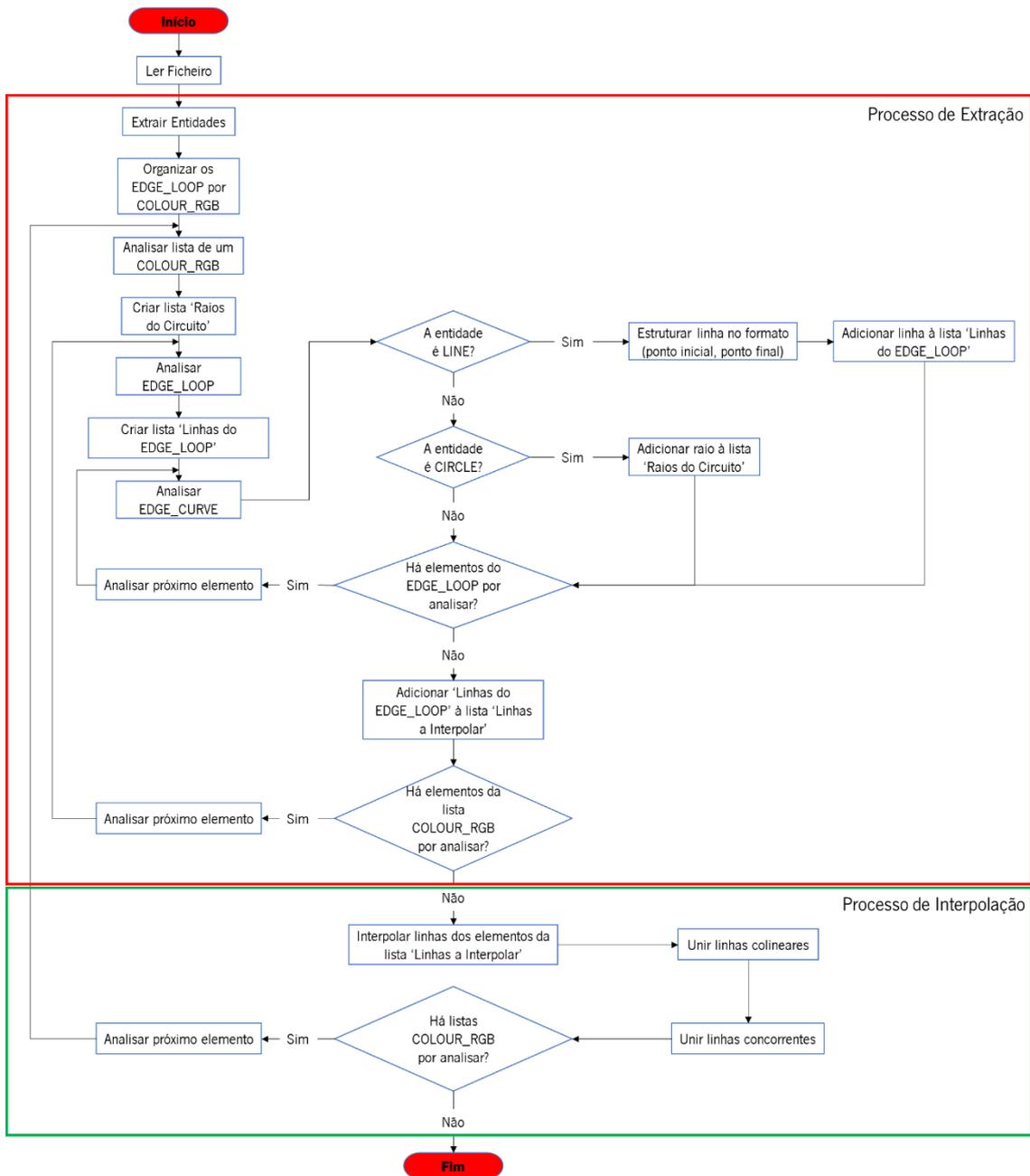


Figura 3.20 - Fluxograma com procedimento elaborado para a ferramenta

4. Problemas e Soluções

Ao longo deste capítulo serão apresentadas melhorias na estratégia desenvolvida anteriormente, ou novas funções adicionadas. Estes procedimentos resultam de vários testes com diferentes ficheiros STEP.

4.1 Processo de extração

Ao testar o procedimento elaborado no capítulo anterior foram encontrados vários problemas relacionados com o comprimento das linhas ou a inexistência de algumas linhas de centro. Para perceber a origem destes problemas foi analisada a informação que era, ou não, extraída do ficheiro STEP. Como as linhas da lista 'Linhas do EDGE_LOOP' são o resultado da informação extraída este foi o primeiro passo da análise para perceber melhor o problema relativo ao comprimento das linhas de centro e posteriormente o ficheiro STEP foi reanalisado para verificar se toda a informação necessária estava a ser extraída.

4.1.1 Análise aos elementos da lista 'Linhas a Interpolar'

Ao analisar as listas constatou-se que há linhas que compõem uma superfície cilíndrica com direções opostas, figura 4.1A, assim como existem superfícies que devido à interseção entre superfícies não são compostas apenas por duas linhas, figura 4.1B. Ao contrário da situação A em que o resultado a interpolação era um linhas com o mesmo ponto inicial e final, ou seja, um ponto, o resultado da situação B era uma linha de centro que não está centrada com o cilindro, assim como o seu comprimento não corresponde com o do cilindro.

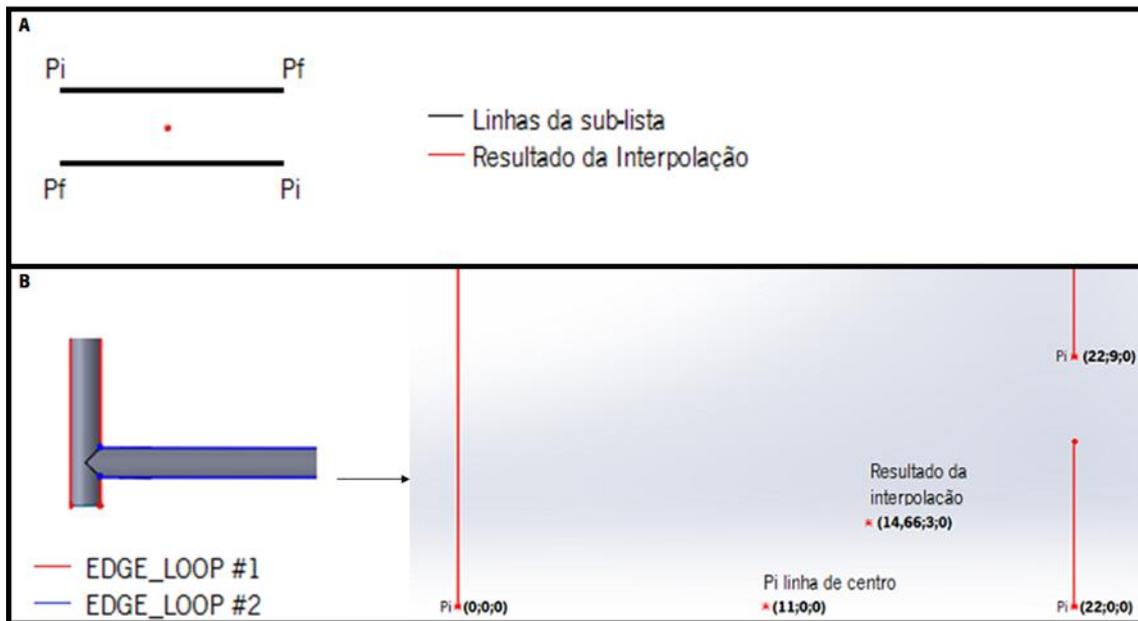


Figura 4.1 – (a) Exemplo de de linhas com direções opostas (b) Exemplo de EDGE_LOOP com três entidades LINE

Para evitar situações em que linhas têm direções opostas foi imposto um passo antes de adicionar a lista 'Linhas do EDGE_LOOP' à lista 'Linhas a Interpolar', a função 'Orientar linhas', onde todas as linhas que sejam paralelas ou colineares são orientadas para ficarem todas com a mesma direção. Esta orientação é feita através da verificação do vetor unitário, equação 3, onde cada linha vai verificar se existem outras com um vetor unitário na direção oposta e caso existam os pontos inicial e final são reestruturados para que todas as linhas tenham o mesmo vetor unitário.

