

Relatório de Projeto

Seaai

2019-09-30

Table of Contents

Introdução	1
Tarefas Desenvolvidas.....	2
Definição do Problema	2
Aquisição do Equipamento de Visão	7
Instalação do Computador.....	8
Arquitetura de Software.....	9
Redefinição do Desafio	11
Monitorização do Processo de Infusão.....	12
Conclusões e Trabalho Futuro.....	19

Introdução

O relatório presente tem como objetivo descrever o desafio proposto pela bolsa **SEAAI** e enumerar as tarefas desenvolvidas durante o primeiro semestre. Este trabalho foi desenvolvido pela Universidade de Aveiro em parceria com a empresa Composite Solutions. O trabalho foca-se na monitorização e deteção de falhas de um processo industrial, o enrolamento de fibras, através de um sistema de visão por computador.

Os objetivos iniciais deste projeto são:

1. Análise do problema, definição dos objetivos e proposta de solução;
2. Seleção e instalação de um sistema de visão, composto por câmeras, lentes e sistemas de iluminação;
3. Montagem e gestão de um computador para armazenamento e processamento de dados;
4. Desenvolvimento do software para a solução do problema.

Tarefas Desenvolvidas

De acordo com os objetivos previamente enumerados, o curso dos trabalhos será descrito por ordem cronológica de seguida.

Definição do Problema

Descrição do processo

O processo a estudar consiste no enrolamento de um compósito de fibra de carbono e *epoxy* numa forma cilíndrica de forma a obter um tubo final. A vantagem deste tubo é uma redução de peso de 10Ton para cerca de 300Kg sem sacrifício nas suas propriedades mecânicas. Outra vantagem é propriedade não-magnética do material, que é indispensável para a aplicação em estudo.

Este processo de fabrico de compósito de fibra de carbono e *epoxy* segue as seguintes etapas:

1. Fabrico do molde

O model interior, normalmente em espuma, é fabricado através de fresagem/torneamento ou corte por fio quente. O molde fica dimensionalmente com defeito, por causa do passo seguinte.

2. Impregnação da fronteira do molde com *epoxy*

Se o acabamento e dimensionamento interior forem importantes, é colocada uma camada de *epoxy* na fronteira do molde. Esta camada é posteriormente retificada para corresponder às dimensões requeridas. Posteriormente, é colocada uma camada de desmoldurante.

3. Enrolamento da fibra de carbono

A fibra de carbono, impregnada em resina, é enrolada. Cada nova camada enrolada é chamada de *hop*, e existem dois tipo de *hops*: enrolamento helicoidal e enrolamento paralelo.

4. Vácuo

A peça poderá ser envolvida num saco de vácuo, antes da cura. Este processo permite extrair a resina em excesso da peça e melhorar a qualidade exterior desta. Neste momento esta etapa não é executada.

5. Cura

De forma a curar a resina, a temperatura da peça tem que ser elevada a cerca de 80°, numa estufa, durante 4-5h. Durante este processo, a peça deverá estar sempre a rodar para impedir deformações.

Enquadramento

Fabrico manual

O processo de enrolamento enquadra-se num impulso de reduzir o preço de fabrico de peças em compósito, em especial, fibra de carbono, no sentido de o tornar mais disponível em geral.

O processo mais antigo mas mais fiável consistem no posicionamento manual de cada manda de fibra de carbono, pré-impregnada em *epoxy*, num molde (em espuma). Este é o processo usado, por exemplo, na construção do monocoques de *Formula 1*, bem como todas as outras peças. No entanto, pela sua natureza manual, e por requerer pessoal altamente especializado, é um processo

demorado e muito caro. Um exemplo ilustrativo deste processo pode-se encontrar no seguinte vídeo:

► <https://www.youtube.com/watch?v=RG7xuUrp6xI> (*YouTube video*)

Fabrico por deposição

Devido às suas propriedades, compósitos em fibra de carbono têm sido altamente cobiçados na indústria aeronáutica e aeroespacial. De forma a reduzir os custos de produção, implementou-se um processo novo. Este processo deposita fibras pré-impregnadas no molde, e ao mesmo tempo a cabeça de deposição, através de radiação ultra-violeta, faz a pré-cura das fibras depositadas. Este processo, no entanto, tem ainda uma série de desvantagens:

1. Requer um controlo fino da pressão da cabeça de deposição na peça,
2. Requer fibras pré-impregnadas (em inglês, *carbon fiber prepreg*), que têm um custo elevado.

Este processo está a ser utilizado com grande destaque na produção da fuselagem do Boeing 787 (ver vídeo) e do tanque de combustível do BFR (ver [artigo](#)).

► <https://www.youtube.com/watch?v=tmmrkswDHp0> (*YouTube video*)

Fabrico por enrolamento

O método de fabrico neste projeto é o enrolamento de fibras, que tem as seguintes características:

1. As fibras são apenas direcionadas pelo braço robótico, e a pressão de deposição é causada pela pré-tensão das fibras.
2. Não existe nenhum contacto do robot no molde.
3. As fibras são embebidas em epoxy no momento do enrolamento, o que permite o uso de fibras não pré-impregnadas, que têm um custo inferior.

Setup

O ambiente industrial é composto por:

- um braço robótico *Fanuc R2000-ic*, montando num carril;
- Um eixo de rotação da peça;
- Todo o sistema de *feeding* das fibras de carbono e impregnação das fibras com o epoxy.



