

**Alunos:** Bruno Dias Ribeiro; Bruno Reis Vescovi; Guilherme Mazzare de Castro; Ingo Warnke; João Pedro Correa; Lucas Duarte; Matheus Masayoshi Kojima;

**Orientador:** Silvio Sizuo Sumioshi – [silviosu@fei.edu.br](mailto:silviosu@fei.edu.br)

**Coorientador - Prof. Me. Cleber Gomes** ([cwgomes@fei.edu.br](mailto:cwgomes@fei.edu.br))



## LFHE – Less Fuel for High Efficiency: Desenvolvimento de um cabeçote de motor monocilíndrico de alta eficiência energética movido a etanol

### RESUMO

Seguindo o interesse do Centro Universitário FEI em retornar as competições da Shell Eco-Marathon, muito influenciado pelo ganho de notoriedade do etanol, que está sendo muito discutido em questões de melhoras de emissões de poluentes. Seguindo o objetivo da competição, o projeto LFHE foi baseado a partir da remodelagem de cabeçotes já existentes para a construção de um novo cabeçote, para que ele tenha o maior rendimento energético possível na competição.

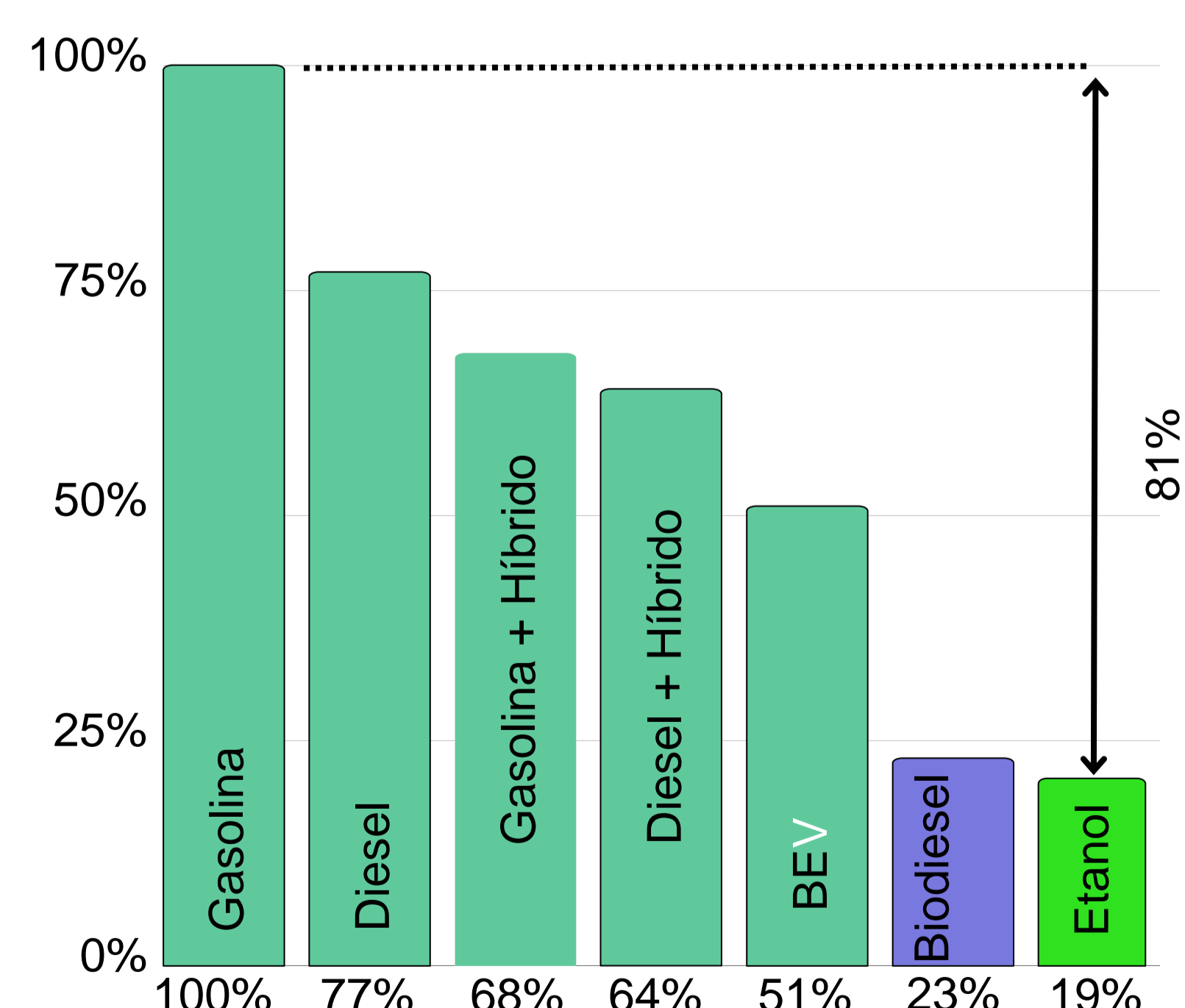
Tendo isso em mente, este projeto tomou como base o ECO-FLOW feito anteriormente em 2018 e um motor da Shineray, sendo que os dois possuem em comum o peso excessivo ao se comparar com o trabalho que seria exigido dele, algo que para este tipo de competição compromete fortemente o principal ponto para o qual ela foi criada, sua eficiência. Além disso, para melhorá-lo ainda mais foi pensado em reduzir a rotação na qual ele atinge seu torque máximo, alteração no formato de sua câmara de combustão e mudanças na geometria original dos dutos de admissão e escape.

Com as mudanças possíveis determinadas foram usadas ferramentas de engenharia para o planejamento de como cada alteração seria aplicada e calculada. Desta maneira, utilizou-se softwares de simulação de motores disponibilizados pela FEI, como o Engine Analyzer e AVL Cruise M, com isso obtendo-se resultados virtuais que atendessem as metas estabelecidas pelo grupo anteriormente. Com estes resultados foram feitos CADs do cabeçote, para que assim fossem feitas impressões 3D dele e posteriormente validando em um ambiente real os resultados obtidos anteriormente pelos softwares em uma bancada de fluxo de ar.

### CONTEXTUALIZAÇÃO

Tendo em vista as adversidades que o meio ambiente está suscetível, a empresa Shell criou uma competição chamada Shell Eco-Marathon, provocando estudantes do mundo inteiro a não só implementar nos veículos novas alternativas de transformação de energia, mas também aperfeiçoar as que já existem. Para essa competição e com tudo isso em mente, o Centro Universitário FEI pretende criar melhorias para todos os motores, porém tendo como foco ingressar na categoria do etanol, sendo ele um combustível com um grande potencial no Brasil e atendendo o uso de uma fonte de energia não poluente. O projeto LFHE apresenta uma solução para o aumento de eficiência energética, dentro dos regulamentos da competição, fazendo estudos no cabeçote do motor GXH50. Outro motivo pelo qual a categoria etanol foi escolhida seria porque, no Brasil se tem uma das maiores produções de etanol do mundo, sendo um país com as tecnologias mais desenvolvidas e melhor infraestrutura para a manufatura do etanol, tendo um ambiente muito promissor para este tipo de combustível. Outro fator relevante e que vale ser ressaltado é que, foi comprovado que o ciclo “do poço a roda” do etanol é menos prejudicial que o ciclo de uma bateria de um carro elétrico e de qualquer outro combustível fóssil.

É importante mostrar que a FEI já vem tendo projetos de melhora no consumo de combustível desde 1997 até 2018, onde se começou com o FEI X10 até o ECO-FLOW. Um desses trabalhos de conclusão de curso realizados que devemos ressaltar é o ECO-FLOW, também tem o foco no aprimoramento de um cabeçote para a competição Shell Eco-Marathon.