Para corrigir a situação de listas, que possuem mais que duas linhas, foi introduzida a função 'Unir linhas colineares', que viria aproveitar a função 'Orientar linhas'. Com esta nova função é esperado que duas linhas com o mesmo vetor unitário e colineares deem origem a uma nova linha que represente melhor o comprimento da superfície cilíndrica, como está representado na figura 4.2.

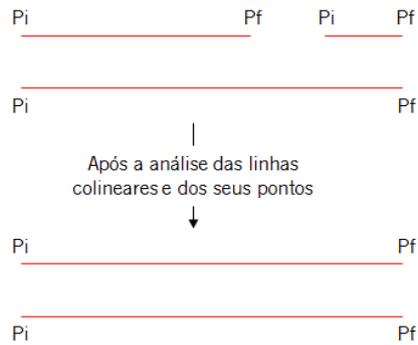


Figura 4.2 – Demonstração do resultado após aplicar a função ‘Unir linhas colineares’

No entanto esta última função não consegue resolver todos os casos de interseção entre superfícies, porque em certas situações as interseções afetam a colinearidade das linhas, isto é, na zona onde a superfície é interseçada o(s) ponto(s) da(s) linha(s) dessa zona sofrem um pequeno desvio, como indica a figura 4.3. Para estas situações foi criada a função ‘*Centerline Fix*’ que vai tentar criar uma linha nova, tal como a função anterior, com a informação de linhas não colineares. Ao contrário das funções ‘Orientar linhas’ e ‘Unir linhas’, esta função só vai ser aplicada depois de terem sido adicionadas todas as sublistas à lista ‘Linhas a interpolar’, porque devido às suas limitações os resultados podem não apresentar melhoria na interpolação e assim nesta fase é introduzido um contador para mais tarde avisar o utilizador quantas listas com três ou mais linhas foram adicionadas às ‘Linhas a interpolar’.

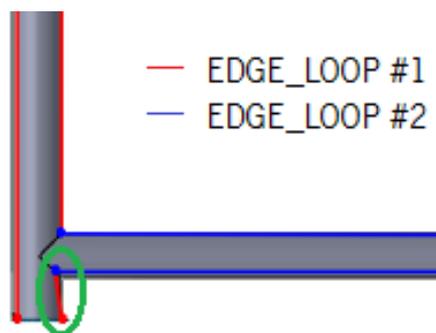


Figura 4.3 – Exemplo alteração de colinearidade devido à interseção de superfícies

A interseção de duas superfícies só afeta os pontos dessa zona, por isso o ‘*Centerline Fix*’ vai trabalhar com pontos que sejam colineares com uma determinada linha, isto é, olhando para a figura 4.3, a linha rodeada a verde sofreu um desvio na interseção, mas o outro ponto

manteve-se inalterado e por sua vez colinear com a outra linha vermelha que intersecta uma linha azul. Assim após feita a verificação de colinearidade entre linha e ponto é verificado o ângulo do desvio. Este ângulo de desvio serve para determinar se a nova linha deve ficar pelo ponto que é colinear ou se deve ser ajustada a um comprimento maior, figura 4.4.

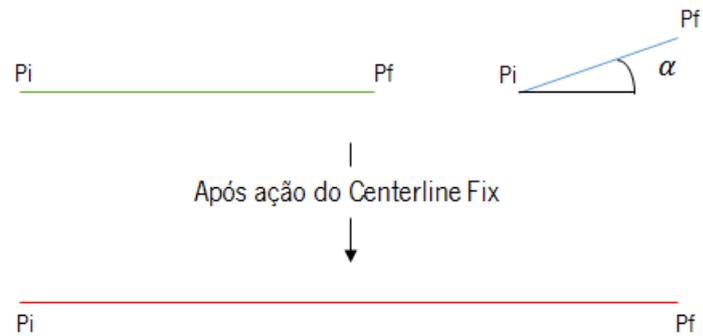


Figura 4.4 – Demonstração do resultado após aplicação da função 'Centerline Fix'

4.1.2 Limitações do *Centerline Fix*

Apesar desta função tentar criar linhas a partir de outras não colineares há situações que ela não consegue atuar, que são as seguintes:

- A interseção criar um desvio em ambas as linhas do EDGE_LOOP e estas não conseguem encontrar pontos que lhes sejam colineares, figura 4.5A;
- Caso a superfície seja interceptada duas ou mais vezes estas interseções podem desviar a(s) linha(s) do EDGE_LOOP que fiquem entre elas e deixam assim de ter qualquer ponto colinear com outra linha, figura 4.5B.

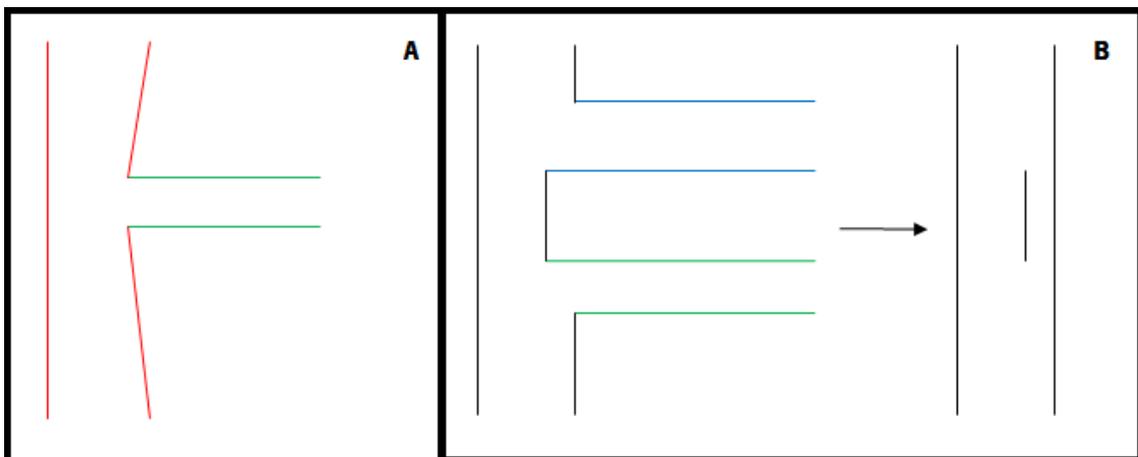


Figura 4.5 – Demonstração dos limites da função 'Centerline Fix'

4.1.3 Reanálise do ficheiro STEP

Ao reanalisar o ficheiro STEP verificou-se que existem EDGE_LOOP que a partir de uma entidade LINE definem uma superfície cilíndrica da mesma maneira que um EDGE_LOOP com duas entidades LINE. Isto acontece porque estes EDGE_LOOP utilizam entidades que se comportam como linhas, que são a B_SPLINE_CURVE_WITH_KNOTS e a, já referida, B_SPLINE_CURVE. Observando os parâmetros destas entidades na figura 4.6 verifica-se que através da análise do parâmetro *degree* é possível determinar se o comportamento da entidade é o de uma linha ou não. Uma *b-spline* que indique um *degree* igual a 1 deve ser considerada linha e extraída da mesma maneira que uma entidade LINE.