Figure 1. Setup do processo, com o braço robótico, o sistema de feeding e o torno com a peça.

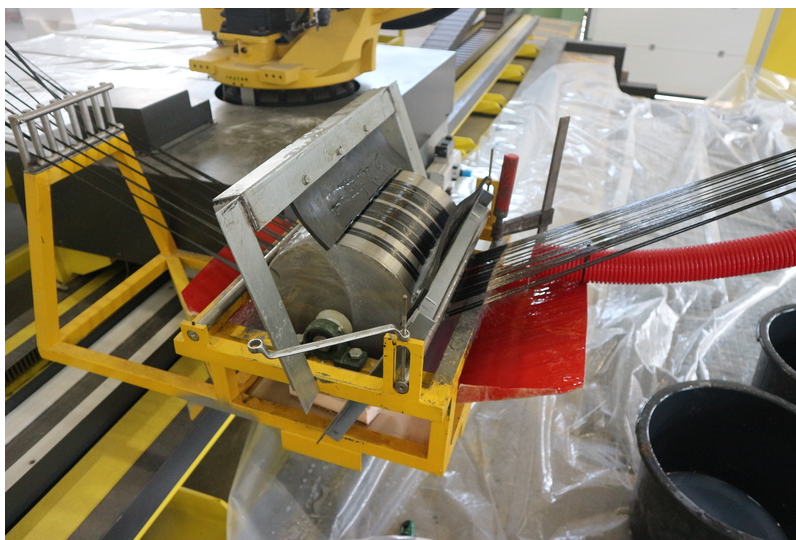


Figure 2. Mecanismo de feeding da fibra de carbono e de impregnação de resina epoxy.

Processo

Fase de enrolamento

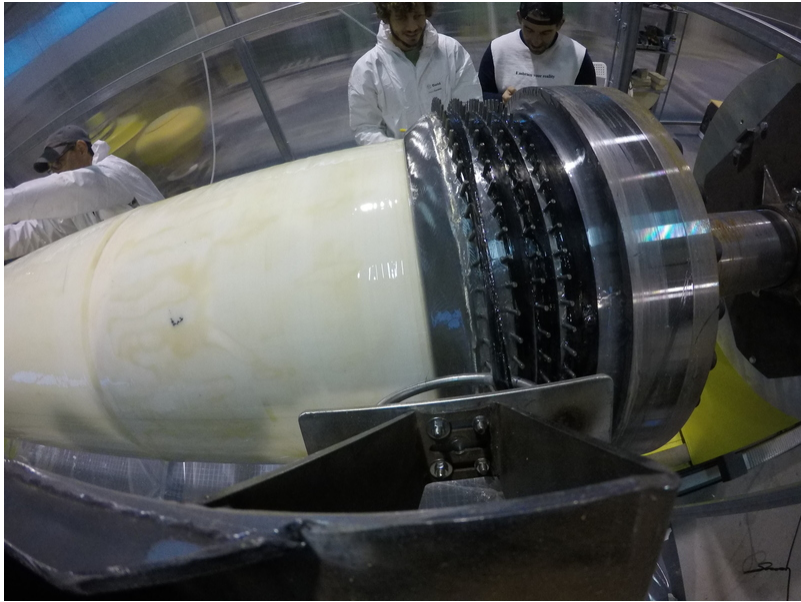


Figure 3. Início do processo de enrolamento.



Figure 4. Processo de enrolamento.



Figure 5. Promenor da superfície da peça durante o enrolamento do lado do braço robótico.

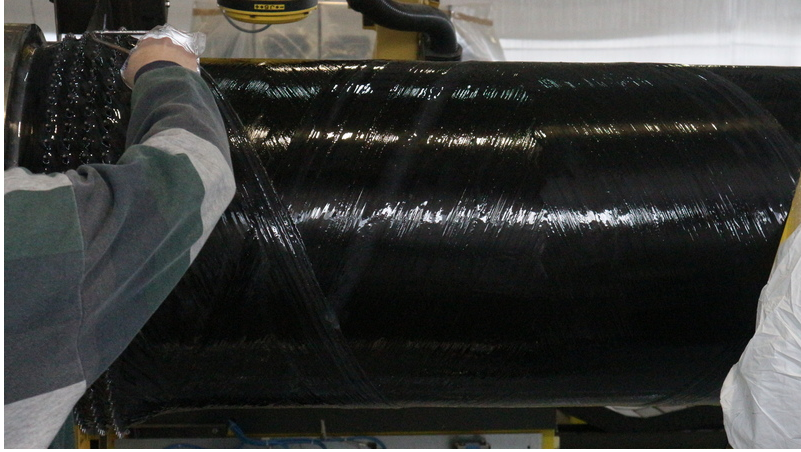


Figure 6. Promenor da superfície da peça durante o enrolamento do lado contrário ao do braço robótico.

