

# Desenvolvimento de um braço de suspensão de um automóvel eléctrico em material compósito

**Paulo Jorge Aguiar Gonçalves**

Mestrado em Engenharia Mecânica – Construções Mecânicas

## OBJECTIVOS

### **Objectivo principal:**

- Desenvolvimento de um braço de suspensão de um automóvel em material compósito que se situe num patamar intermédio na relação peso/custo, relativamente aos braços existentes em mercado.

### **Motivos para este estudo:**

- Diminuição das emissões de CO<sub>2</sub>;
- Diminuição do consumo de combustíveis;
- Diminuição do peso total do veículo automóvel.

### **Procedimento:**

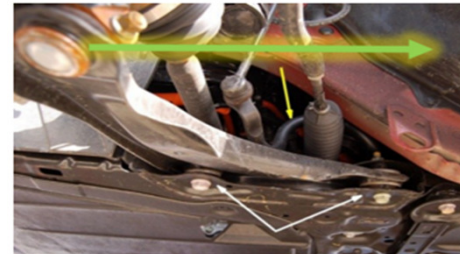
- Determinação de um conceito base para o caso de estudo; seleção de materiais; modelação CAD; análise CAE; análise técnico-económica.

## OBJECTO DE ESTUDO E CONDIÇÕES DE CARGA

Braço de suspensão MacPherson



Condição de travagem



$$F = 7696,38 \text{ N}$$

Condição de aceleração



$$F = 4477,36 \text{ N}$$

Condição de curva



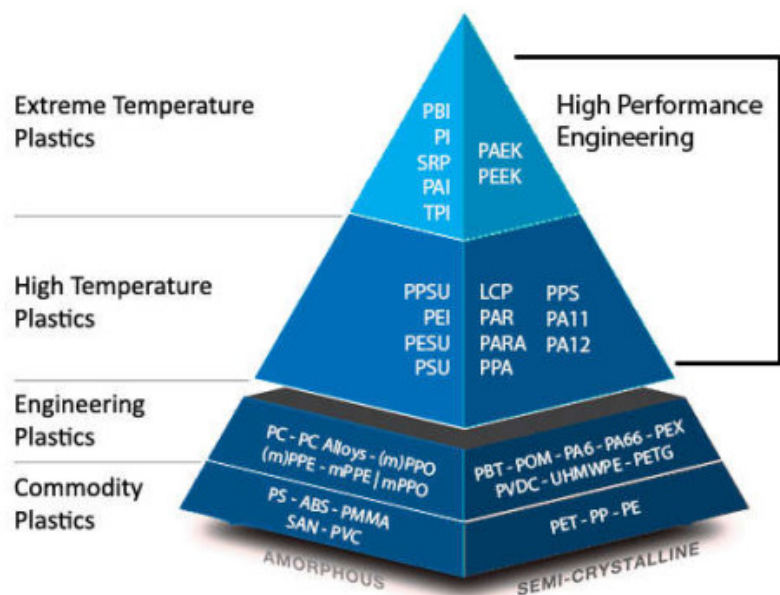
$$F = 4063,92 \text{ N}$$

(tracção)

