



COORDriving

Solução de eco-condução otimizada à topografia da rota

ORGANOGRAMA

LÍDER



Pedro Muniz

MARKET/CUSTO



Bruno Pinhate



Thomas Pimentel



Marcos Misu

PROJETO



Anderson Duarte



Leonardo Pereira



Gabriel Bragone

Professor orientador

Prof. Dr. André de Souza Mendes

Professor coorientador

Prof. Dr. Mauro Moraes de Souza

Professor coordenador

Prof. Me. Marco Antônio Zanussi Barreto

PROTÓTIPO (VIRTUAL/FÍSICO)



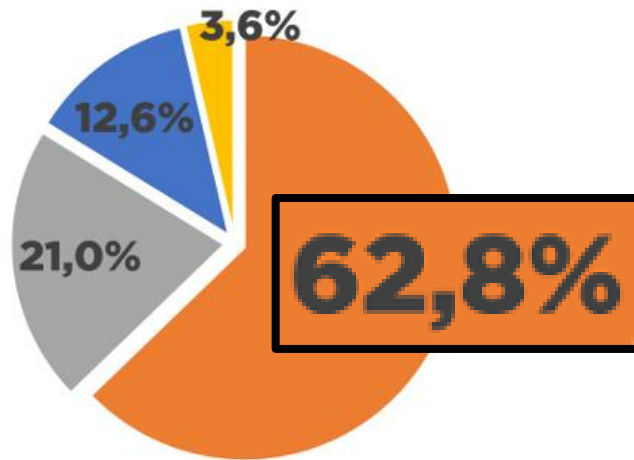
Gustavo Alencar



Gabriel Demarchi

CONTEXTUALIZAÇÃO

Matriz de transporte de cargas do Brasil em 2016



■ Rodoviário ■ Ferrovário ■ Aquaviário ■ Dutoviário ■ Aéreo

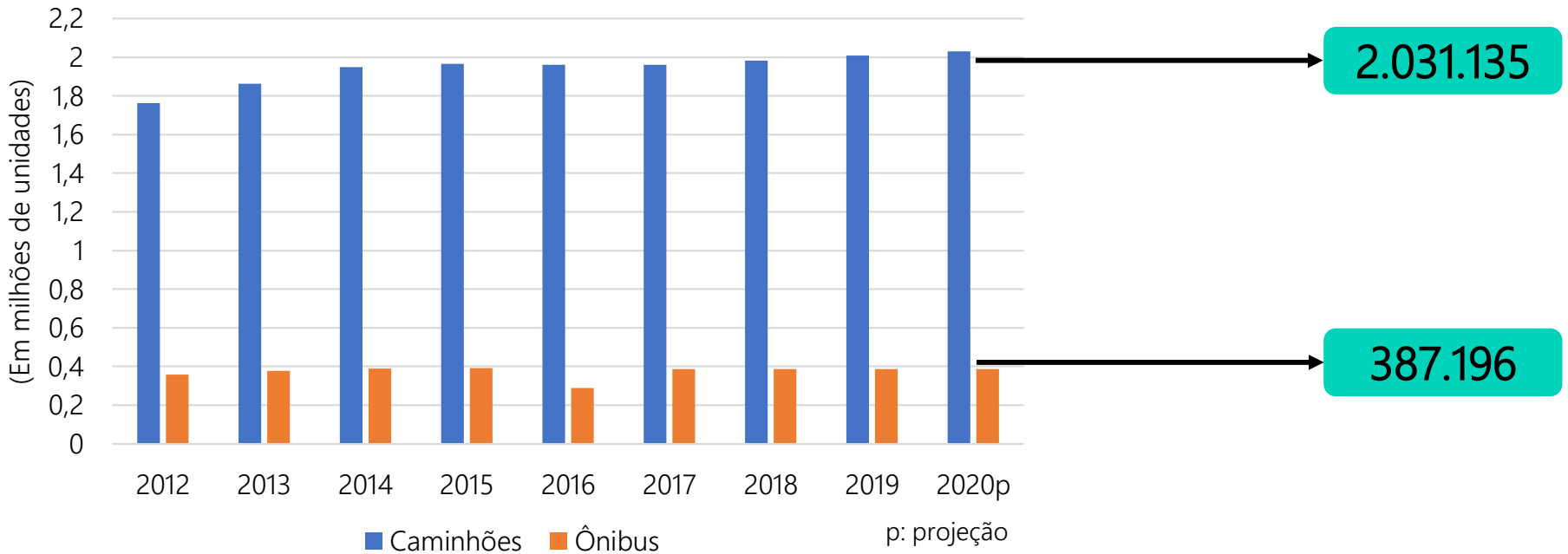
Fonte: ILOS – Instituto de Logística e Supply Chain, 2016