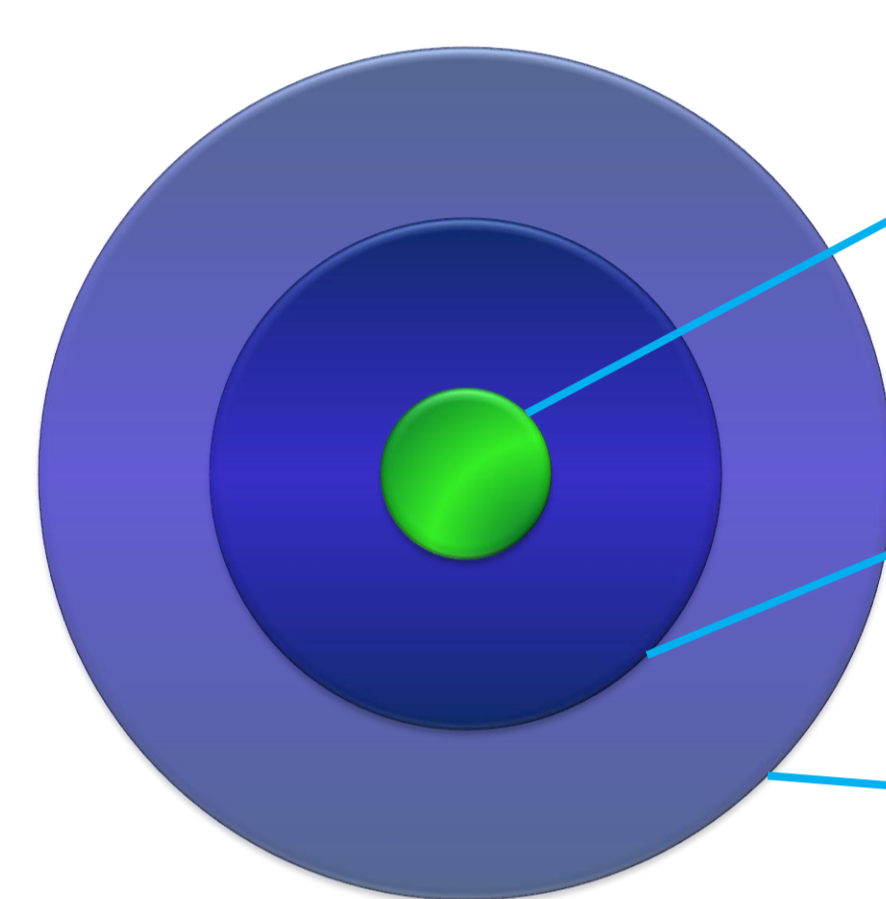


### PROBLEMA E PROPOSITO

**Problema:**  
Baixa vaporização do etanol

**Propósito:**  
Aumentar a vaporização do etanol

### GOLDEN CIRCLE



→Por que?

Acreditamos que as soluções implementadas nos carros de competição que utilizam energias renováveis beneficiarão o ecossistema da mobilidade nacional.

→Como?

Incentivando na contribuição da pesquisa de motores a combustão interna, adequando um motor para a competição Shell Eco-marathon.

→O que?

A contribuição no desenvolvimento de motores com maior eficiência energética movidos à etanol.

### REQUISITOS

Aumentar a velocidade do ar admitido;

Aumentar a turbulência;

Manter baixo consumo específico;

Gerenciamento eletrônico de acordo com estratégia de condução;

Aumentar vaporização do etanol;

### TARGET



Equipe Pato a Jato (Brasil – 2023)  
715 km/L  
Categoria etanol



**Target**  
1500 km/L



Equipe Team Microjoule (Europa – 2009)  
2639 km/L  
Convertido para etanol

### NORMAS E LEGISLAÇÃO

Shell Eco-marathon Brazil Official Rules.

Artigo 53 - Motores a combustão: Etanol e gasolina;

Artigo 59 – Obrigatório uso de motores 4 tempos;

Artigo 62 - Obrigatório uso de injeção indireta eletrônica;

Artigo 64 - Obrigatório o uso de motor de partida;

# ENGENHARIA MECÂNICA AUTOMOBILÍSTICA

**Alunos:** Bruno Dias Ribeiro; Bruno Reis Vescovi; Guilherme Mazzare de Castro; Ingo Warnke; João Pedro Correa; Lucas Duarte; Matheus Masayoshi Kojima;  
**Orientador:** Silvio Sizuo Sumiوشي – silviosu@fei.edu.br



## LFHE – Less Fuel for High Efficiency: Desenvolvimento de um cabeçote de motor monocilíndrico de alta eficiência energética movido a etanol

### BENCHMARKING



**Duto base polido/trabalhado**

- Desempenho ruim em baixas rotações
- Melhoria no fluxo de ar
- Perda de velocidade do ar



**Posição do bico injetor**

- Espaço reduzido do cabeçote
- Mistura homogênea
- Boa Vaporização



**Válvula injetora aquecida**

- Melhor atomização do combustível
- Melhor rendimento em baixas temperaturas
- Maior complexidade do Sistema de injeção



**Duto com menor seção transversal**

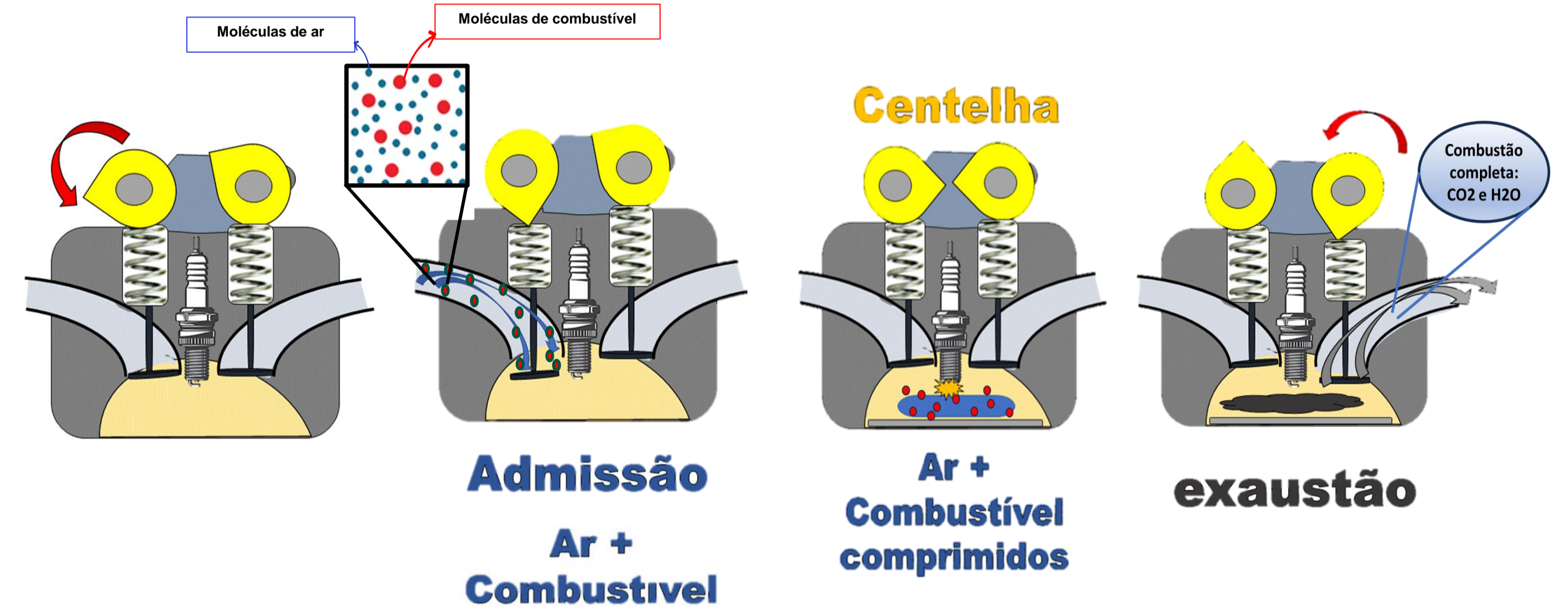
- Aumenta turbulência
- Ganho de velocidade e temperature do fluido
- Melhora na vaporização

### MATRIZ DE DECISÃO

	Duto base polido/trabalhado	Posição da Válvula injetora	Válvula injetora aquecida	Duto com menor seção transversal
Turbulência	-	+	+	+
Velocidade	+	-	-	+
Vaporização	-	+	+	+
Manufatura	-	-	-	-
Temperatura	-	-	+	+
Peças adicionadas	+	+	-	+
Custo de Manutenção	+	+	+	+
Total	-	-	-	+

Legenda: + (melhor); - (pior);