Entity b_spline_curve has the following local and inherited explicit attributes:

Attribute	Type
name	label (STRING)
degree	INTEGER
control_points_list	LIST OF cartesian_point (ENTITY)
curve_form	b_spline_curve_form (ENUM)
closed_curve	LOGICAL
self_intersect	LOGICAL

Figura 4.6 – Entidade B_SPLINE_CURVE e os seus parâmetros

Depois de incluir estas entidades com *degree* igual a 1 na lista de entidades a extrair, continuaram a faltar linhas de centro em alguns cilindros pelo que foi feita uma nova iteração sobre as entidades *b-spline* e constatou-se que algumas delas com *degree* superior a 1 também se comportam como linhas. Esta constatação foi feita através da lista de pontos de controlo de cada *b-spline*, que nestes casos, estavam todos alinhados com o ponto inicial e final fornecidos pelos VERTEX_POINT's do EDGE_CURVE. Para estas entidades foi adicionado o passo durante a extração de entidade de um EDGE_LOOP, onde são calculados os vetores unitários de cada ponto de controlo, na direção ponto inicial da *b-spline*/ponto de controlo. Se todos estes vetores unitários forem iguais ao vetor unitário do ponto inicial e final da *b-spline*, a *b-spline* é considerada linha e extraída como tal.

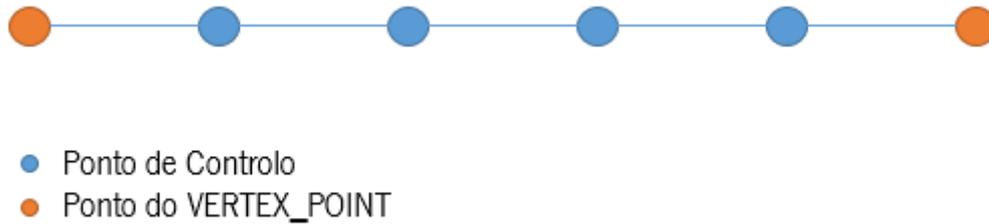


Figura 4.7 Exemplo uma b-spline com *degree* superior a 1 que se comporta como linha

Para além de estes processos e funções descritos, foram adicionadas mais duas funções ao processo de extração, que são a função 'Remover linhas repetidas' e a 'Remover linhas com pontos em comum'. A primeira função é aplicada como medida de precaução para evitar que existam linhas repetidas e é aplicada entre as funções 'Orientar Linhas' e 'Unir linhas colineares'. A segunda função é aplicada no final para evitar que linhas de centro referentes às superfícies cónicas, como as da figura 4.8, resultantes da representação da maquinação do furo, sejam consideradas, porque aquele incremento no comprimento da linha apresenta uma variação significativa nos resultados.

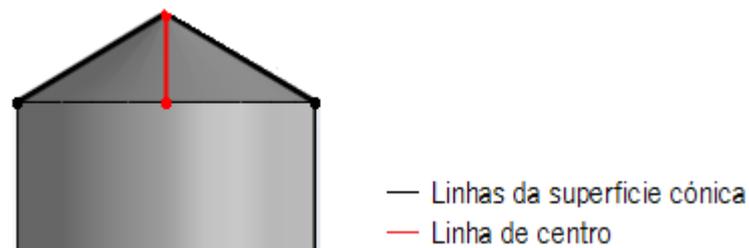


Figura 4.8 Exemplos das linhas de um EDGE_LOOP numa superfície cônica e a sua linha de centro

Na figura 4.9 pode ser observado o fluxograma completo sobre a fase de extração de informação.

4.2 Processo de interpolação

Durante esta fase da ferramenta foram encontrados dois problemas, que resultam maioritariamente de superfícies mal definidas no CAD. O primeiro problema está relacionado com a falta de entidades CIRCLE no ficheiro STEP e o segundo está relacionado com a existência de linhas que são coincidentes totalmente, ou em parte com uma linha de comprimento superior.

4.2.1 Entidades CIRCLE

Como já foi referido as superfícies cilíndricas estão divididas em duas faces em que cada uma tem duas entidades CIRCLE, que apesar do nome apenas representam meio círculo, no entanto, em certas situações as superfícies no CAD são mal definidas e a separação de faces que não era visível passa a ser visível como mostra a figura 4.10.

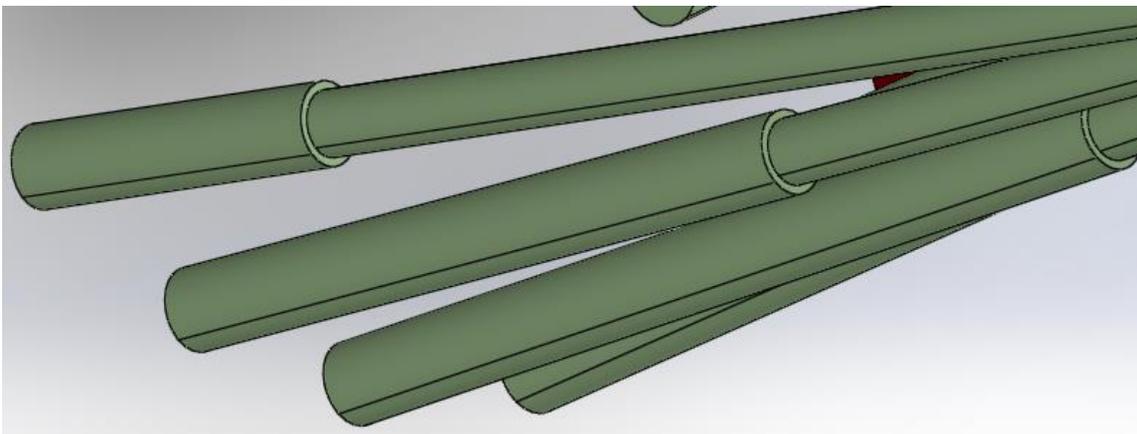


Figura 4.10 – Exemplo de superfícies cilíndricas mal definidas

O resultado desta separação visível das faces é a substituição das entidades CIRCLE por *b-splines*, o que impossibilita o cálculo automático do raio de procura ficando assim sem efeito o objetivo apresentar um conjunto de linhas ligadas entre si. Assim, para solucionar estas situações introduziu-se um processo onde caso não sejam verificadas quaisquer entidades CIRCLE, a ferramenta pede ao utilizador para introduzir o valor de um raio, de preferência correspondente ao maior raio do circuito que está a ser analisado no momento.

4.2.2 Linhas coincidentes

Esta situação é o resultado da interpolação das linhas resultantes de superfícies cilíndricas semelhantes às da figura 4.10 e podem afetar o resultado final ao exportar linhas que são, em parte, coincidentes e não se uniram em uma só porque os seus pontos possuíam uma distância superior à do raio de procura, ou podem ser exportadas pequenas linhas que são totalmente

coincidentes com outra e que não têm utilidade. Na figura 4.11 estão representadas as duas situações de linhas coincidentes descritas que também são os casos em que a função deve atuar e solucionar.



Figura 4.11 – Exemplo de linhas coincidentes

A função perante situações a 5.11A elimina as duas linhas e uma nova, com comprimento superior, é criada através da combinação dos pontos iniciais e finais das linhas eliminadas. Na situação 5.11B a linha coincidente de menor comprimento é eliminada. Para que estes procedimentos sejam aplicados uma das retas, por exemplo a azul, é descrita através da equação vetorial da reta da seguinte forma:

$$r_{\text{azul}}: X = P_i + t \cdot \overrightarrow{P_i P_f} \quad (11)$$

onde, X é uma variável e representa qualquer ponto de uma reta. Como as linhas já estão definidas sabemos que a linha com o vetor $\overrightarrow{P_i P_f}$ que comece no ponto P_i vai terminar no ponto P_f e com esta informação delimitados o t , que tem de estar compreendido entre 0 e 1.