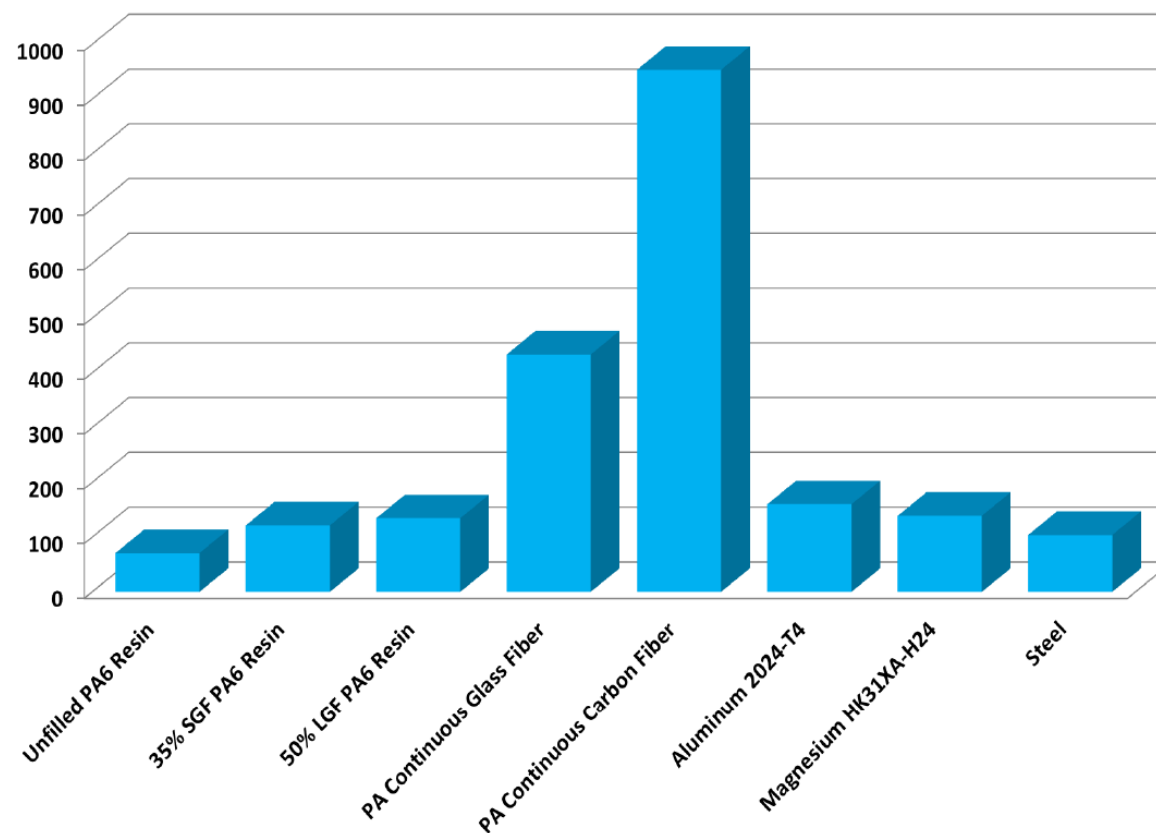
$$F = 6095,88 \text{ N}$$

(compressão)