### STORYBOARD



### FERRAMENTAS DE ENGENHARIA

**Engenharia Reversa**

Comando de válvula	Válvula	Levante de válvula	Tuchos	Molas	Veia de ejeção	Cabeçote
Materiais	Alumínio	Aço	Aço	Ferro fundido	Aço	Alumínio
Formas	100	80	100	100	100	100
Volume (cc)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Massa (g)	10	10	10	10	10	100

**Diagrama de fronteira**

**Diagrama-P**

Posíveis erros:
 

- Troca ou fixação incorreta de válvulas
- Vazamento do fluido por conta de falha nas vedações
- Tratamento ou inadequado funcionamento das válvulas
- Perda de capacidade parcial ou total de condução de fluido
- Adição de rugosidade às paredes do conduto
- Perda de eficiência do cone
- Perda de estanqueidade no corpo do cabeçote

Ações de controle:
 

- Modagem geométrica aos condutos de admissão do cabeçote
- Alinhamento e orientação das peças
- Montagem incorreta
- Tuchos trocados com o tempo
- Desgaste do cabeçote e todos os componentes envolvidos
- Cavitação nas paredes internas do cabeçote
- Válvulas de admissão e exaustão
- Câmara de combustão

Riscos no hardware:
 

- Alinhamento e orientação das peças
- Montagem incorreta
- Tuchos trocados com o tempo
- Desgaste do cabeçote e todos os componentes envolvidos
- Cavitação nas paredes internas do cabeçote
- Vazamentos nas vedações e nas vedas de válvulas

**Análise de Valor**

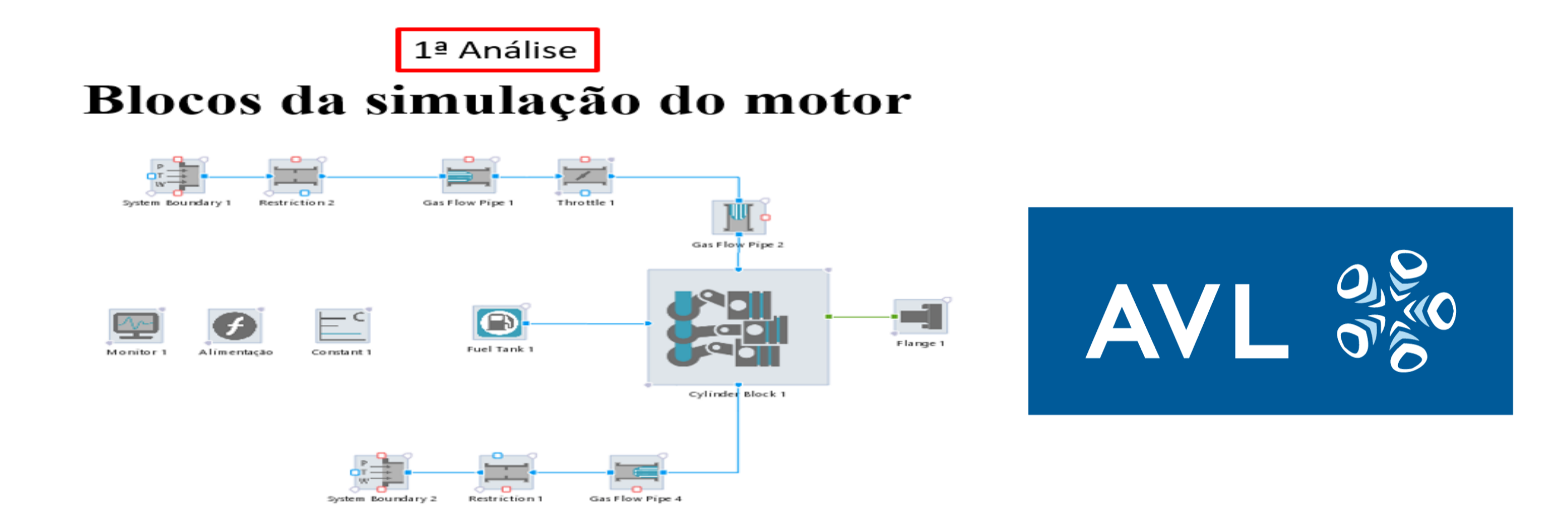
FCVA	FCVAV	FCVAV	FCVAV	FCVAV	FCVAV
Comando de válvulas	Comando de válvulas	Comando de válvulas	Comando de válvulas	Comando de válvulas	Comando de válvulas
Comando de válvulas	Comando de válvulas	Comando de válvulas	Comando de válvulas	Comando de válvulas	Comando de válvulas

### DFMEA

**DFMEA - Design Failure Mode and Effect Analysis**

Item	Função	Potencial modo de falha	Potencial efeito de Falha	Importância	Potencial Causa de Falha	Controle de Prevenção do Design Atual	Controle de Detecção do Design Atual	RPN	Ação Recomendada	Novo RPN
Válvulas Injetoras	Injetar Combustível	entupimento	perda de desempenho do motor	8	combustível adulterado e de baixa qualidade	não possui no design atual	não possui no design atual	3	troca periódica do filtro e verificação da qualidade do combustível	8
Válvulas de Admissão/Exaustão	entrada/saída de gases	entupimento de carbonização	aumento no consumo de combustível	8	combustão incompleta ou queima excessiva de lubrificante	inspeção visual	controle do excesso do consumo	7	limpeza (produto descarbonizante)	8
Tuchos	eliminar folga entre válvulas	banda de tuchos	ruido e batidas	8	deficiência do óleo do motor e falta de lubrificante	inspeção sonora e visual	presença de ruídos	4	verificação do nível de óleo	8
Balancim	transmitir movimento do eixo de comando em direção às válvulas de admissão/escape	desgaste excessivo	assincronismo do motor	8	baixo nível de óleo	inspeção sonora e visual	presença de ruídos	4	verificação do nível de óleo	8
Árvore de Comando	controlar a entrada e saída de gases dentro dos cilindros do motor	quebra da árvore de comando	aumento no consumo de combustível	8	empenamento dos mancais	quebra	perda de potência	4	troca de óleo e regulagem das válvulas (revisão periódica)	8