Assim, para determinar se algum dos pontos da linha vermelha é coincidente com a linha azul, substitui-se o X pelos pontos da linha vermelha e calcula-se o parâmetro t para os dois pontos. Caso os dois resultados do parâmetro estejam entre 0 e 1, inclusive, é porque a situação é semelhante à 5.11B e a linha mais pequena é eliminada. Se apenas um dos pontos cumprir a condição de ter o parâmetro t entre 0 e 1 a situação é semelhante à 5.11A.

Para garantir que esta função assim como as funções que unem as linhas colineares e concorrentes tenham um melhor funcionamento, foram adicionadas as funções ‘Orientar linhas’ e ‘Remover linhas repetidas’ na sequência que está representada na figura 4.12. Com a introdução destas duas funções fica garantido que não há linhas iguais a serem consideradas na função

'Remover linhas coincidentes' e garante que todas as linhas que sejam colineares têm a mesma direção.

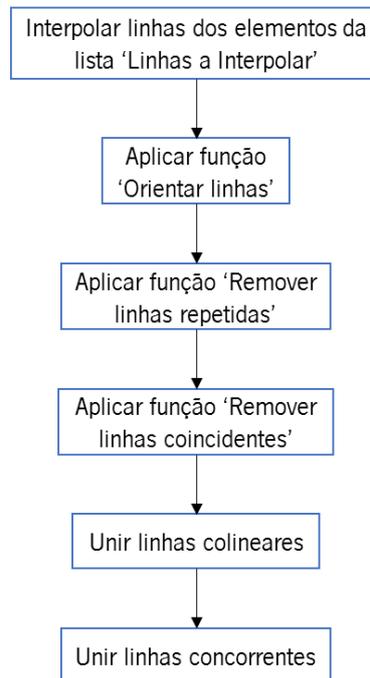


Figura 4.12 - Sequência de funções aplicadas no processo de interpolação

5. Apresentação da Ferramenta

Neste capítulo será apresentada a ferramenta, desenvolvida a partir dos procedimentos apresentados nos capítulos anteriores, o seu funcionamento e passos a realizar de modo a preparar as linhas para serem importadas para o *Moldflow*.

5.1 Ferramenta e os seus requisitos

A ferramenta, desenvolvida em *Python*, é uma aplicação que pode ser executada sozinha, ou pode ser integrada em *softwares* CAD a partir de macros de modo a que o seu funcionamento seja mais automático. Como esta ferramenta é o resultado do estudo da modelação de superfícies cilíndricas em ficheiros STEP provenientes do *Solidworks*, é preferível que os ficheiros a analisar também o sejam. Este requisito deve-se a pequenas diferenças que existem em ficheiros STEP provenientes de diferentes *softwares*, como espaçamento entre caracteres. Para proceder com a análise é necessário que os elementos contidos no ficheiro sejam apenas os canais de refrigeração na forma de superfícies em vez de sólidos. No anexo 2 estão disponíveis os passos a executar para uma rápida preparação do modelo a analisar, assim como as configurações para importar e guardar ficheiros de modo a que a condição dos canais serem superfícies se verifique.

5.2 Utilização da Ferramenta

Ao executar a ferramenta, sozinha ou através da macro, uma caixa de diálogo aparece no ecrã, como a da figura 5.1. Esta caixa de diálogo pede ao utilizador que introduza certos dados para que possa avançar com a análise do ficheiro. Estes dados são:

- O ficheiro STEP a analisar. Este é o único dado necessário para que a ferramenta comece a análise;
- O número máximo de casas decimais dos pontos cartesianos. Devido ao elevado número de casas decimais que o ficheiro STEP apresenta e ao facto de as unidades utilizadas na construção de circuitos de refrigeração ser milímetros, o número de casas decimais está limitado a 3, sendo esse o número assumido caso o utilizador deixe o espaço em branco;
- O valor, em percentagem, de quanto todos os raios de procura devem ser aumentados. Caso o utilizador deixe o espaço em branco o valor assumido é 0%;

- Selecionar se pretende que a função *Centerline Fix* seja aplicada automaticamente ou seja desativada. Se nenhuma das opções for selecionada a função *Centerline Fix* só entra em ação caso se verifiquem as condições definidas anteriormente.

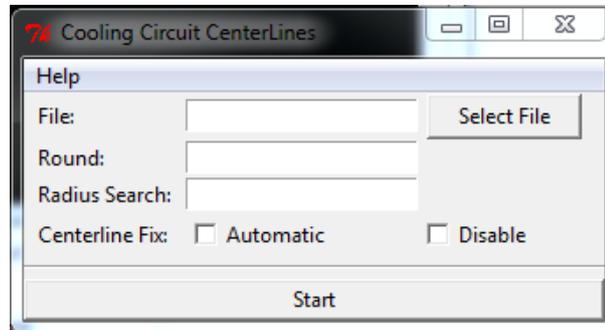


Figura 5.1 – Caixa de diálogo de arranque da aplicação

Depois de pressionar o botão *Start*, uma consola, como a da figura 5.2, exibirá informações em tempo real sobre a análise. Estas informações são importantes e podem ser úteis para situações em que o utilizador precise de intervir. Destas informações destacam-se:

- *Colling Channels* – indica o número de circuitos de refrigeração independentes no ficheiro;
- *Solidworks Colour (#, #, #)* – indica a referência da cor atribuída ao circuito no CAD;
- *“There are # number Centerlines with errors”* – esta frase é referente ao problema onde a função *Centerline Fix* vai atuar. Se na caixa de dialogo foi selecionada a opção:
 - *‘Automatic’* a função atua automaticamente e caso a função consiga resolver o problema a frase *‘Correction Done!’* é escrita na consola, como mostra na figura 5.2;
 - *‘Disable’* a função *Centerline Fix* é cancelada independentemente de serem detetados erros;
 - Uma terceira opção, a de não selecionar nenhuma das opções anteriores. Esta opção faz com que a função seja *‘manual’*, isto é, sempre que o número erros detetados superior a 0 uma caixa de dialogo aparece no ecrã a perguntar se o utilizador pretende aplicar a função. Esta é uma

boa opção caso sejam detetados problemas com um circuito de refrigeração em específico e através da informação *SolidWorks Colour* atuar no circuito pretendido.

```
Step file has 227584 lines.
Collecting data...
Data collected
Cooling Chaneles: 13
#1 SolidWorks colour <255, 0, 0>
Extracting Centerlines from Cooling Chanel #1
There is 1 Centreline with errors
Correction Done!
Please don't panic. I'm still working...
#2 SolidWorks colour <255, 255, 255>
Extracting Centerlines from Cooling Chanel #2
There are 0 Centerlines with errors
Please don't panic. I'm still working...
#3 SolidWorks colour <255, 255, 0>
Extracting Centerlines from Cooling Chanel #3
```

Figura 5.2 – Exemplo de informação disponível na consola

Terminada a análise ao ficheiro, o resultado é um ficheiro de texto (*.txt) e no final da consola uma mensagem como a da figura 5.3 irá indicar o número de linhas que o ficheiro contém e a sua localização. Caso a ferramenta tenha sido executada através da macro criada para o *Solidworks*, uma caixa de diálogo aparecerá no ecrã a perguntar pelo ficheiro de texto criado pela ferramenta, onde após selecionar o ficheiro as linhas são desenhadas automaticamente.

```
Total centerlines extracted: 380
Saving...
Analisis completed!
A text file was created in the same folder as the STEP file!
Press Enter to exit
```

Figura 5.3 – Mensagem final quando terminada a análise ao STEP

5.2.1 Verificação das linhas

Atingida esta fase do processo, o *software* CAD utilizado deve ter um desenho 3D das linhas de centro. Contudo, é preciso fazer uma verificação devido a alguns erros que estas possam ter. Para verificar e corrigir os erros que possam existir é aconselhável seguir os seguintes passos:

1. Guardar o desenho 3D no formato próprio do CAD, *Part* no caso do *Solidworks*,

2. Criar um *assembly* com o modelo 3D dos circuitos de refrigeração e o desenho 3D;
3. Alinhar as linhas de centro com o centro dos canais correspondentes;
4. Verificar se existem erros;
5. Editar o desenho 3D conforme o resultado pretendido e guardar.