## SELECÇÃO DE MATERIAIS



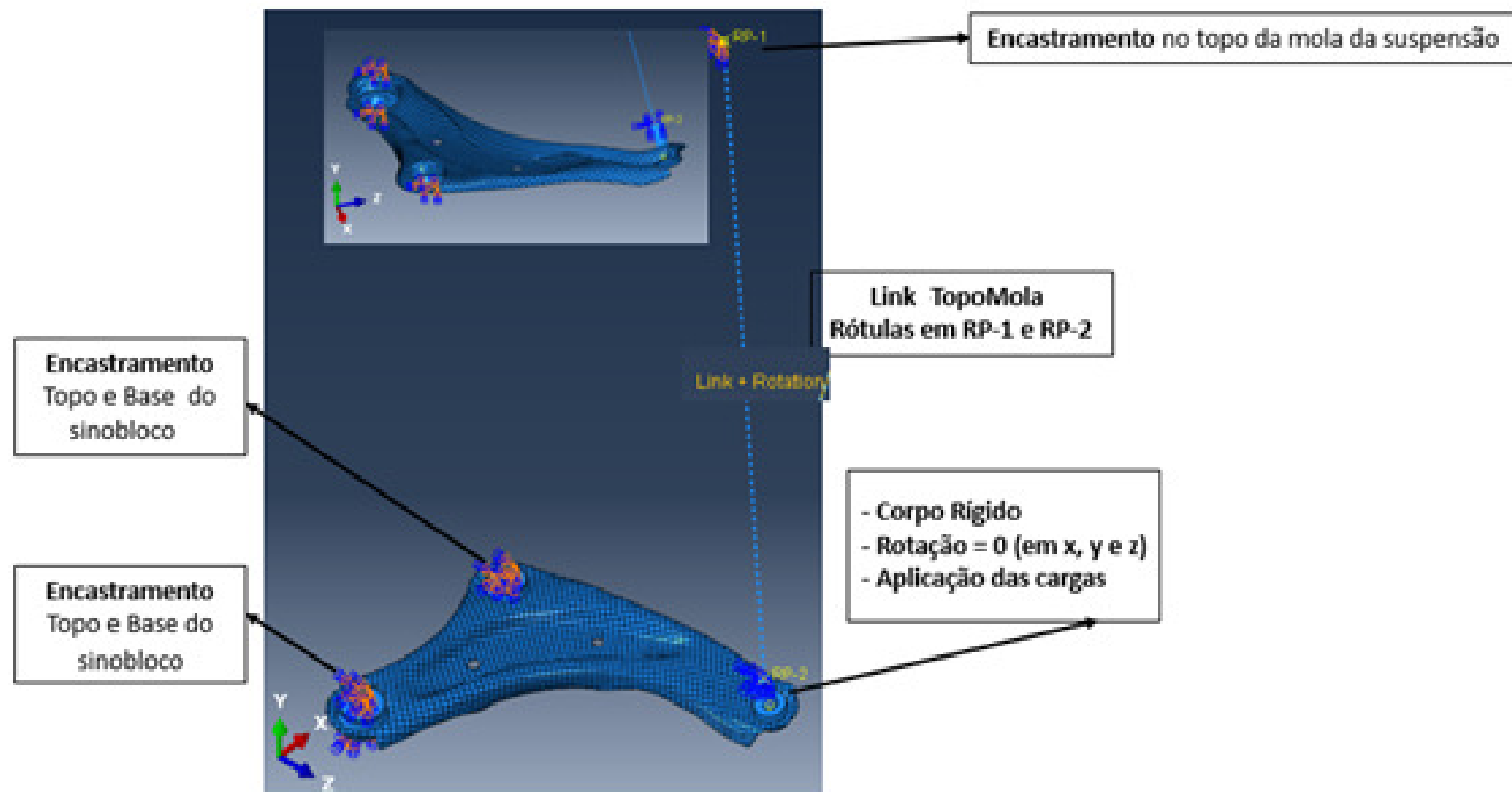
Strength to Weight Ratio of Various Materials



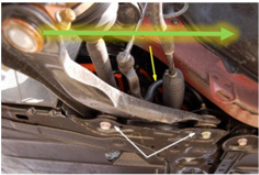



A poliamida 6 reforçada com fibras de carbono contínuas revela-se como o material com melhor relação resistência/peso.