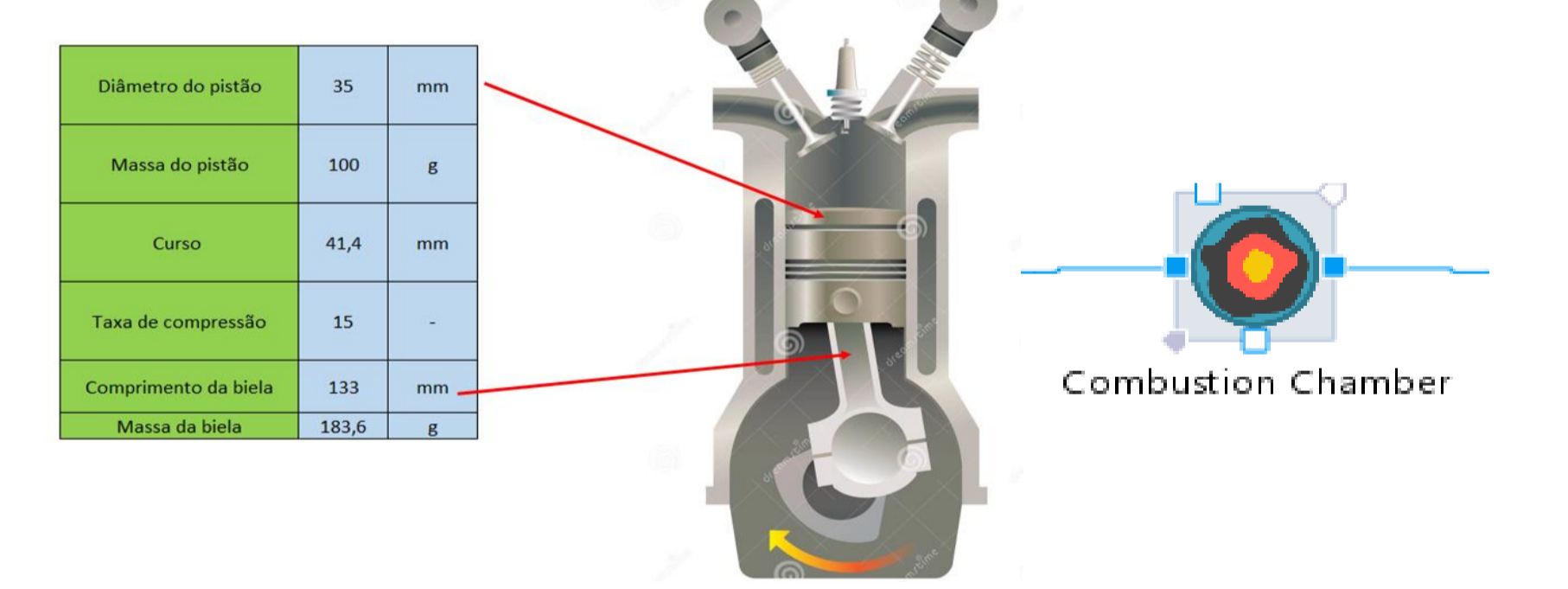
### PREPARAÇÃO DOS MODELOS AVL



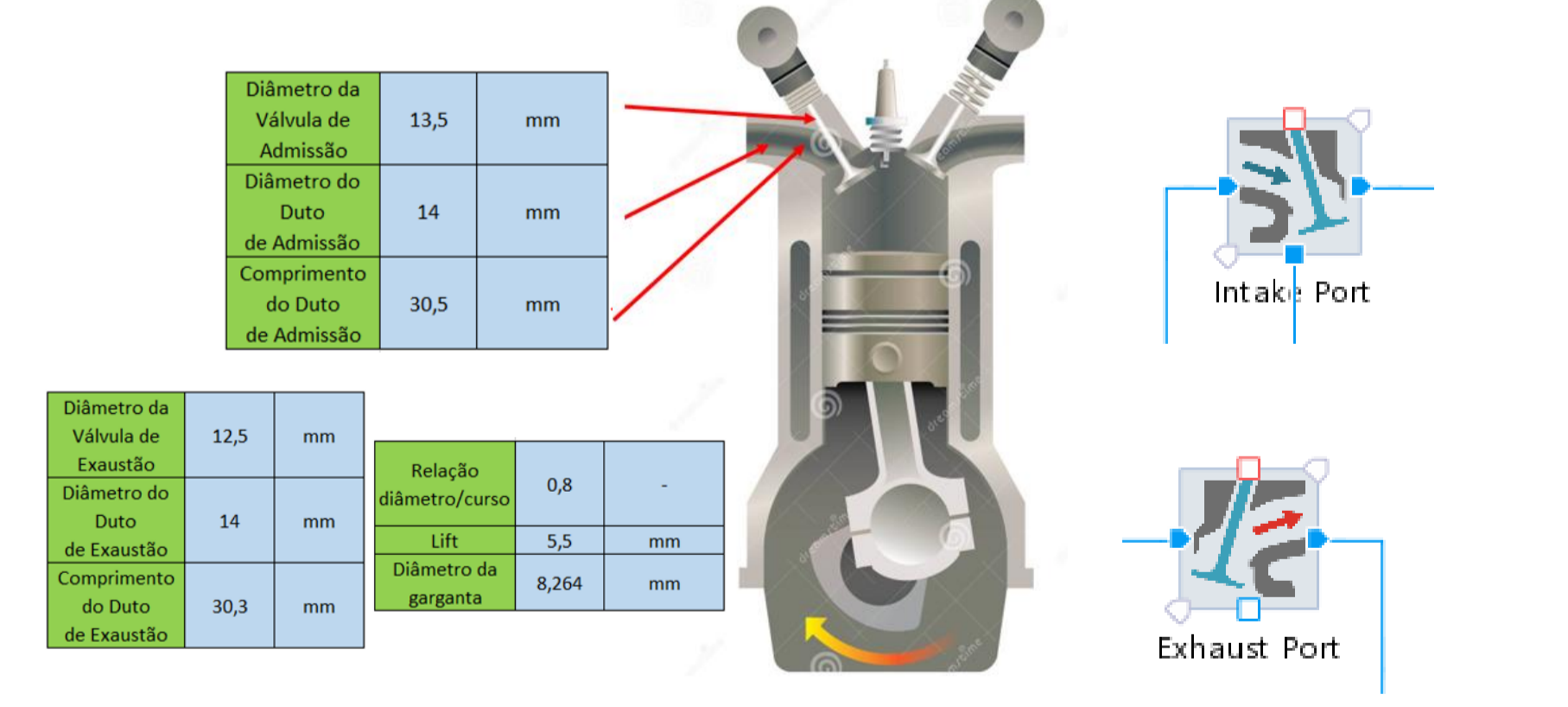
### DADOS DO MOTOR

Dímetro do pistão	35 mm	Dímetro da Válvula de Admissão	13,5 mm	Dímetro do Duto de Admissão	14 mm	Comprimento do Duto de Admissão	30,5 mm
Massa do pistão	100 g	Dímetro da Válvula de Exaustão	12,5 mm	Comprimento do Duto de Exaustão	14 mm	Comprimento do Coletor de Admissão	30,3 mm
Curso	41,4 mm	Relação diâmetro/curso	0,8	Dímetro do Coletor de Admissão	14 mm	Comprimento do Coletor de Exaustão	500 mm
Taxa de compressão	15	Lift	5,5 mm	Dímetro do Coletor de Exaustão	14 mm	Dímetro da garganta	800 mm
Comprimento da biela	133 mm						8,264 mm
Massa da biela	183,6 g						

### DADOS CÂMARA DE COMBUSTÃO



### PARÂMETROS DE ADMISSÃO E ESCAPE



### MODELO DE COMBUSTÃO

**Modelo Vibe**

- Adicionar a duração da combustão

**Modelo AVL Spark Ignited**

Prevê a evolução da combustão através:

- Parâmetros de combustível (velocidade de chama)
- Geometria da câmara de combustão
- Posição da centelha
- Calibração do avanço ótimo



# ENGENHARIA MECÂNICA AUTOMOBILÍSTICA

**Alunos:** Bruno Dias Ribeiro; Bruno Reis Vescovi; Guilherme Mazzare de Castro; Ingo Warnke; João Pedro Correa; Lucas Duarte; Matheus Masayoshi Kojima;

**Orientador:** Silvio Sizio Sumioishi – silviosu@fei.edu.br

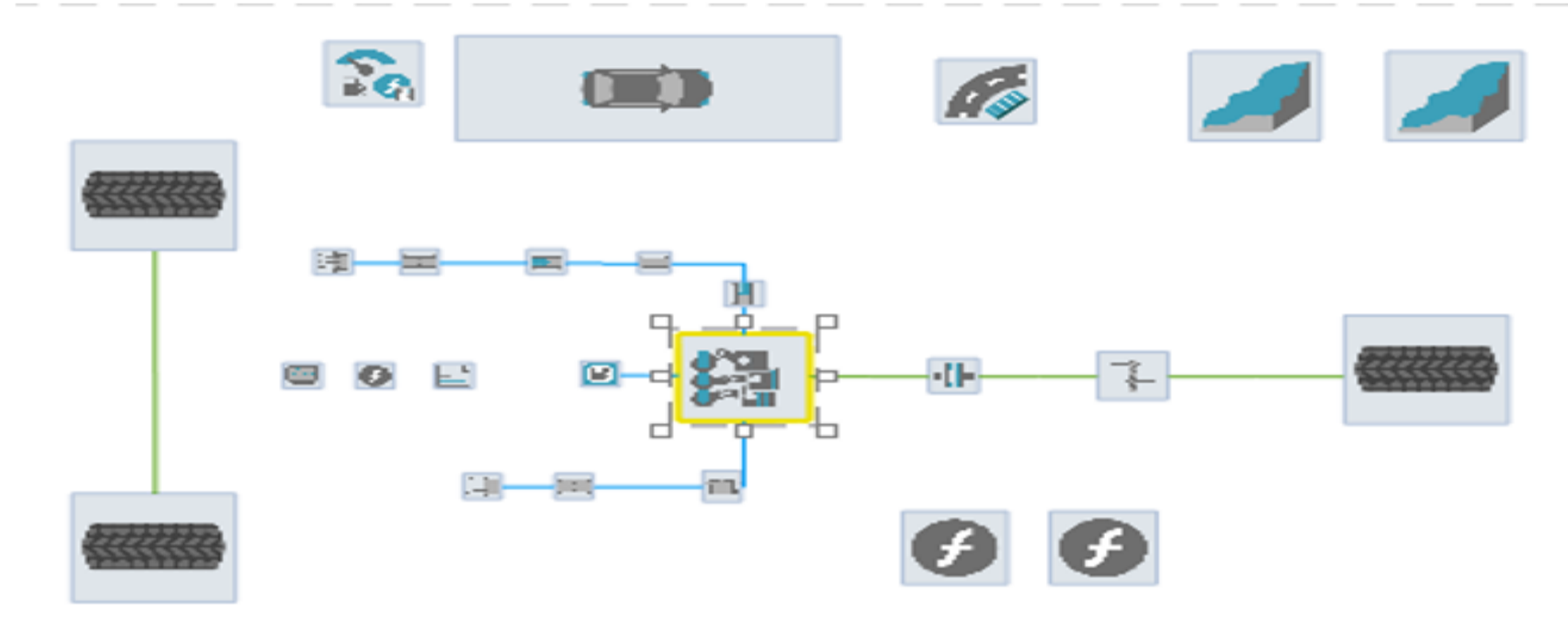


**LFHE – Less Fuel for High Efficiency:** Desenvolvimento de um cabeçote de motor monocilíndrico de alta eficiência energética movido a etanol