Resultado final



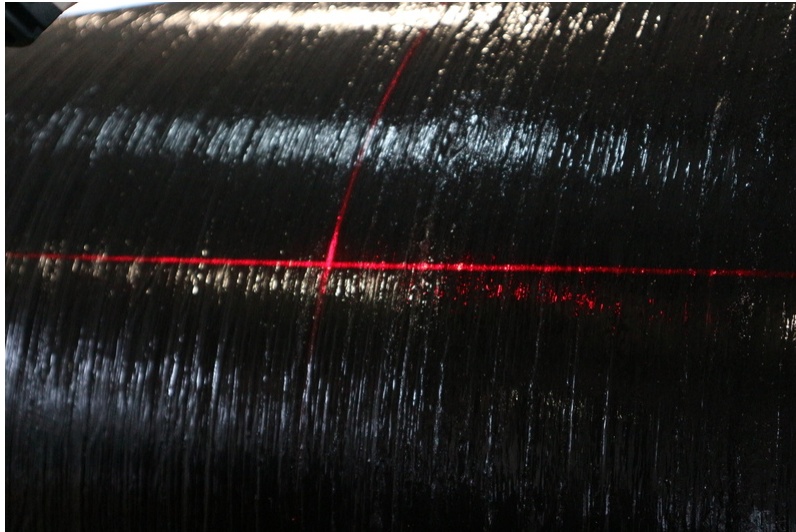


Figure 7. Reflexão de um feixe de laser na peça acabada.

Conclusões

Algumas soluções apresentadas para a melhoria deste processo são:

1. O ponto de contacto da fita com a peça é de difícil controlo com o sistema atual, o que poderá impossibilitar a boa deposição do material na peça. Porventura uma das soluções poderá passar pelo controlo deste ponto de contacto.
2. O ponto de contacto é dependente da posição da ponta do robot e da tensão da fita. Uma possibilidade é de a ponta do robot exercer um controlo na tensão.
3. A deteção do ponto de contacto é difícil pela análise das imagens unicamente, por causa do baixo contraste entre a fita e a peça. O posicionamento do sistema de visão e da iluminação podem ser cruciais. Tipos de visão não convencionais, como câmaras 3D ou lasers poderão ser exploradas para ajudar na identificação da posição da fita. A reflexão do laser na peça já foi testada com resultados positivos.
4. O mapeamento espacial e temporal da superfície da peça pode ser importante para analisar o processo de enrolamento e identificar possíveis erros de fabrico ou para certificação do processo. Para isso seria necessário montar uma série de câmaras estacionárias em cima do robot, forma a capturar a peça na sua totalidade.
5. A junção, na peça, entre os dois extremos (em aço) e o cilindro (em compósito) é um ponto crítico, por causa da inclinação elevada, causada por dois raios diferentes. Um dos problemas reside no deslizamentos das fibras aquando da sua deposição. O sistema de controlo da deposição da fibra poderá resolver parcialmente este problema.

Assim, propõe-se adquirir um sistema de visão, composto por uma câmara e um laser de linha, montado na ponta do robot.

Aquisição do Equipamento de Visão

De acordo com o a solução elaborada, foi adquirido o seguinte material:

- Câmara Mako G-319B: uma câmara monocromática com resolução 2064x1544.

- Uma ótica de 12mm, 2/3" F2.4 de encaixe tipo C.

Instalação do Computador

O processamento de imagens que é requerido neste trabalho exige um poder de computação alto. Devido a esta necessidade, foi adquirido um computador para o projeto. Este computador tem como característica especial as quatro gráficas de alta performance, que permite acelerar os algoritmos de visão por computador usados. Em particular, este computador tem os seguintes componentes:

1. Processador AMD Threadripper 2850 Extreme
2. Memória 128Gb DDR4 RAM
3. 4 Placas gráficas NVIDIA RTX2080TI
4. 1 Disco 512Gb SSD e dois discos 2Tb HDD



Figure 8. Componentes do computador Deep@LAR

As seguintes tarefas referentes ao computador foram completas:

1. A montagem de todos os componentes do computador. Os componentes montados podem ser vistos na figura anterior;
2. A instalação do sistema operativo e as driver para as placas gráficas;
3. Instalação de software para correr os algoritmos de visão, com especial ao *runtime* necessário para correr contentores;
4. Gestão de utilizadores;
5. Elaboração de um guia para a documentação de como aceder e utilizar o computador:

Arquitetura de Software

O projeto em estudo requer o desenvolvimento de software capaz de executar os seguintes trabalhos:

1. aquisição de imagens da câmara, com o timestamp e posição correta, sincronizada com os eixos do sensor e com as múltiplas câmara, se existirem;
2. controlo de eixos de posicionamento das câmaras, se existirem;
3. registo das imagens capturadas, posição dos eixos da máquina e outros parâmetros do enrolamento num ficheiro em disco. Este ficheiro, pelo seu tamanho, deverá ser guardado preferencialmente num computador diferente do host presente na máquina (na cloud, por exemplo);
4. processamento dos dados, por algoritmos de visão ou outros, do estado do enrolamento em cada instante. Este processamento pode ser muito intensivo por isso deverá ser executado num computador diferente do host (idealmente na cloud);
5. visualização dos dados tratados num interface agnóstico e de fácil acesso. Este interface deverá ser preferencialmente uma página web.

Soluções Encontradas

Software para Host

A solução para o host computer que vai estar acoplado à estação de enrolamento vai ser desenvolvida em ROS. ROS, ou Robot Operating System (ros.org) é uma coleção de software que permite o desenvolvimento de robots ágil e robusto, sendo muito usado para desenvolvimento dos mesmos.