## DESENVOLVIMENTO DO BRAÇO DE SUSPENSÃO – CONDIÇÕES FRONTEIRA

### Condições fronteira

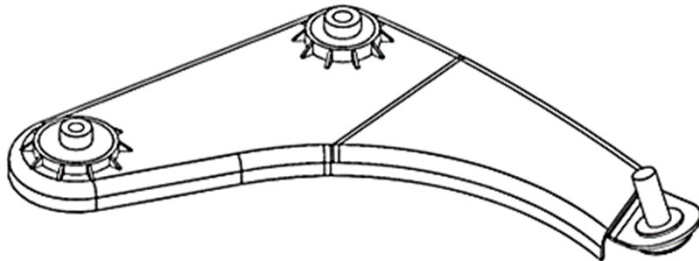


## DESENVOLVIMENTO DO BRAÇO DE SUSPENSÃO – COEFICIENTES DE SEGURANÇA (BRAÇO DE REFERÊNCIA EM AÇO)

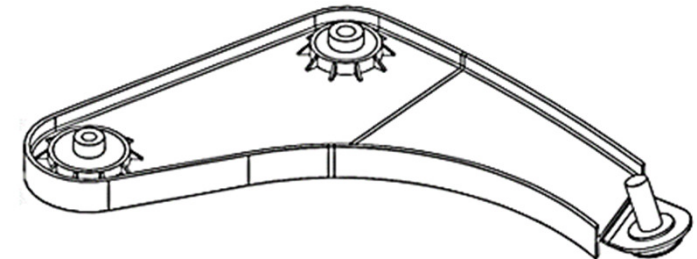
| Situação de Carga   | $\sigma_{ced}$<br>(MPa) | Força no<br>Braço<br>(N) | Tensão<br>Máxima<br>(MPa) | Coefficiente<br>Segurança | Força total<br>(CS 1,2)<br>(N) |
|---|-------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------------|
|  Travagem                | >650                    | 7 700                    | 444,8                     | 1,47                      | 9 240                          |
|  Aceleração             | >650                    | 4 480                    | 257,3                     | 2,52                      | 5 376                          |
|  Curva<br>(Tracção)    | >650                    | 4 070                    | 108,1                     | 5,70                      | 4 884                          |
|  Curva<br>(Compressão) | >650                    | 6 095                    | 162,2                     | 3,80                      | 7 314                          |