## PREPARAÇÃO DOS MODELOS AVL

2ª Análise

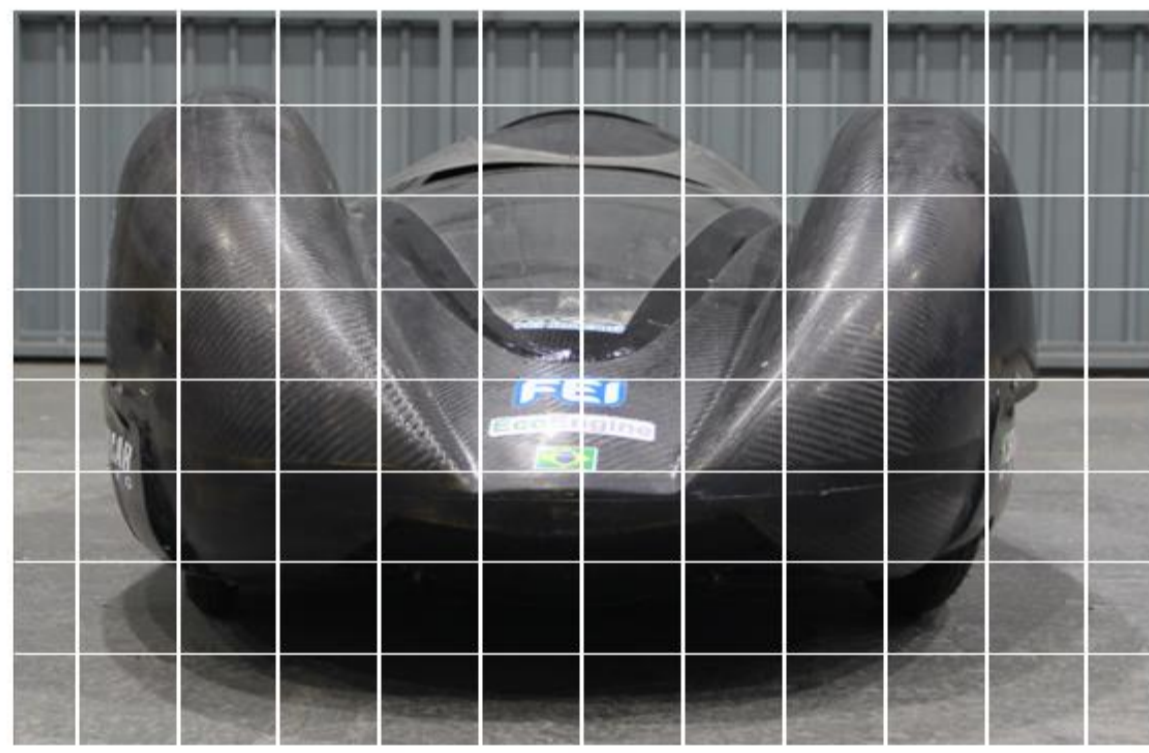
### Blocos da simulação do veículo



## VEÍCULO UTILIZADO



## COLETA DE DADOS DO VEÍCULO



Peso total = 110,5 kg  
 Distribuição de peso:  
 • Pneu esquerdo dianteiro = 33 kg  
 • Pneu direito dianteiro = 34,5 kg  
 • Pneu traseiro = 43 kg

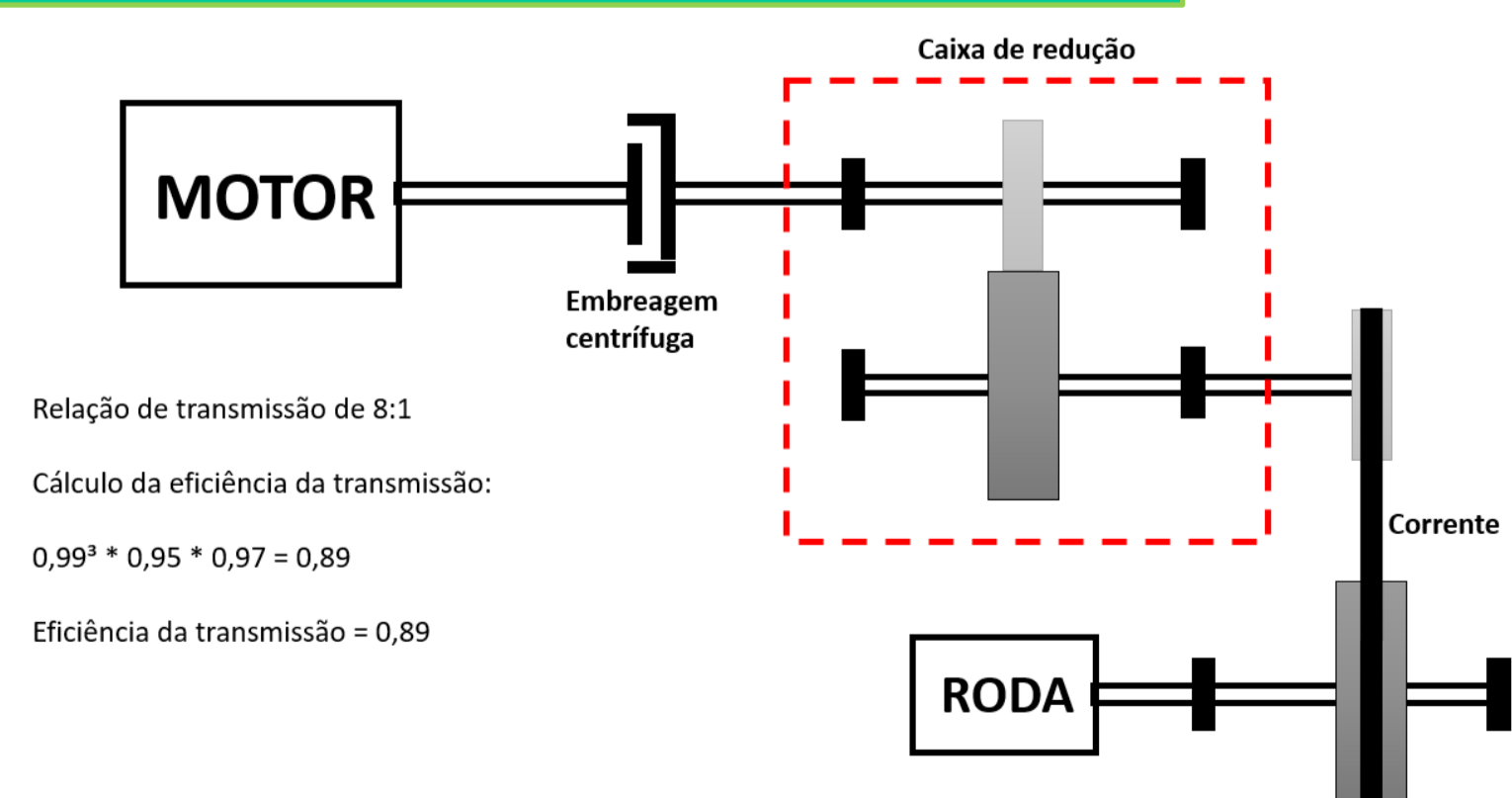
$A = (0,95 \cdot 0,45) + 2 \cdot (0,15 \cdot 0,2) + \left(\frac{0,56+0,15}{2}\right) = 0,52875 \text{ m}^2$   
 Arrasto aerodinâmico médio das outras equipes = 0,15  
 Arrasto aerodinâmico considerado = 0,25