6. Casos de Estudo

Neste capítulo serão apresentados seis casos de estudo que foram utilizados no desenvolvimento da ferramenta, assim como os resultados dos mesmos após análise da ferramenta. Os casos de estudo são as cavidades e buchas referentes aos moldes 2144, 2255 e 2256, que podem ser observados na figura 6.1.

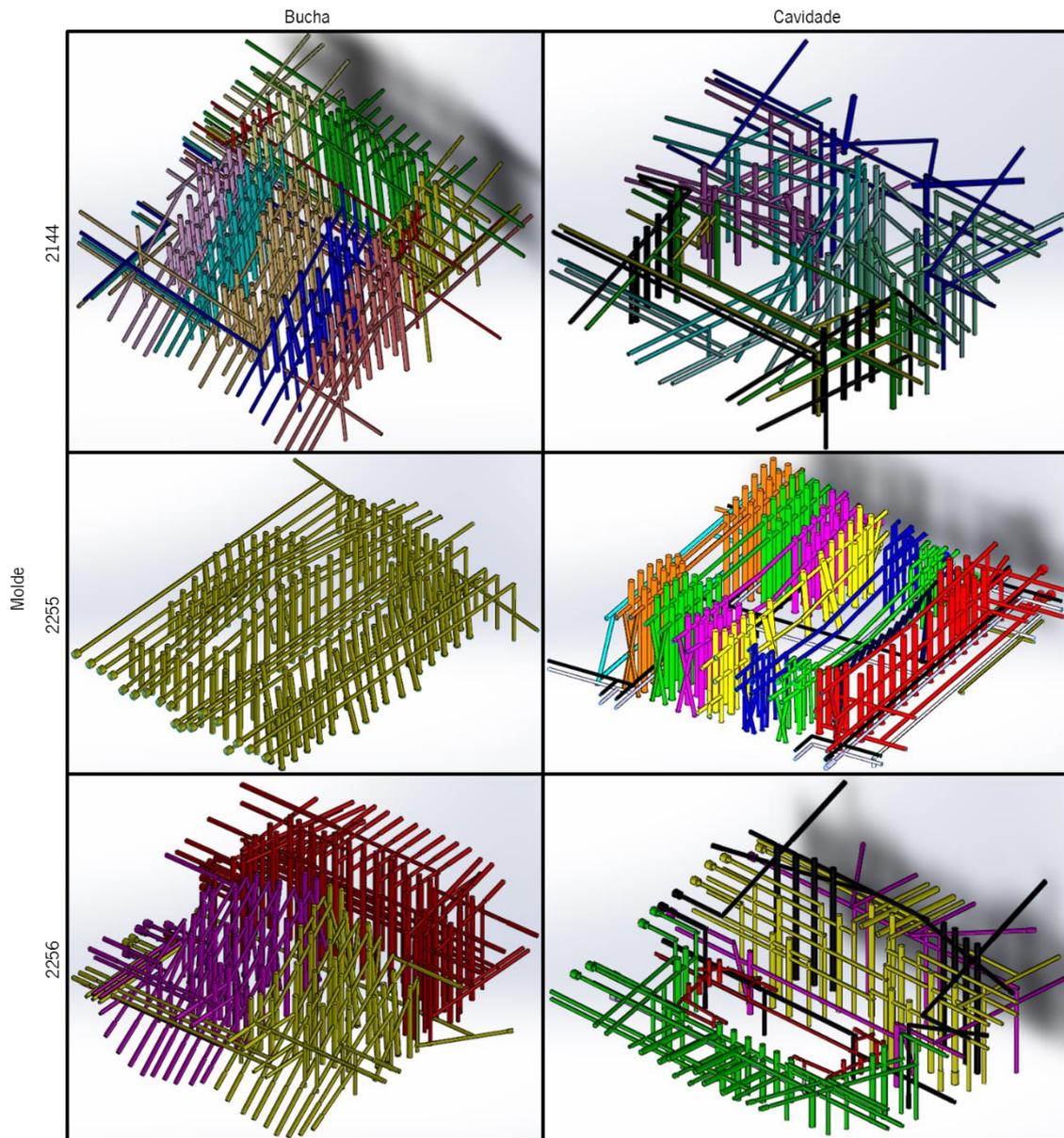


Figura 6.1 – Moldes estudados na construção da ferramenta

Para o estudo dos circuitos definiu-se o número de casas decimais em 3, um acréscimo aos raios de procura de 10% e a função *Centerline Fix* atuar automaticamente. Nas figuras 6.2,

6.3 e 6.4 podem ser observados os resultados obtidos após análise da ferramenta e o respetivo *assembly* do modelo 3D com as linhas de centro.