## MODELAÇÕES CAD – GEOMETRIAS GERADAS

### Conceito “U”



### Conceito “I”



**PA6 + 30% GF (Nurel)**

**PA6 + 60% GF (Nurel)**

$\sigma_{ced} = 160 \text{ MPa}$

$\sigma_{ced} = 260 \text{ MPa}$

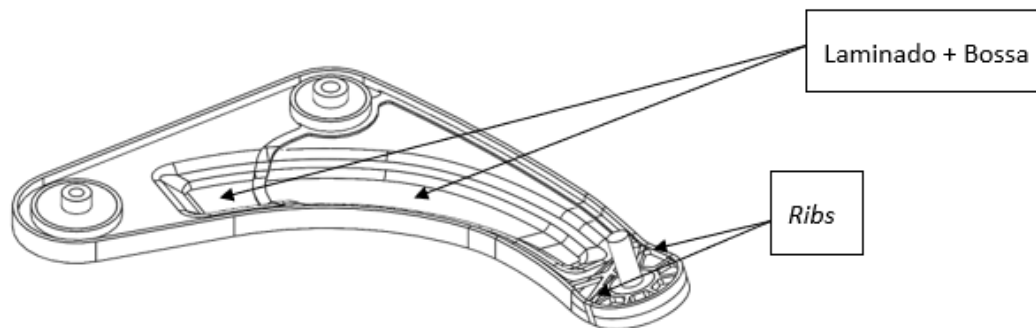
$E = 9\,900 \text{ MPa}$

$E = 21\,000 \text{ MPa}$

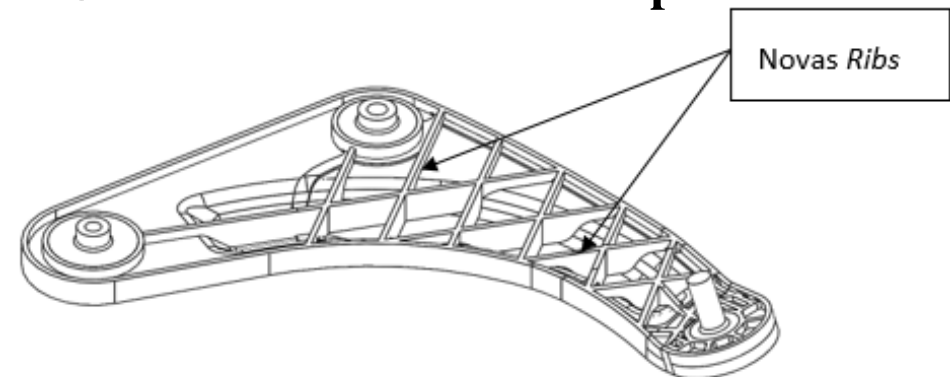
$\nu = 0,35$

$\nu = 0,35$

### 1º Conceito do laminado composto



### 2º Conceito do laminado composto

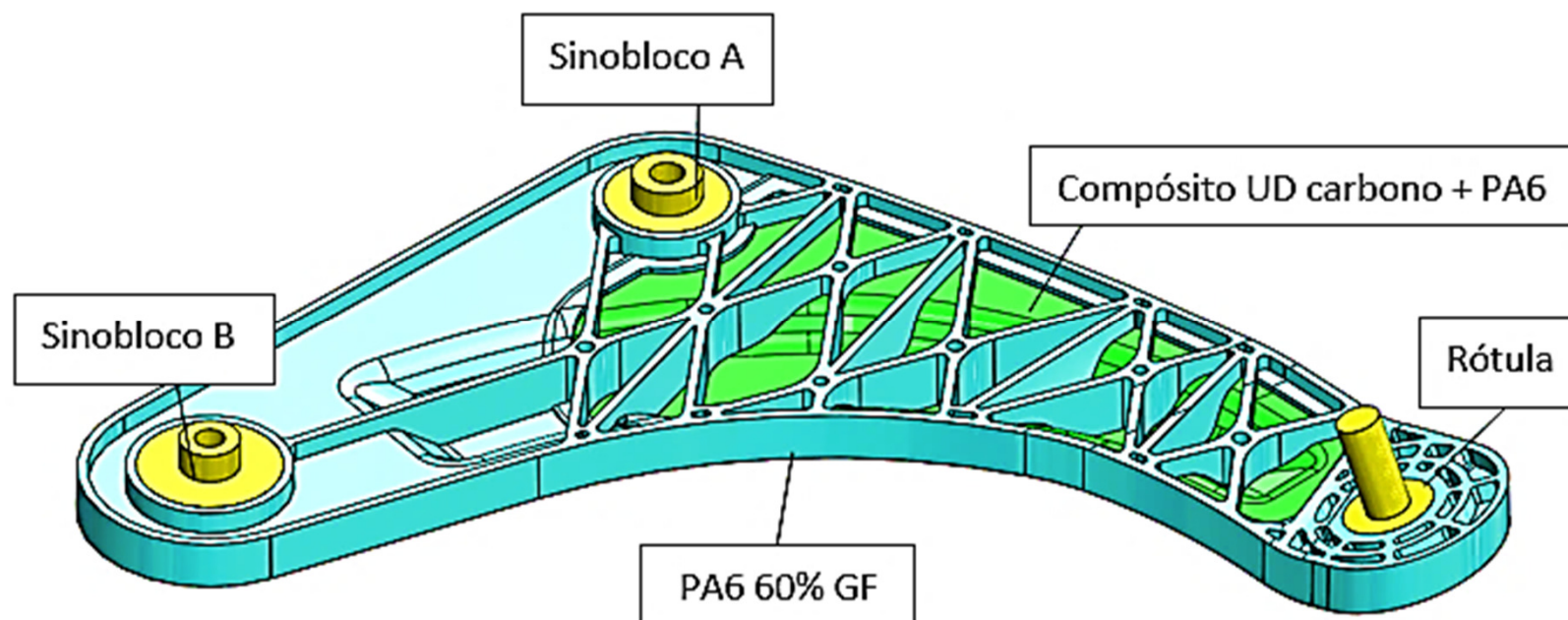


## ANÁLISE CAE – SIMULAÇÃO DO 2º CONCEITO COM INSERÇÃO DO LAMINADO

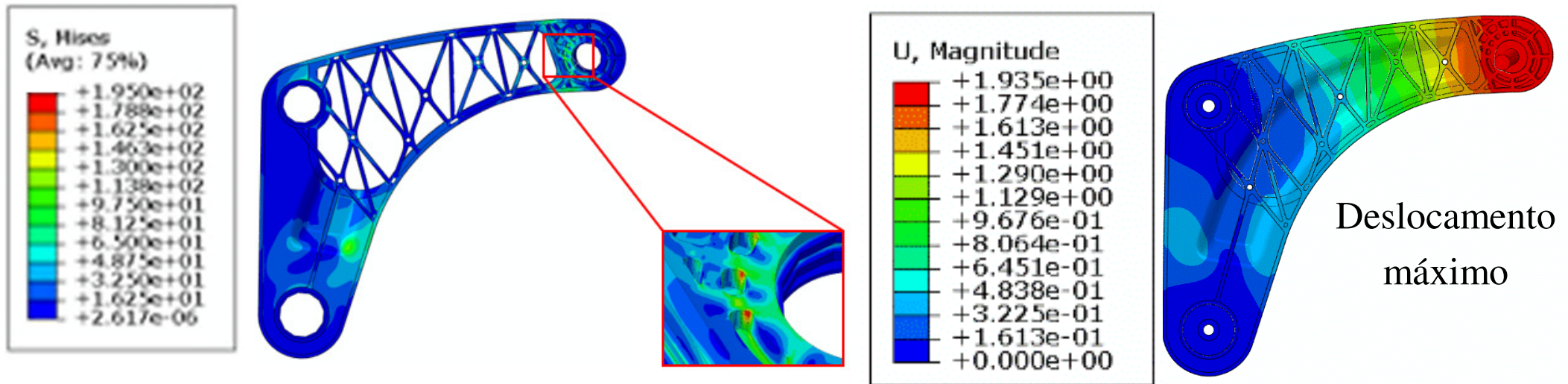
| Espessura (mm) | Carga (N) | Modelo           | $\sigma_{ced}$ do material (MPa) | $\sigma_{m\acute{a}x}$ (MPa) | Deslocamento máximo (mm) | Critério de Hashin |
|----------------|-----------|------------------|----------------------------------|------------------------------|--------------------------|--------------------|
| 2              | 7 700     | Laminado + 30%GF | 160 (Dry)                        | 147                          | 2,90                     | <1                 |
|                |           | Laminado + 60%GF | 260 (Dry)                        | 170                          | 1,74                     | <1                 |
| (14 camadas)   | 9 240     | Laminado + 30%GF | 160 (Dry)                        | 176                          | 3,47                     | <1                 |