## EMBREAGEM CENTRÍFUGA E RODAS



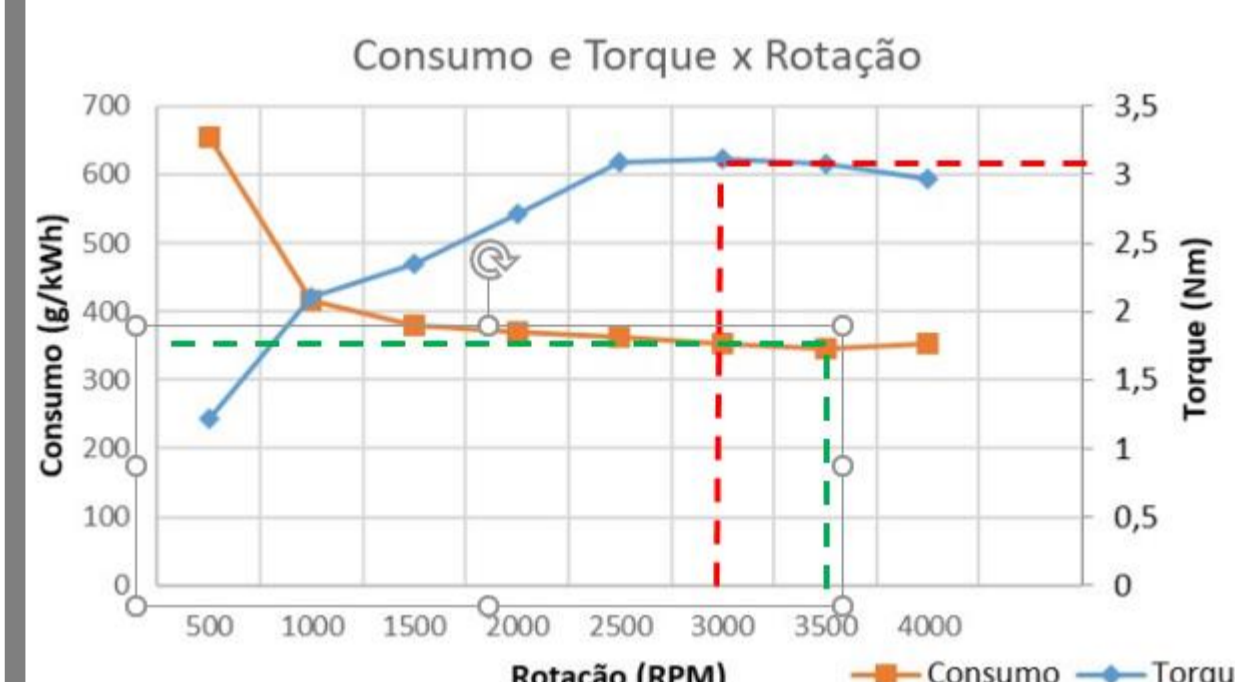
Momento de inércia da embreagem = 0,006206 kg.m<sup>2</sup>  
 Momento de inércia da transmissão = 0,014162 kg.m<sup>2</sup>  
 Resistência ao rolamento de pneu de alta eficiência = 0,025  
 Resistência ao rolamento considerado = 0,05

## TRANSMISSÃO



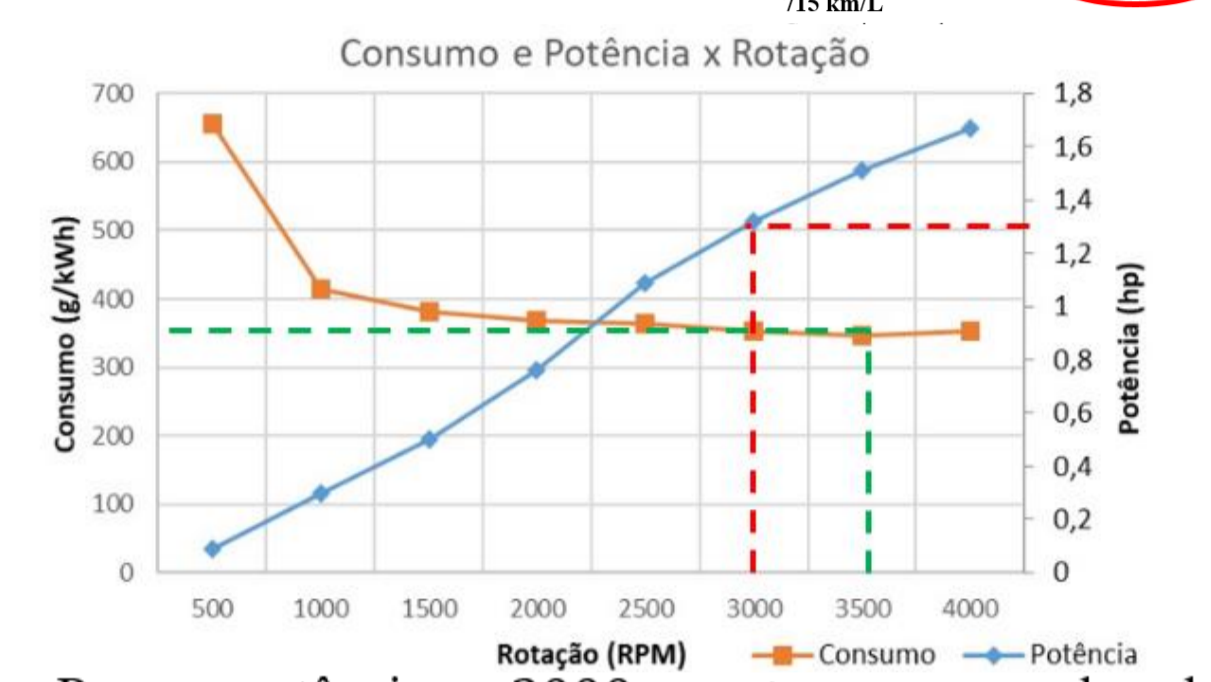
Relação de transmissão de 8:1  
 Cálculo da eficiência da transmissão:  
 $0,99^1 \cdot 0,95 \cdot 0,97 = 0,89$   
 Eficiência da transmissão = 0,89

## RESULTADOS

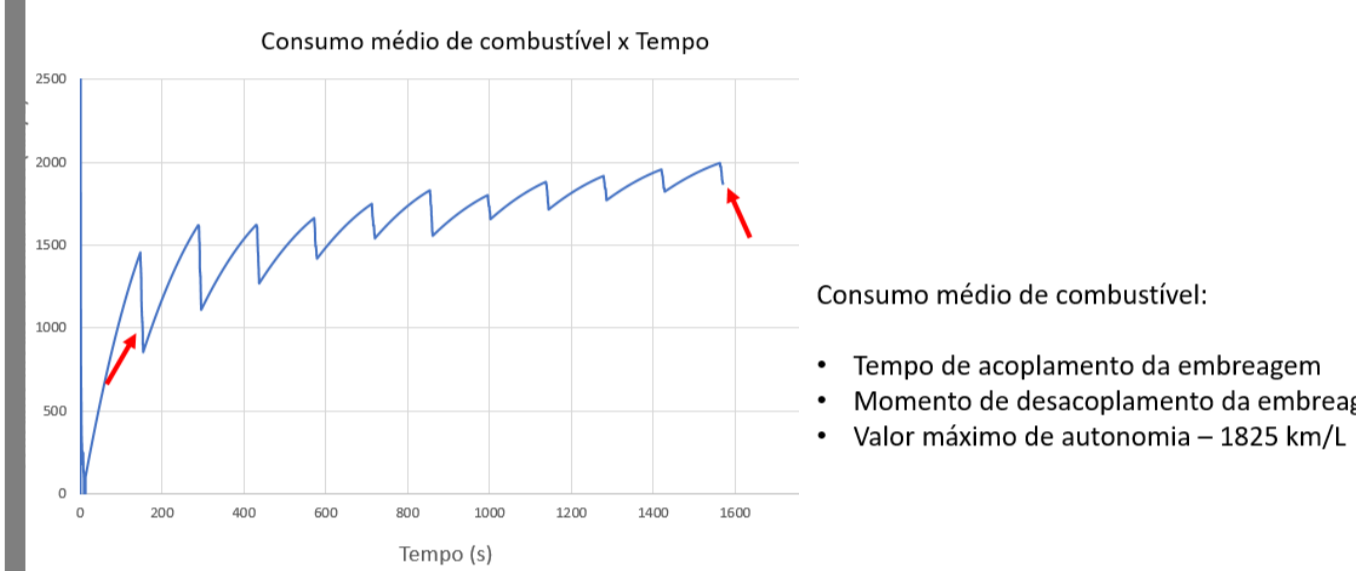


O menor consumo acontece na rotação de 3500 rpm, chegando em um valor de 345,78 g/kWh.