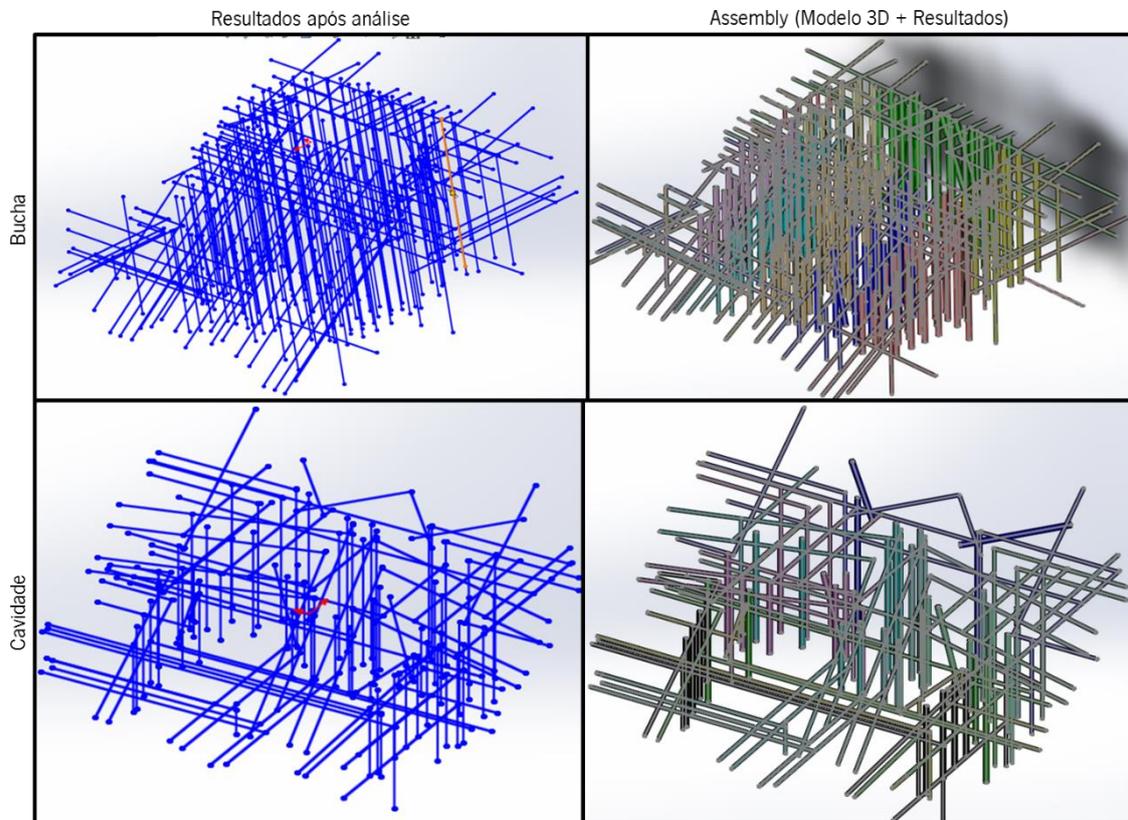


Figura 6.2 – Resultados da análise ao molde 2144

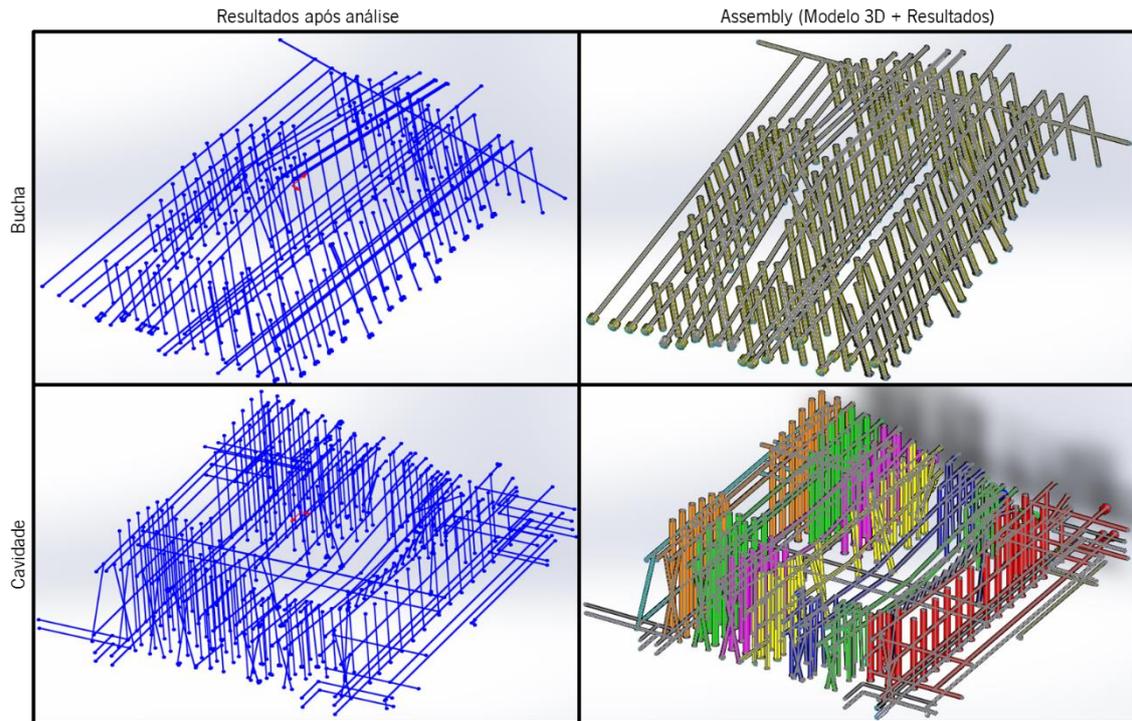


Figura 6.3 – Resultados da análise ao molde 2255

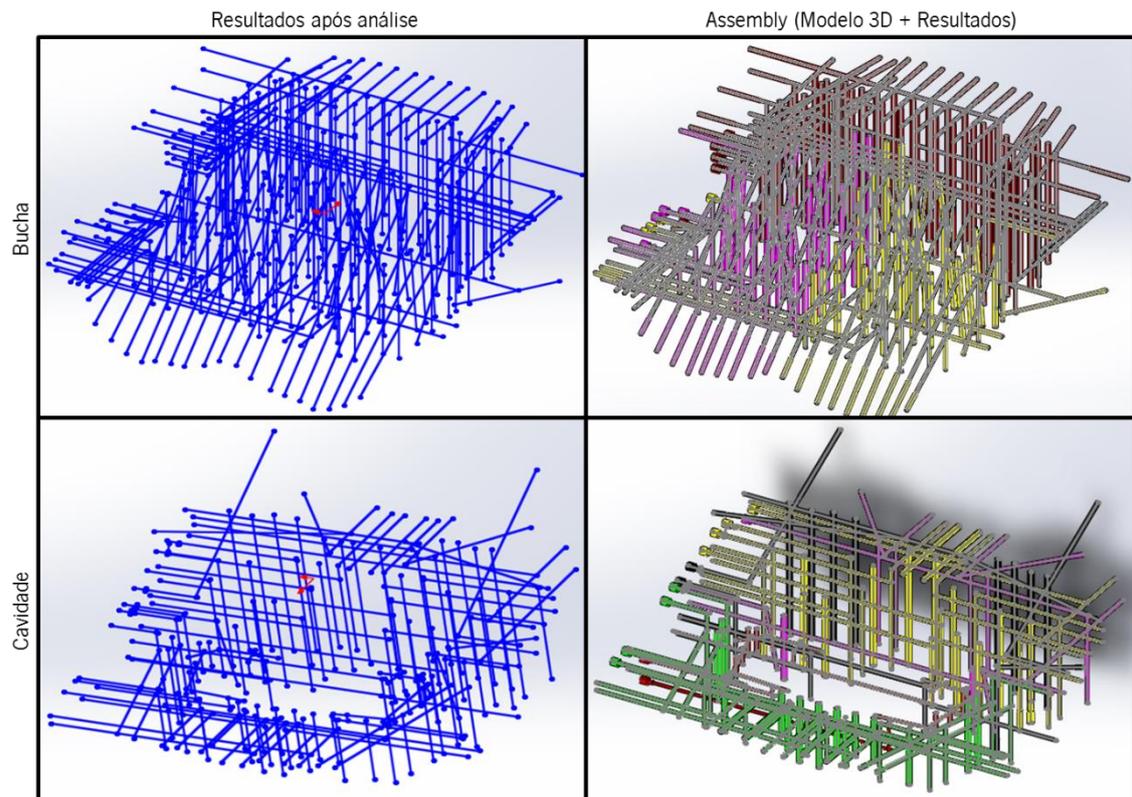


Figura 6.4 – Resultados da análise ao molde 2256

Na tabela 1 podem ser observados os tempos de análise do ficheiro por parte da ferramenta, sendo o tempo de construção das linhas pelo *Solidworks* quase instantâneo devido à

integração da ferramenta através de uma macro. A variação entre o tempo de análise varia consoante o número de superfície cilíndricas que cada circuito tem, ou seja, um ficheiro com 100 superfícies cilíndricas distribuídas por 5 circuitos é analisado mais rapidamente do que um ficheiro com 100 superfícies num só circuito. Esta é a razão pelo qual o tempo de análise das buchas dos moldes 2255 e 2256 é largamente superior em relação aos outros.

Tabela 1 – Tabela com os tempos de análise do ficheiro

Molde		Tempo de análise (aproximado)
2144	Cavidade	2 segundos
	Bucha	5 segundos
2255	Cavidade	490 segundos
	Bucha	80 segundos
2256	Cavidade	300 segundos
	Bucha	40 segundos

6.1 Utilização da Função *Centerline Fix*

No decorrer das análises que deram resultado às imagens acima, em alguns circuitos a função *Centerline Fix* foi aplicada. Um desses circuitos foi o circuito azul da cavidade do molde 2255, que está apresentado isoladamente na figura 6.5. Na figura 6.6 está apresentada a diferença em utilizar a função ou não, onde a figura 6.6A é o resultado de uma análise sem a utilização da função e a 6.6B o resultado com utilização da função.