As vantagens deste sistema para este problema em concreto são:

1. Drivers para as câmaras adquiridas são suportados nativamente no ROS;
2. O sistema de parametrização do ROS permite a alteração de parâmetros online, quer das câmaras (por exemplo a exposição), como dos parâmetros de aquisição (por exemplo a taxa de aquisição);
3. O ROS permite fazer facilmente o *record* dos dados para um ficheiro *rosvbag*, que contem todos os dados do enrolamento.
4. A arquitetura do ROS permite o desenvolvimento de um sistema distribuído, com comunicação para sistemas embebidos, como *Arduinos*, ou drivers de motores, de uma forma fácil e robusta.

Assim, o host será responsável por controlar a aquisição dos dados do enrolamento e de salvar os mesmos num ficheiro *rosvbag*, que depois irá fazer upload para um computador remoto.

Software para o Armazenamento de Dados

O software para o armazenamento de dados mais popular nos dias de hoje é o *Object Storage*,

definido por um protocolo, o `s3`, e por várias soluções para a cloud, como o *Google Cloud Storage*, o *AWS S3*, ou para o servidor, como o *Minio*. Esta solução tem inúmeras vantagens:

1. O *Object Storage* guarda os ficheiros como se fosse um sistema de ficheiros na cloud. Cada ficheiro tem um caminho associado, como por exemplo `s3://acquisition_data/acquisition000.bag`, que pode ser acedido por qualquer computador;
2. O acesso pode ser restrito, para escrita, acesso, ou leitura.
3. Existem inúmeras bibliotecas em `python` ou `C++` para o acesso aos ficheiros, tal como programas, como o `mc`, para executar operações nos ficheiros, como cópia e remoção;
4. É possível definir triggers para quando existem alterações no sistema de ficheiros, como por exemplo, um upload. Isto permite criar um sistema automático para o processamento das bags.
5. No caso do *Minio*, é escalável no número de servers ou em número de discos, e suporta replicação para garantir que os dados não se perdem;

Assim, este sistema de armazenamento é versátil para salvar as bags, tal como outros ficheiros criados na aquisição.

Datasets

Depois de as bags serem criadas e quando são transferidas para a *Object Storage*, é necessário extrair os dados para um formato mais conveniente para a consulta e processamento. A desvantagens do formato *bag* é que toda a informação está no formato de mensagens do ROS, e requer uma conversão para se poder aceder, e o formato é sequencial, ou seja, não há possibilidade de *random access*.

Assim, os formatos bag devem ser "extraídos" ou convertidos para uma representação mais conveniente. Em geral, as mensagens de ROS bag pode ser convertida em 2 tipos:

1. formatos tabulares, que incluem a maioria das mensagens ROS. As tabelas podem ser guardadas em formatos como o `parquet`, `avro` ou `jsonl`, que são criados para o efeito.
2. formatos binários, como imagens, que deverão ser guardados em ficheiros singulares, numa subdiretoria. Os metadados podem ser guardados em formatos tabulares.
3. metadados, ou configurações, podem ser guardados em formatos de objetos, como `yaml` ou `json`.

Um exemplo de um dataset pode ser o seguinte:

```
metadata.json    <- metadados da aquisição, como a data em que foi tirado
transformations.parquet <- tabela com todas as transformações
images.parquet   <- tabela com os metadados das imagens capturadas
images/         <- localização de todas as imagens em formato png
  image00000.png
  image00001.png
  image00002.png
  ...
```


Software de Processamento de Dados

O software de processamento de dados deverá ter as seguintes funcionalidades:

1. Extrair as *bags* na correspondente *dataset*;
2. Processar o *dataset* para obter os dados do enrolamento, como por exemplo, o caminho do ponto de contacto, e as imagens do rolo para cada instante.
3. O processamento deve ser automatizado, ou seja não deve ser executado manualmente, mas sim por ordem de um pipeline.

O software que poderá ser usado é python e as bibliotecas necessárias, como o OpenCV, e celery (uma *task queue*), para coordenar automaticamente o processamento dos dados.

Software de Visualização

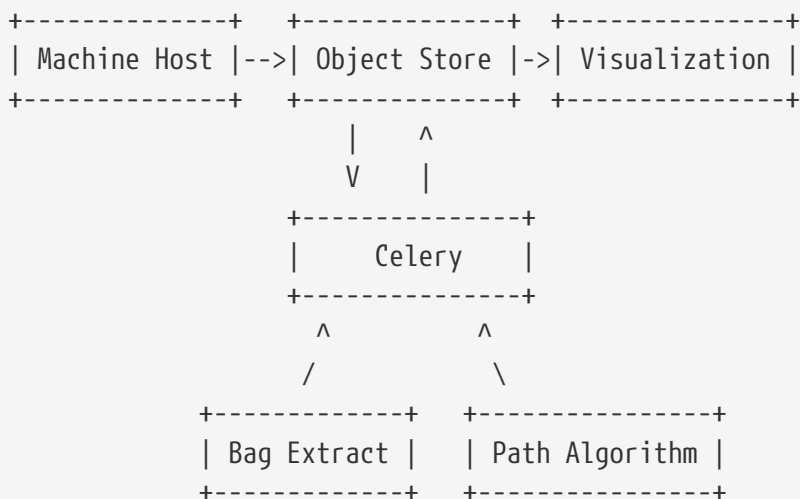
O software para a visualização dos dados de enrolamento terá as seguintes funcionalidades:

1. Inspeccionar as imagens capturadas;
2. Visualizar o caminho feito ponto de enrolamento para cada instante do enrolamento;
3. Visualizar o estado da peça a cada instante.