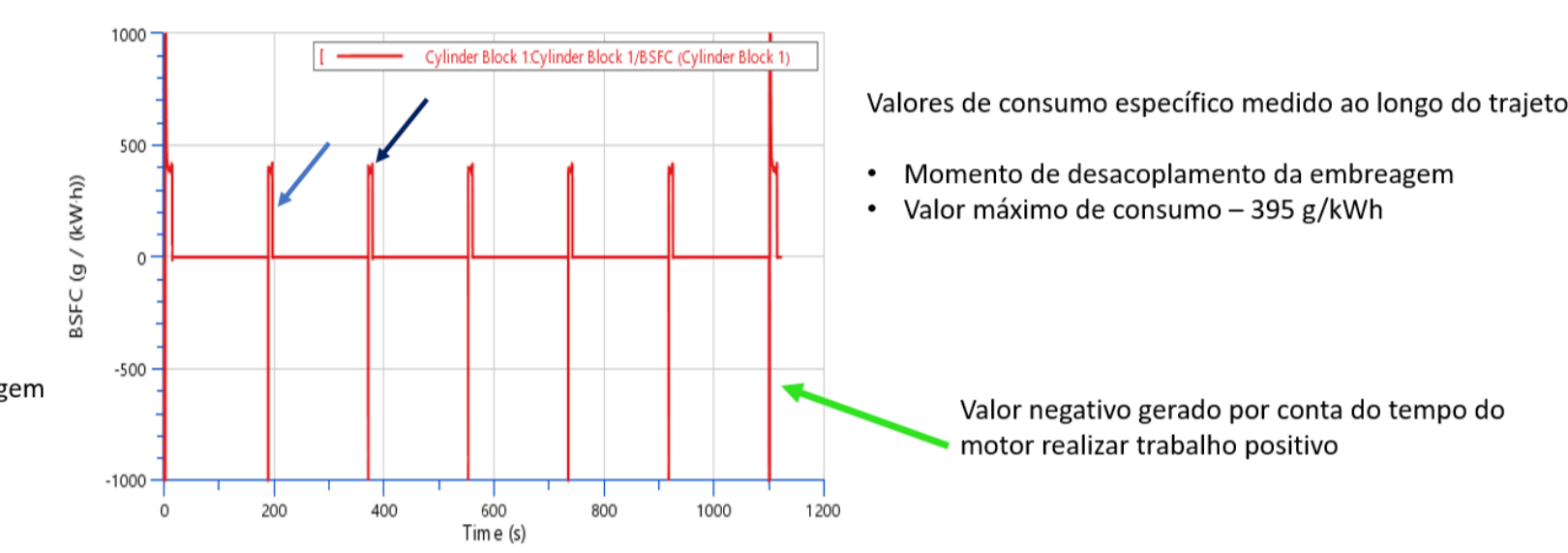
Torque máximo de 3,12 N.m na rotação de 3000 rpm.



Para a potência a 3000 rpm temos um valor de 1,32 hp e com isso obtemos um valor maior do que o motor Honda GX25 que é o motor mais utilizado para equipes no Brasil.



Consumo médio de combustível:  
 • Tempo de acoplamento da embreagem  
 • Momento de desacoplamento da embreagem  
 • Valor máximo de autonomia = 1825 km/L



Valores de consumo específico medido ao longo do trajeto:  
 • Momento de desacoplamento da embreagem  
 • Valor máximo de consumo = 395 g/kWh

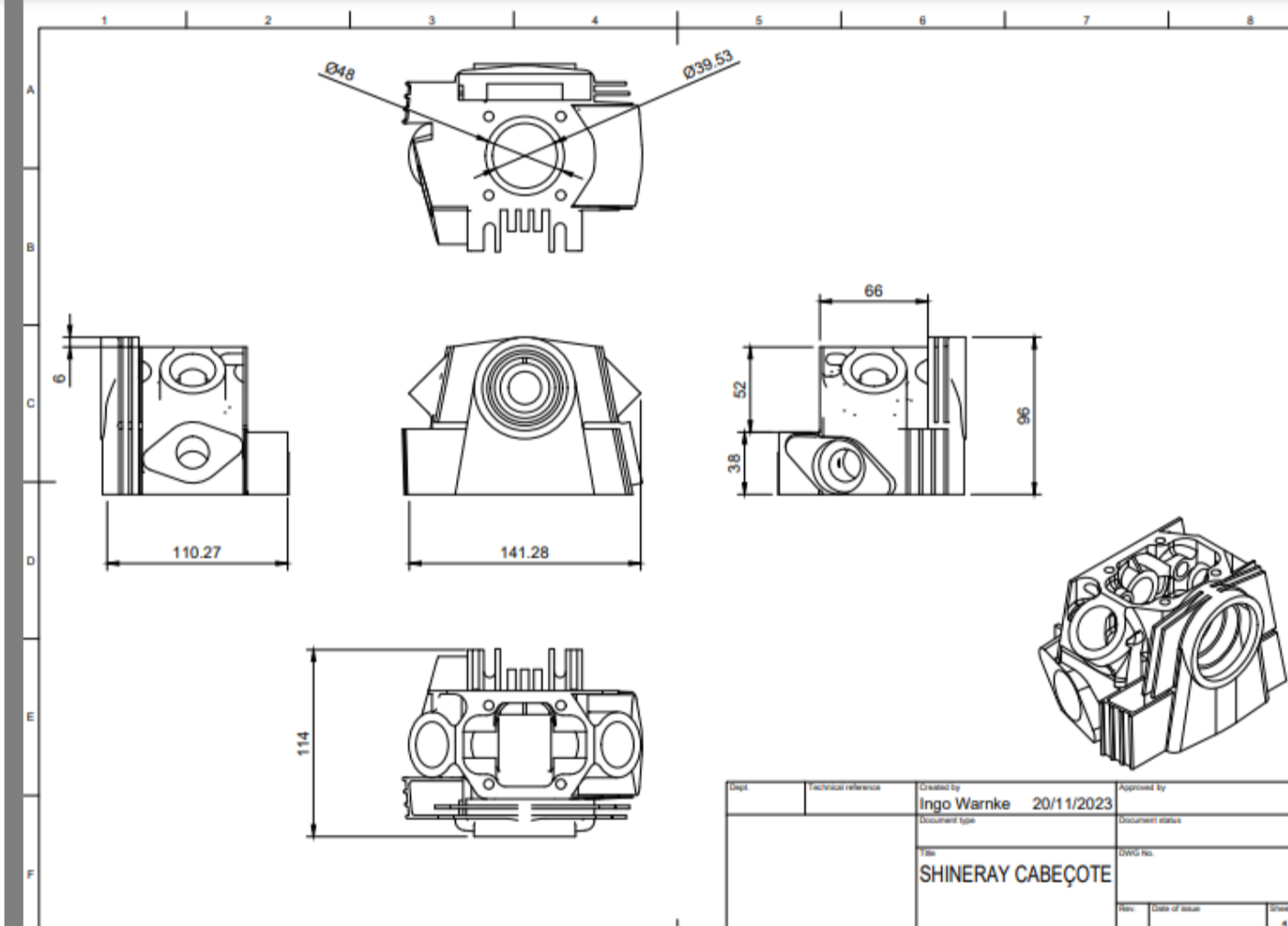
	Target	LFHE
Autonomia (km/L)	1500	1825
Consumo (g/kWh)	400	395