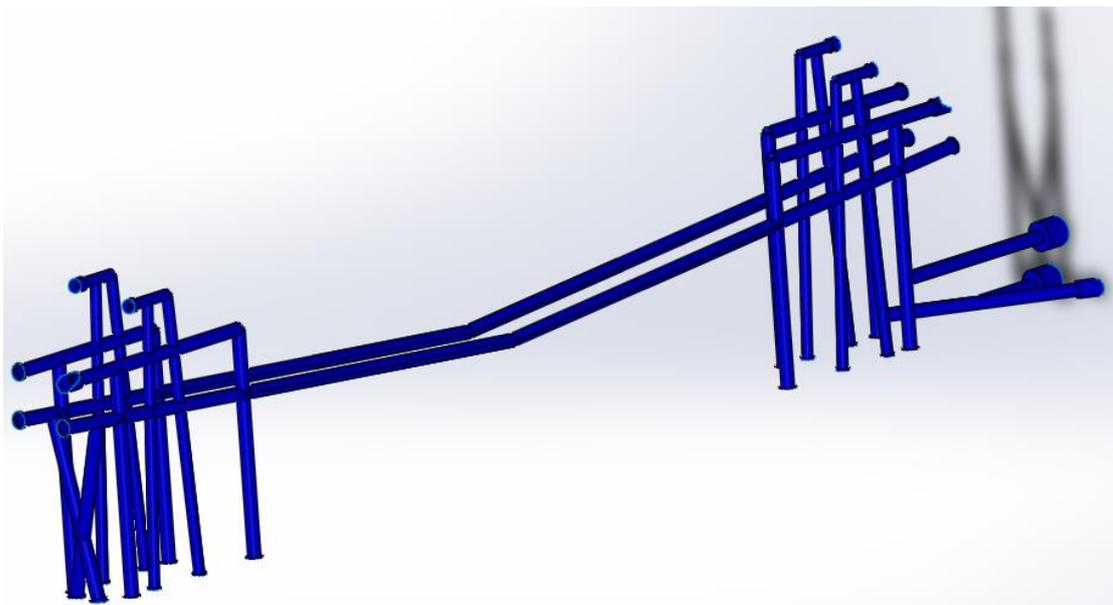


Figura 6.5 – Circuito azul da cavidade molde 2255

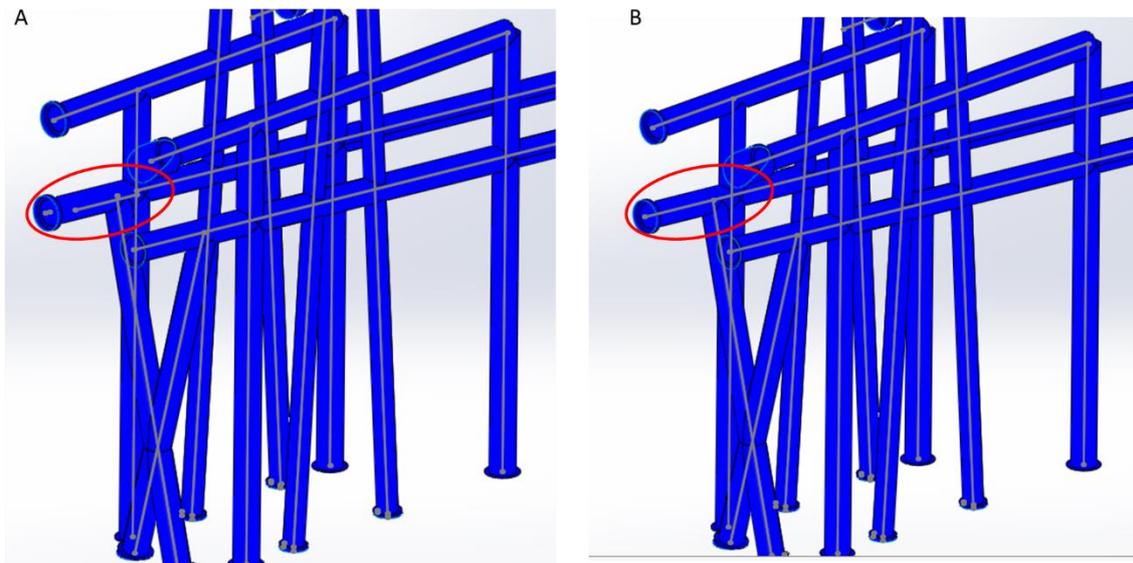


Figura 6.6 – (a) Resultado sem ativar função *Centerline Fix* (b) Resultado com função *Centerline Fix* ativada

7. Conclusão e Proposta de trabalhos futuros

Perante os resultados obtidos pela ferramenta desenvolvida pode-se concluir que o objetivo de reduzir o tempo de preparação dos canais de refrigeração para o *Moldflow* foi atingido. Apesar de os resultados não serem ideais para importar diretamente para o *software*, estes permitem uma redução drástica no tempo gasto no principal procedimento, o da construção das linhas de centro. Este procedimento pelo que foi reportado chegava a demorar dias a ser concluído e agora numa questão de minutos as linhas são obtidas.

7.1 Proposta de trabalhos futuros

Como já foi referenciado, a ferramenta está limitada a ficheiros STEP que sejam provenientes do *Solidworks*. Esta limitação impede que a ferramenta seja universal e no futuro deve ser melhorada de modo para que o seja. Outra limitação está relacionada com a informação que é extraída. Sendo a ferramenta elaborada com base nos casos de estudo apresentados, podem surgir outros ficheiros que usem diferentes entidades para descrever uma superfície cilíndrica e não vão ser consideradas pela ferramenta, impedindo que os resultados sejam os pretendidos. Como tal para esta limitação a solução passa pela aquisição da ISO 10303 relacionada com o AP 214 e editar a ferramenta de modo a que todas as entidades e relações entre elas sejam consideradas.

8. Bibliografia

- [1] M. SARCAR, K. L. LALIT NARAYAN e K. M. RAO, "Computer Aided Design and Manufacturing," Nova Deli, Printice Hall of India, 2008, pp. 1-19.
- [2] N. Bilalis, "Computer Aided Design CAD," Technical University of Crete, 2000.
- [3] P. Radhakrishnan, S. Subramanyan e V. Raju, "CAD/CAM/CIM," Nova Deli, New Age International, 2000, pp. 132-138.
- [4] I. Stroud, "Boundary Representation Modelling Techniques," Springer-Verlag London Limited, 2006, pp. 3-7.
- [5] I. Stroud e H. Nagy, "Solid Modelling and CAD Systems: How to Survive a CAD System," Springer, 2011, pp. 65-69.
- [6] Schoonmaker e S. J., "The CAD Guidebook: A Basic Manual for Understanding and Improving Computer-Aided Design," Pennsylvania, Marcel Dekker, 2003, pp. 139-142.
- [7] "Rapid Prototyping: Theory and Practice," em *Cap. II - IGES Standard Protocol for Feature Recognition*, Springer, 2006.
- [8] M. J. Pratt, B. D. Anderson e T. Ranger, "Towards the Standardized Exchange of Parameterized Feature-based CAD Models," *Computer-Aided Design*, vol. 37, pp. 1251-1265, 2005.
- [9] F. Castro, A. Gelbukh e M. González, "Semantic Representation of CAD Models Based on the IGES Standard," em *Advances in Artificial Intelligence and Its Applications*, Cidade do México, Springer, 2013, p. 163.
- [10] K. McHenry e P. Bajcsy, "An Overview of 3D Data Content, File Formats and Viewers," National Center for Supercomputing Applications, University of Illinois at Urbana-Champaign, Illinois, 2008.
- [11] SolidWorks, "SolidWorks help - Import and Export - File types," [Online]. Available: http://help.solidworks.com/2016/English/SolidWorks/sldworks/c_File_Types.htm?id=1fe954f

3d316423d8fd577370d64aec7#Pg0&ProductType=&ProductName=. [Acedido em Janeiro 2017].

[12] PDES, Inc., “Recommended Practices for AP 203,” 1998.