Este software pode ser desenvolvido numa solução como o backend em python + flask, e com o frontend em angular ou React. Uma alternativa será utilizar um software de visualização de dados como por exemplo o Paraview.

Conclusão

Em conclusão a arquitetura do software deverá ser a seguinte:



Redefinição do Desafio

No dia 25 de Julho, numa reunião entre os membros do projeto, formalizaram-se a definição e os objetivos do projeto, apresentados de seguida.

Em virtude dos requisitos de rastreabilidade, requeridos pelos clientes e pelas normas de fabrico, definiu-se que o objetivo deste projeto será o desenvolvimento de uma aplicação de registo anotado do processo de enrolamento, com especial foco na aquisição de imagens das diferentes fases do processo. Por exemplo, um dos desafios é o registo de imagens do processo de enrolamento no instante de tempo em que foram adquiridas, e na localização geométrica da posição da câmara, em relação à peça a ser fabricada.

Assim, é necessário incorporar no processo uma ou várias câmaras registadas, dependendo da resolução necessária, e sincronizadas com o processo. O posicionamento das câmaras deve ter em conta a dinâmica do processo em si, ou seja, estas devem estar colocadas de forma que a região de deposição de fibra estava sempre a ser capturada. Diferentes posições para a câmara foram discutidas:

- Acoplação da câmara na ponta do manipulador robótico;
- Colocação da câmara numa estrutura colocada por cima da peça.

Das duas soluções apresentadas, decidiu-se que a primeira solução seria mais vantajosa, pelas seguintes razões:

1. Não é necessária uma comunicação com o manipulador, para obter o posicionamento dos eixos das juntas;
2. Existe o potencial de haver uma proximidade excessiva entre a resina e a câmara, que pode levar à danificação da mesma;
3. A variação de perspetiva causada pelo movimento do robot levaria a um processo de retificação dinâmico, o que leva a uma variação na geometria e resolução das imagens, o que dificultaria o processo de aquisição de imagens excessivamente, assim como ao registo das mesmas. A segunda opção, além de ser mais simples, também garante resultados com maior precisão.

Para além dos dados técnicos a registar com as imagens, estarão o tempo e as coordenadas da câmara, e a velocidade e o sentido de enrolamento da fibra.

Em conclusão, o desafio irá focar-se no desenvolvimento de um sistema para recolha, armazenamento, anotação e busca de imagens associadas ao processo de fabrico de uma peça.

Monitorização do Processo de Infusão

Embora o desafio do projeto seja o enrolamento de fibra, devido à interrupção do processo de enrolamento, decidiu-se monitorizar um outro processo da Composite Solutions, com especificações simples, no entanto similares ao processo de enrolamento. O processo em questão é a infusão de resina, que é descrito de seguida.

Background

O processo de infusão permite produzir superfícies de fibra de vidro, como por exemplo, cascos para barcos. O processo consiste em vários passos:

1. Produção do **Molde**, normalmente em fibra de vidro, com a geometria das superfícies a serem produzidas. O molde é produzido por outsourcing.

2. **Layup.** Nesta fase os constituintes do casco vão ser colocados por camadas dos moldes. Por exemplo, algumas destas camadas são o desenmoldurante, placas de espuma e folhas de fibra de vidro. Para além dos constituintes do molde, alguns componentes extras são colocados para permitir o fluxo de resina e para assegurar o vácuo, como por exemplo, as mangueiras, os inlets e outlets, e por fim a saca de vácuo. Este processo é feito manualmente e não requer monitorização.
3. **Infusão.** É nesta fase que se procede a infusão, ou seja, a resina vai infundir pela peça (pelas placas de espuma e fibra de vidro) através de vácuo. Mais concretamente, a resina vai estar ligada aos inlets do molde, e o motor de vácuo vai estar ligado aos outlets do molde. Durante o processo, alguns dos outlets vão ser transformados em outlets, para facilitar a infusão da fibra do molde. Durante este processo, é necessário monitorizar o fluxo de fibra no molde, ou seja, a velocidade de infusão, a identificação da linha de segmentação, e o tempo que demorou cada ponto do molde a ser infundido. Estes dados podem ser essenciais para determinar a qualidade do molde e para avaliar o processo de produção.
4. **Cura.** Neste ponto, a resina vai sofrer um processo de cura, que vai solidificar a molde. Este processo é exotérmico, e é necessário garantir que a temperatura do molde não ultrapasse uma determinada temperatura (cerca de 65°). Nos hot-spots, como são chamados tecnicamente, existe libertação de gases que ficam retidos no interior do compósito, e que reduzem a resistência mecânica da peça. Este processo deverá então ser monitorizado para garantir que não há formação de hot-spots na peça.

Objetivo

Face ao processo mencionado, colocam-se os seguintes objetivos para este trabalho:

- Monitorização do processo de infusão:
- Instalação de uma ou múltiplas câmaras, para obtenção da imagem da superfície da peça, sem oclusões;
- Calibração intrínseca da câmara;
- Determinação da posição da peça em relação à câmara;
- Desenvolvimento do algoritmo de segmentação da zona de infusão;
- Desenvolvimento do algoritmo de re-projeção das imagens obtidas para o modelo tridimensional da peça, de forma a possibilitar uma consulta dos dados com informação geométrica, o que permite medir distâncias e velocidades.
- Monitorização da cura da peça:
- Instalação de uma câmara térmica, para obter a imagem térmica da peça;
- Calibração intrínseca da câmara;
- Calibração da função de transferência da câmara, para uma determinação precisa da temperatura;
- Calibração extrínseca da câmara térmica em relação a uma câmara previamente colocada no sistema;
- Integração dos dados térmicos no modelo tridimensional da peça.
- Desenvolvimento de uma plataforma/programa, para facilmente consultar todos os dados

registados durante o processo.