|                |           | Laminado + 60%GF | 260 (Dry)                        | 204                          | 2,09                     | <1                 |
| 3              | 7 700     | Laminado + 30%GF | 160 (Dry)                        | 137                          | 2,62                     | <1                 |
|                |           | Laminado + 60%GF | 260 (Dry)                        | 160                          | 1,94                     | <1                 |
| (22 camadas)   | 9 240     | Laminado + 30%GF | 160 (Dry)                        | 167                          | 3,15                     | <1                 |
|                |           | Laminado + 60%GF | 260 (Dry)                        | 193                          | 1,62                     | <1                 |
| 4              | 9 240     | Laminado + 30%GF | 160 (Dry)                        | 163                          | 2,73                     | <1                 |
|                |           | Laminado + 60%GF | 260 (Dry)                        | 181                          | 1,71                     | <1                 |
| (30 camadas)   |           |                  |                                  |                              |                          |                    |



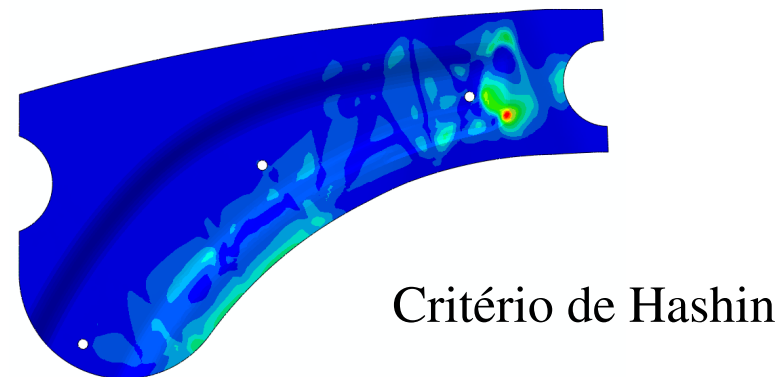
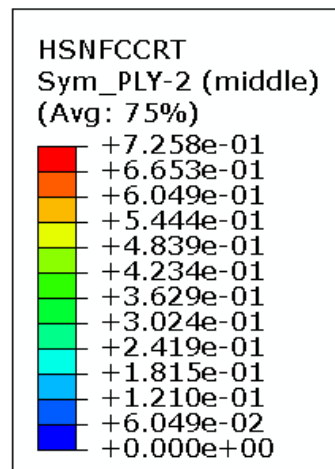
## MODELAÇÃO CAD DA SOLUÇÃO FINAL PROPOSTA