Anexo I – Tabelas de entidades dos formatos IGES e STEP

Tabela 2 - Tabela de Entidades de um ficheiro IGES [7]

Entidade	Forms	Nome da entidade	Entidade	Forms	Nome da entidade
0		Null	141		Boundary
100		Circular Arc	142		Curve on Parametric Surface
102		Composite Curve	143		Bounded Surface
104		Conic Arc	144		Trimmed (Parametric) Surface
106	1-3	Copious Data	150		Block
	11-13	Linear Path	152		Right Angular Wedge
	20-21	Centerline	154		Right Angular Cylinder
	31-38	Section	156		Right Circular Cone Frustum
	40	Witness Line	158		Sphere
	63	Simple Closed Planar Curve	160		Torus
108		Plane	162		Solid Revolution
110	0	Line	164		Solid Linear Extrusion
112		Parametric Spline Curve	168		Ellipsoid
114		Parametric Spline Surface	184		Solid Assembly
116		Point	186		Manifold Solid B-Rep Object
118		Ruled Surface	190		Plane Surface
120		Surface Revolution	192		Right Circular Cylindrical Surface
122		Tabulated Cylinder	194		Right Conical Cylindrical Surface
123		Direction	196		Spherical Surface
124		Transformation Matrix	198		Toroidal Surface
126		Rational B-spline Curve	202		Angular Dimension
128		Rational B-spline Surface	204		Curve Dimension
130		Offset Curve	206		Diameter Dimension
132		Connect Point	218		Ordinate Dimension
134		Node	220		Point Dimension
136		Finite element	222		Radius Dimension
140		Offset Surface			

Tabela 3 - Entidades da Part 42 da norma STEP [12]

Entidades	
AXIS1_PLACEMENT	KNOT_TYPE
AXIS2_PLACEMENT	LINE
AXIS2_PLACEMENT_2D	LOOP
AXIS2_PLACEMENT_3D	MANIFOLD_SOLID_BREP
BEZIER_CURVE	MANIFOLD_SURFACE_SHAPE_REPRESENTATION
BEZIER_SURFACE	OFFSET_CURVE_2D
BOUNDED_CURVE	OFFSET_CURVE_3D
BOUNDED_SURFACE	OFFSET_SURFACE
B_SPLINE_CURVE	OPEN_SHELL
B_SPLINE_CURVE_FORM	ORIENTED_EDGE
B_SPLINE_CURVE_WITH_KNOTS	ORIENTED_SURFACE
CARTESIAN_POINT	ORIENTED_FACE
CIRCLE	ORIENTED_OPEN_SHELL
CLOSED_SHELL	OUTER_BOUNDARY_CURVE
COMPOSITE_CURVE	PARABOLA
COMPOSITE_CURVE_ON_SURFACE	PLACEMENT
COMPOSITE_CURVE_SEGMENT	PLANE
CONIC	POINT
CONICAL_SURFACE	POINT_ON_CURVE
CURVE	POINT_ON_SURFACE
CURVE_BOUNDED_SURFACE	POLYLINE
CURVE_REPLICA	POLY_LOOP
CYLINDRICAL_SURFACE	RATIONAL_B_SPLINE_CURVE
DIMENSION_COUNT	RATIONAL_B_SPLINE_SURFACE
DIRECTION	RECTANGULAR_COMPOSITE_SURFACE
EDGE	RECTANGULAR_TRIMMED_SURFACE
EDGE_CURVE	SURFACE
EDGE_LOOP	SURFACE_CURVE
ELEMENTARY_SURFACE	SURFACE_OF_LINEAR_EXTRUSION
FACE	SURFACE_OF_REVOLUTION
FACETED_BREP	SWEPT_SURFACE
FACETED_BREP_SHAPE_PRESENTATION	TRIMMED_CURVE
GEOMETRIC_CURVE_SET	UNIFORM_CURVE
GEOMETRIC_SET	VECTOR
HYPERBOLA	VERTEX
INTERSECTION_CURVE	VERTEX_LOOP

Anexo II – Procedimentos para a preparação de ficheiros a analisar

Para situações em que o ficheiro do modelo 3D não é criado no Solidworks o procedimento a utilizar é:

1. Abrir o ficheiro, com as definições de importação apresentadas na figura 55;
2. Esconder os modelos relativos aos canais de refrigeração com a função de comando *Hide*;
3. Eliminar todos os outros modelos que não representam canais de refrigeração (tampões, mangueirs, *o-rings*...)
4. Revelar os modelos relativos aos canais de refrigeração com a função de comando *Show*;
5. Atribuir uma cor diferente a cada modelo dos canais de refrigeração
6. Guardar o ficheiro no formato STEP AP214, com as definições da figura 56.

Para ficheiros que sejam criados no próprio Solidworks e considerando que o modelo foi construído com superfícies, basta ignorar o primeiro passo em cima referido.

Em situações em que o modelo 3D disponível é a placa maquinada com os canais de refrigeração o procedimento para obter as superfícies dos canais é o seguinte:

1. Ir ao menu *Insert*, selecionar o submenu *Surface*;
2. Escolher a funcionalidade *Offset Surface*;
3. Definir o *Offset* para zero;
4. Selecionar faces dos canais;
5. Guardar apenas os modelos de superfície referentes aos canais;
6. Voltar a abrir ficheiro e aplicar o primeiro procedimento deste anexo.

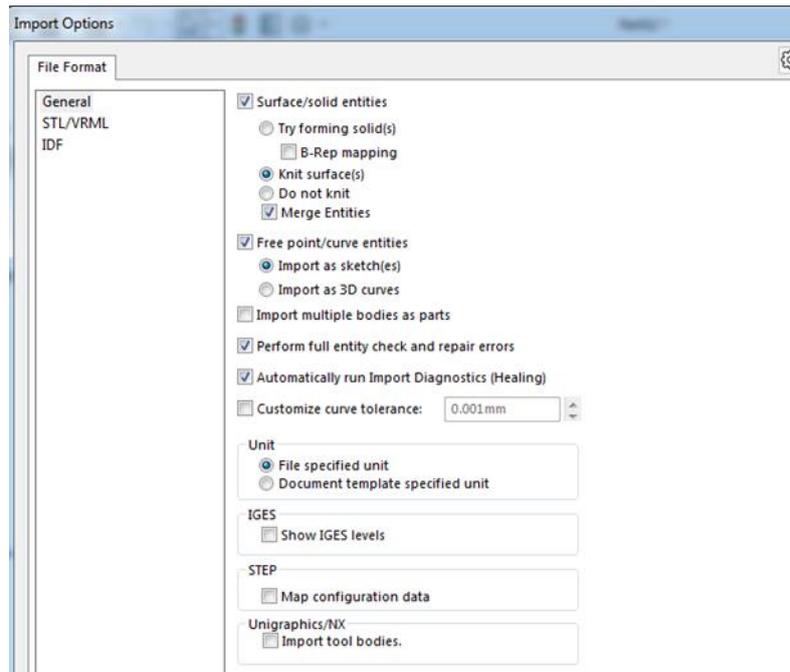


Figura 0.1 – Configuração para importar o modelo sob a forma de superfície

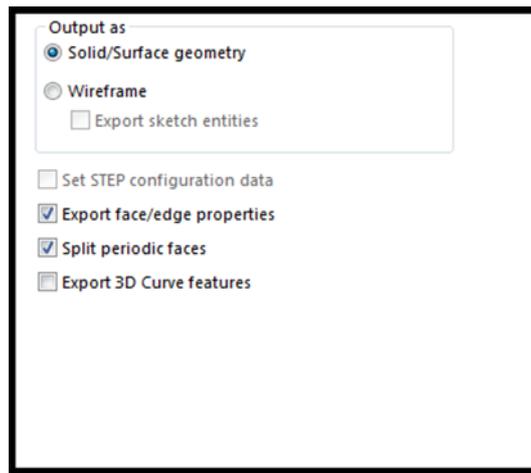


Figura 0.2 – Configuração para guardar o modelo no formato STEP