Melhora de 21,6% na autonomia ↑

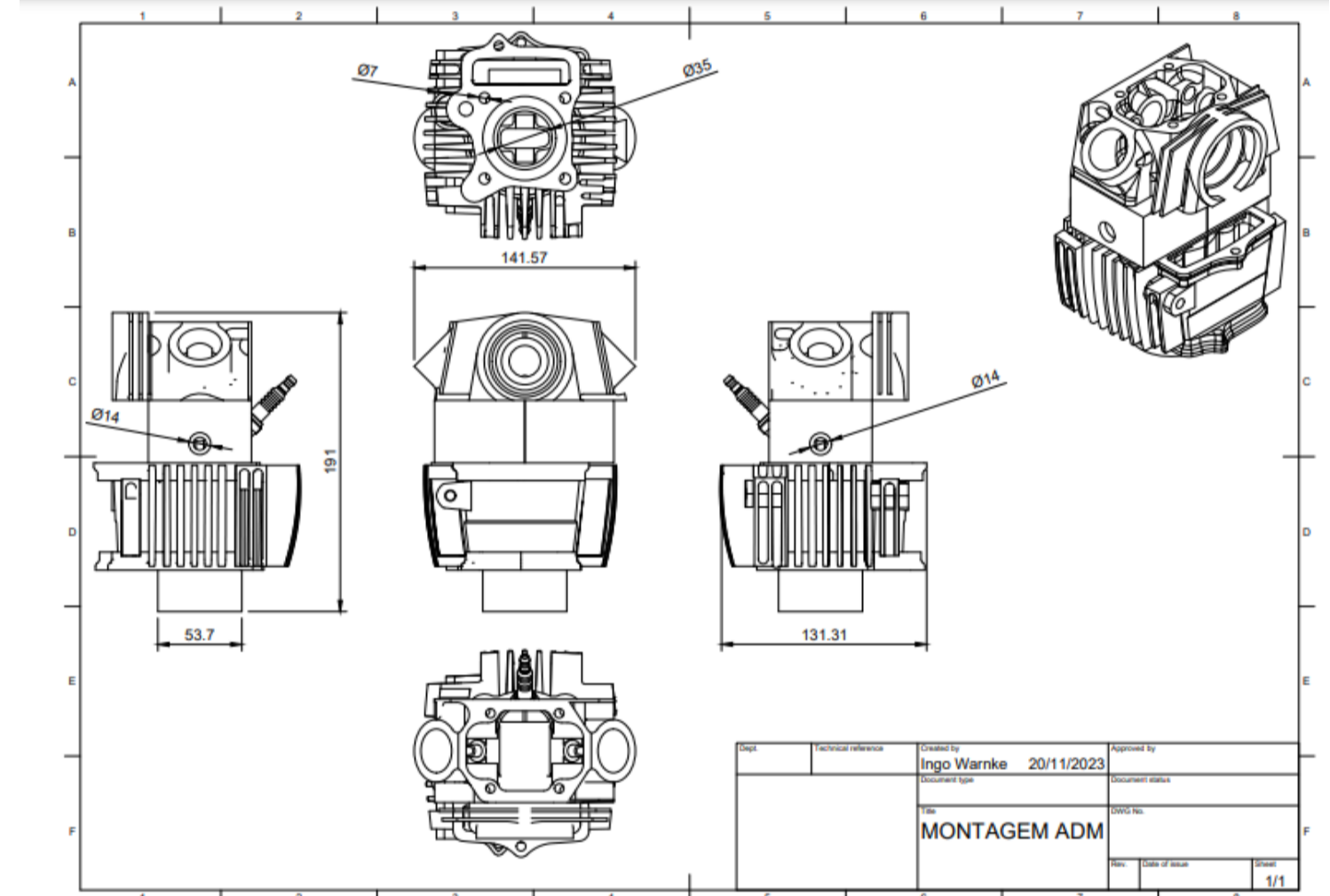
Melhora de 1,25% no consumo específico ↑

## DESENHO 2D

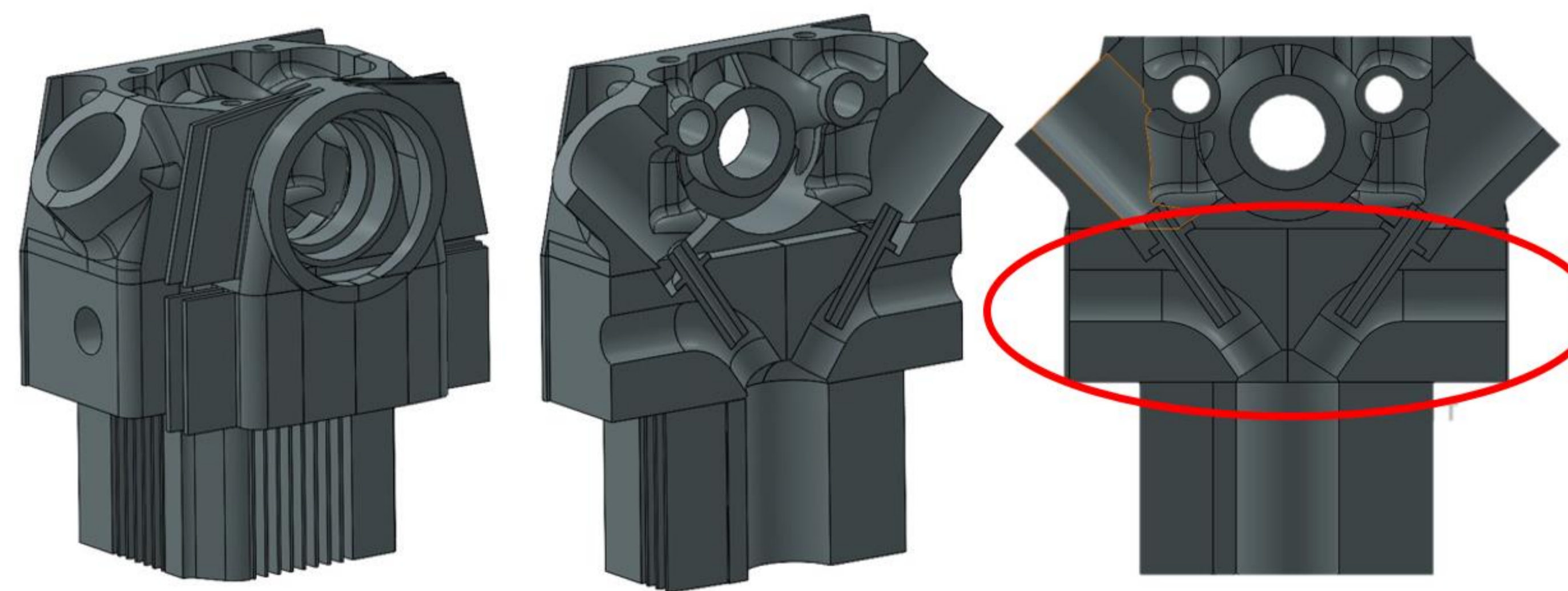
### CABEÇOTE DO SHINERAY



### MONTAGEM ADMISSÃO



## DESENHO 3D



## ESTIMATIVA DE CUSTOS

### TABELA DE ITENS ESSENCIAIS PARA CONSTRUÇÃO DO MOTOR

Itens	quantidade	valor unitario	valor total
Cilindro com carcaça do motor honda GX25 GX25N 35mm	1	R\$ 429,20	R\$ 429,20
Valvula de admissão GX25 (13,52 mm de diâmetro)	1	R\$ 66,41	R\$ 66,41
Valvula de exaustão GX25 (diâmetro de 12,52 mm)	1	R\$ 50,88	R\$ 50,88
comando de valvulas shineray	1	R\$ 137,00	R\$ 137,00
balancim shineray	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00
mola de valvula shineray	2	R\$ 5,00	R\$ 10,00
Filamento para impressora 3D	1	R\$ 60,00	R\$ 60,00
molde de impressão 3d destrutivo	1	R\$ 640,00	R\$ 640,00
eletroroçao	1	R\$ 400,00	R\$ 400,00
aluminio	8	R\$ 9,50	R\$ 76,00
areia verde para fundição 5kg	1	R\$ 198,00	R\$ 198,00
forno	1	R\$ 50,00	R\$ 50,00
<b>preço total de fabricação do projeto</b>			<b>R\$ 2.257,49</b>

### REFERÊNCIAS

Método utilizado: Vendor Bid Analysis (Análise de propostas do fornecedor)  
 Cotação orçamentaria -> +/- 15%