Peça de Infusão Simples

O primeiro trabalho de infusão com monitorização foi um *testbench* com uma peça plana e retangular, o que permite uma análise mais simplista mas que ilustra os objetivos que se permitem abordar.

Para melhor compreender esta infusão, vejamos este vídeo da completa infusão, ou esta imagem individual:

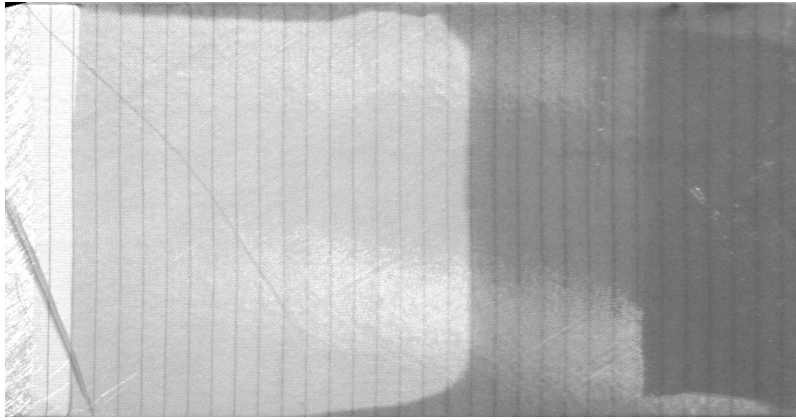
vimeo::[https://vimeo.com/user103448620/review/363415715/d087e4464d\[\]](https://vimeo.com/user103448620/review/363415715/d087e4464d[])



Após a análise das imagens e do *timelapse* é possível fazer as seguintes conclusões:

- A luminosidade é um ponto crucial neste trabalho. A complexidade do algoritmo de segmentação pode ser significativamente reduzida se se reduzir as sombras e se se mantiver uma iluminação constante da peça, o que não se verifica neste vídeo.
- O contraste da parte infundida não é alto, e existem zonas que, dependendo da composição da peça, tem intensidades diferentes. Tudo isto coloca dificuldades na segmentação segmentação.
- É possível haver momentos em que é necessário intervir na peça, e o algoritmo de segmentação tem de ser sensível a essas anomalias.

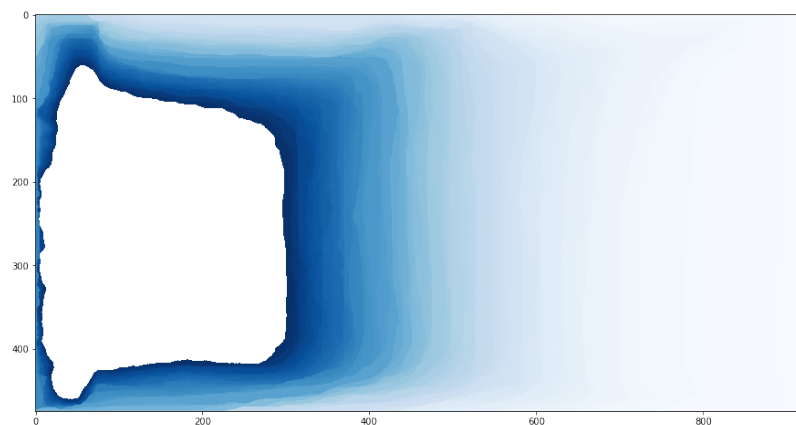
Os primeiros passos são a retificação da image, ou seja, determinar a matrix homógrafa, que transforma cada pixel da peça numa coordenada métrica. A determinação desta matrix pode ser feita pela correspondência de pontos na imagem e pontos reais. Depois da retificação pode-se obter uma imagem sem distorção de perspetiva e sem distorção métrica. Isto significa que a distancia entre dois pixeis tem um significado geométrico real. Neste caso, a cada pixel corresponde uma distância de 1mm:



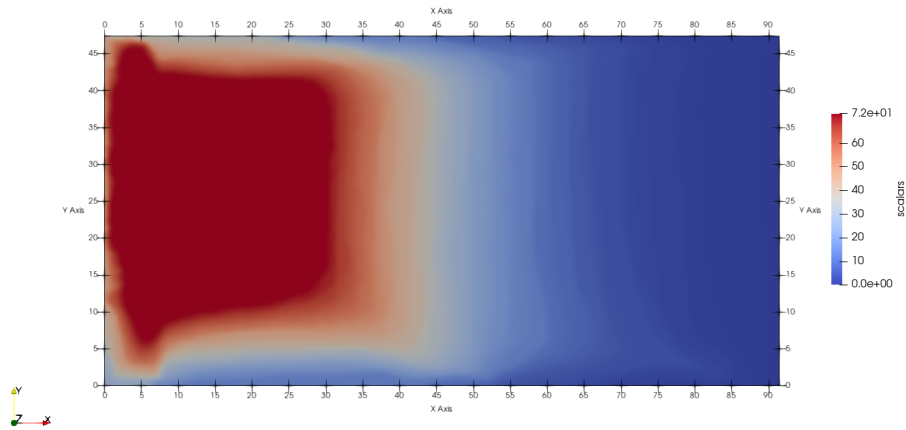
Após a retificação, um dos objetivos é a segmentação, para cada imagem, da parse infundida. Um exemplo desta segmentação pode ser visto na seguinte image:



Após a segmentação, é possível construir um *heatmap*, com um mapa de cores que determinam o tempo que demorou ao fluido de resina a chegar a cada ponto. Neste caso, quando mais azul o ponto, mais tempo demorou. Este gráfico permite analisar o fluxo de resina, de forma a, por exemplo, determinar os melhor pontos para colocar os inlets/outlets. Por exemplo, foi possível ver que parte da peça não foi infundida, e portanto esta infusão não foi bem sucedida.



No final, pode-se fundir os dados anteriores com o modelo tridimensional da peça. Neste caso, pela sua geometria planar, é uma operação trivial, no entanto este passo vai ser fundamental para outras peças. O modelo tridimensional pode ser visto através de programas de análise de dados tridimensionais, como o *ParaView*, como se pode ver na figura seguinte.



Casco de um Catamarã

O trabalho seguinte foi a monitorização da infusão de um casco de catamarã, que será o objetivo do trabalho. De uma forma análoga ao trabalho anterior, iremos mostrar cada parte do processo de monitorização e processamento de dados:

Acquisição das imagens da infusão.



Como se pode observar, a geometria do casco acarreta alguns desafios:

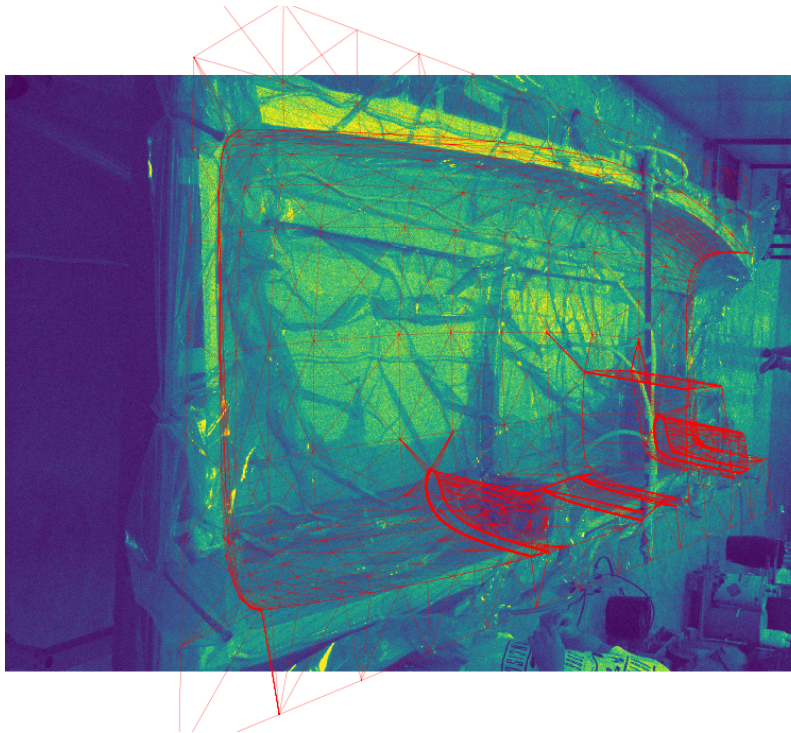
- O tamanho do casco não permite uma aquisição fácil pela câmara, o que dependendo da posição vai privilegiar algumas zonas, em detrimento de outras. Por exemplo, as áreas mais perto da câmara vão ter mais definição. Uma das soluções é colocar a câmara numa posição melhor, ou acrescentar mais câmaras no sistema.
- A geometria do casco cria oclusões, ou seja, partes da superfície não são vistas pela câmara. Este problema pode ser resolvido pela incorporação de várias câmaras no sistema.
- A superfície da peça tem mais interferência, pelas peças que foram colocadas para permitir o fluxo da resina (por exemplo: mangueiras).

Retificação das Imagens

A retificação das imagens já não é possível para geometrias com esta complexidade.

Determinar a transformação entre Câmara-Peça

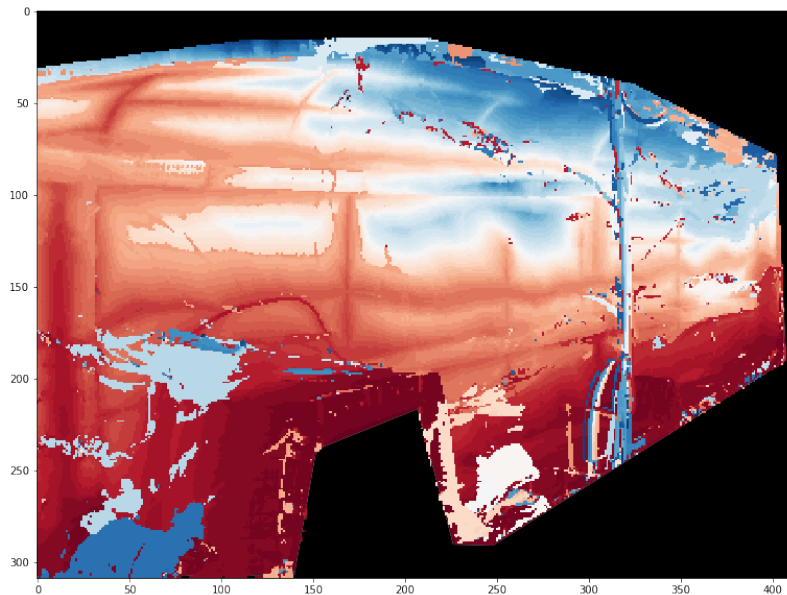
A determinação da transformação da entre a câmara e a peça pode ser feita pela correspondência entre pontos da peça em 3d e pontos da peça na imagem. Após a determinação, e conjuntamente com a calibração intrínseca da câmara, é possível fazer uma re-projeção para peça na image. Nesta re-projeção é possível ver uma sobreposição da geometria do molde na imagem.