## ANÁLISE CAE – SIMULAÇÃO DA GEOMETRIA FINAL COM INSERÇÃO DO LAMINADO



Tensões equivalentes de von Mises  
(Travagem)



## ANÁLISE CAE – SIMULAÇÃO DA GEOMETRIA FINAL COM INSERÇÃO DO LAMINADO

| Material    | $\sigma_{ced}$ (MPa) | Condição de carga | Carga (N) | $\sigma_{m\acute{a}x}$ (MPa) | Deslocamento máximo (mm) | Critério de Hashin |
|-------------|----------------------|-------------------|-----------|------------------------------|--------------------------|--------------------|
| PA6 + 60%GF | 240                  | Travagem          | 9 240     | 195                          | 1,9                      | < 1                |
|             |                      | Aceleração        | 5 376     | 115                          | 1,1                      |                    |
|             |                      | Curva Tracção     | 4 884     | 66                           | 0,3                      |                    |
|             |                      | Curva Compressão  | 7 314     | 99                           | 0,4                      |                    |

## ANÁLISE TÉCNICO-ECONÓMICA DA SOLUÇÃO FINAL

Comparação de massas entre a solução final proposta e a versão de referência em aço:

|                    | <b>Solução Final</b> | <b>Versão em aço</b> |
|--------------------|----------------------|----------------------|
| Massa Total        | 1,115 kg             | 2,0 kg               |
| <b>Ganho Final</b> |                      | <b>45%</b>           |

Custos associados ao material da solução final proposta

|                    | <b>PA6 CF TenCate TC910 Nylon 6</b> | <b>PA6 Promyde 60%GF</b> |
|--------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| Custo unitário     | 10,71 €/m <sup>2</sup>              | 2,78 €/kg                |
| Área de material   | 0,0429 m <sup>2</sup>               | -                        |
| Número de camadas  | 14                                  | -                        |
| <b>Custo Final</b> | <b>6,4412 €</b>                     | <b>2,7546 €</b>          |

## ANÁLISE TÉCNICO-ECONÓMICA DA SOLUÇÃO FINAL

Comparação de custos totais entre o material de referência (aço) e o material da solução híbrida (compósito + plástico)

|  | Material        |                  |
|--|-----------------|------------------|
|  | Aço             | Compósito        |
| Matéria-prima  | 2,3371 €        | 9,1957 €         |
| Processo de fabrico,<br>tratamentos superficiais e<br>montagem | 1,7764 €        | 0 €              |
| <i>Outsourcing</i>   | 1,0090 €        | 0 €              |
| Amortização da ferramenta                                      | 1,0676 €        | 0,9553 €         |
| <b>Custo Total</b>   | <b>6,1901 €</b> | <b>10,1510 €</b> |

## CONCLUSÕES

- Os materiais compósitos e seus processos são uma alternativa efectiva aos aços, tipicamente usados em componentes estruturais, uma vez que o factor peso tem uma enorme importância;
- A introdução e optimização da geometria da estrutura sobre-injectada (*ribs*) revelou-se ser um parâmetro decisivo para a redistribuição e alívio das tensões exercidas;
- Para o componente alvo seleccionado (braço de suspensão), a introdução do laminado em compósito refletiu-se essencialmente na diminuição do deslocamento máximo para as diversas condições de carga;
- A solução final proposta permite uma redução de peso de 45% em relação ao componente em aço com um aumento no custo de produção de 1,65 vezes, tornando-a assim uma solução viável e competitiva com outros tipos de braços de suspensão existentes no mercado.

**isep** Instituto Superior de  
**Engenharia** do Porto