A re-projeção mostra que a transformação obtida não é precisa, principalmente pelo número baixo de correspondências usado, e pela baixa precisão de cada ponto selecionado. Para melhorar este método, é necessário colocar marcadores na peça, no qual se sabe as coordenadas. Estes marcadores podem ser detetados na imagem, automaticamente ou manualmente, com maior precisão.

Segmentação da Zona de Infusão

A segmentação das imagens produziram também uma image homóloga ao trabalho anterior. O tempo de infusão está numa estala de vermelho para azul.



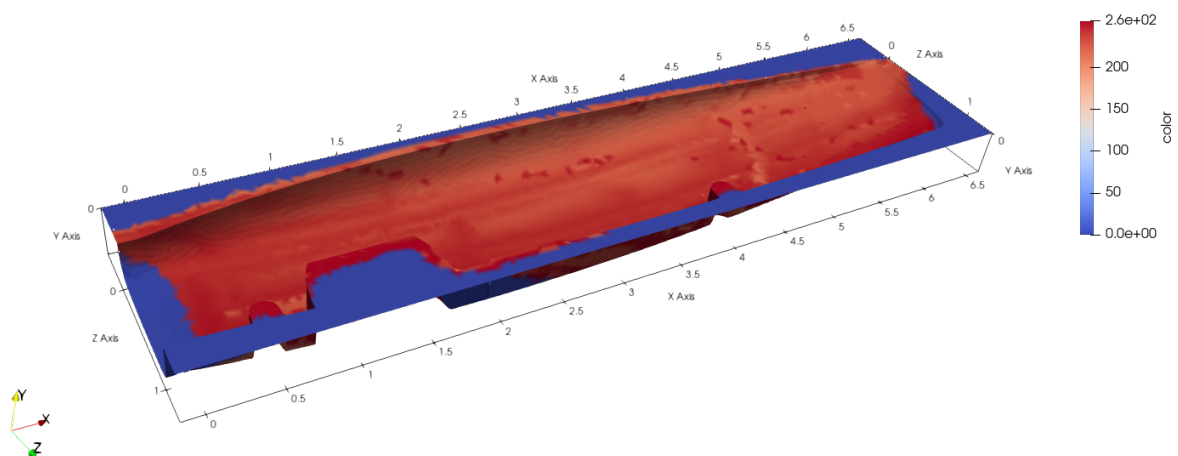
Esta segmentação está aquém do que se espera deste trabalho, muito pelo facto de ainda não se ter em conta a disrupção da cena pelas intervenções manuais pelos técnicos da infusão.

Projeção das imagens no molde

Por fim, os dados obtidos anteriormente podem ser projetados no modelo tridimensional da peça, para uma análise detalhada. Neste caso, este processo já não é trivial, e têm de se ter em conta os seguintes fatores:

- **Oclusões.** A imagem não contém a informação para toda a superfície da peça, por isso é necessário filtrar os triângulos que não são vistos pela câmara (também conhecido por culling). (ainda não implementado)
- **Dimensões da Malha.** É necessário definir a dimensão dos elementos da malha, de acordo com as especificações do trabalho e da câmara.

A imagem seguinte mostra a malha resultante do processo monitorizado.



Conclusões e Trabalho Futuro

O trabalho desenvolvido por ser sumariado nos seguintes pontos:

1. Os pontos iniciais do trabalho, como o análise detalhada do problema, a definição dos objetivos e a proposta da solução foram já realizados;
2. De acordo com a proposta de solução, selecionou-se uma câmara e uma lente adequada para o problema;
3. O sistema de computação foi montado e está preparado para ser utilizado para o fim deste projeto;

No entanto, devido à raridade dos processos de enrolamento de fibras e pela sua complexidade, decidiu-se mudar o foco do trabalho para o processo de infusão de fibra. Desde essa mudança de foco, os seguintes trabalhos foram realizados:

1. Análise do problema de infusão;
2. Aquisição de dados reais do processo;
3. Desenvolvimento de software para o processamento e visualização dos dados do processo.

Os desafios que se colocam para o futuro deste trabalho são:

1. Desenvolvimento de um algoritmo robusto para segmentação da região de infusão da peça;
2. Escolha de um procedimento para registo da peça/camera, de forma a melhorar o alinhamento entre a imagem e o modelo tridimensional;
3. Captura e registo da imagem da câmara térmica no modelo tridimensional da peça;
4. Fusão de imagens obtidas por múltiplas câmeras, de forma a minimizar as oclusões observadas previamente.