Fonte: Leouve, 2018

CONTEXTUALIZAÇÃO

Frota circulante de 2012 à 2020



Fonte: "adaptado de" Relatório da Frota Circulante, Sindipeças, 2019

CONTEXTUALIZAÇÃO

Idade média de veículos comerciais no cenário brasileiro em 2019



11 anos e 8 meses



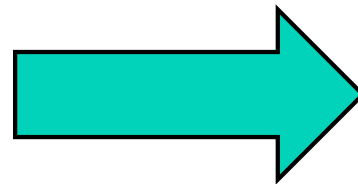
10 anos e 7 meses

Fonte: “adaptado de” Relatório da Frota Circulante, Sindipeças, 2019



Fonte: Fetropar

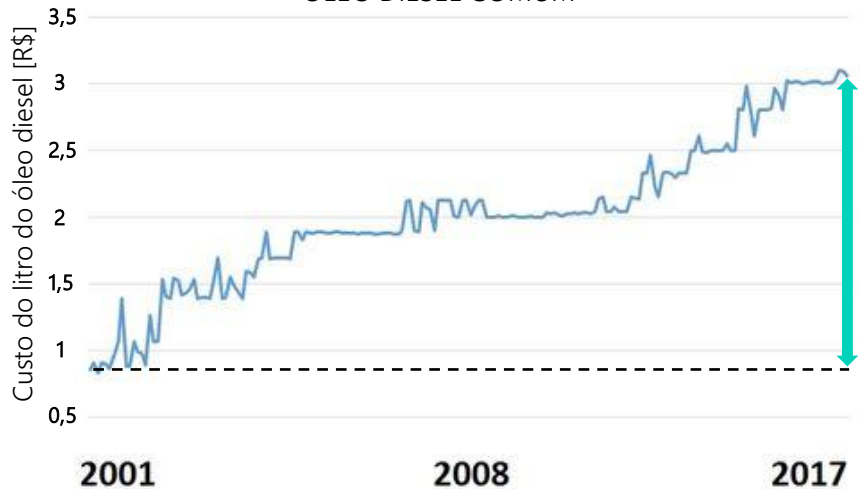
IDADE DA FROTA ALTA



DIFICULDADE DE INSERÇÃO DE NOVAS TECNOLOGIAS

CONTEXTUALIZAÇÃO

ÓLEO DIESEL COMUM



+ 251%

Fonte: Frete com Lucro

ÓLEO DIESEL S10

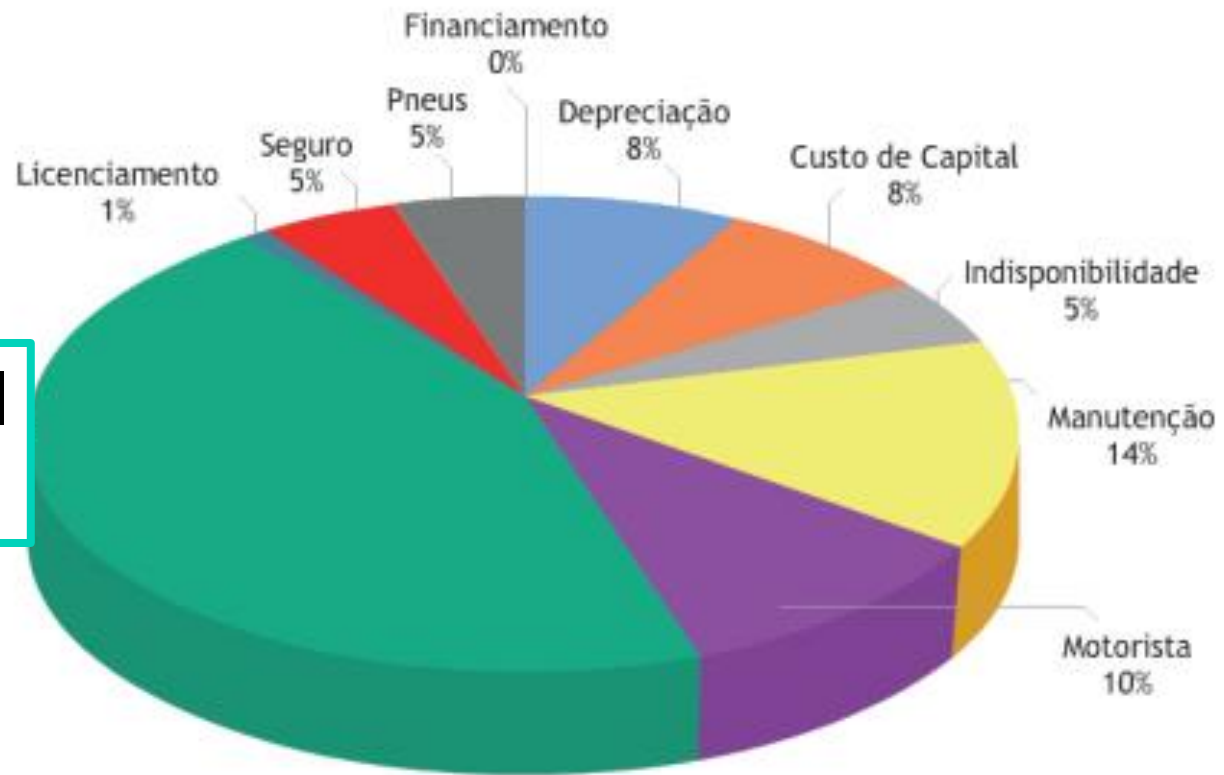


+ 31%

Fonte: Frete com Lucro

CONTEXTUALIZAÇÃO

Distribuição do custo operacional

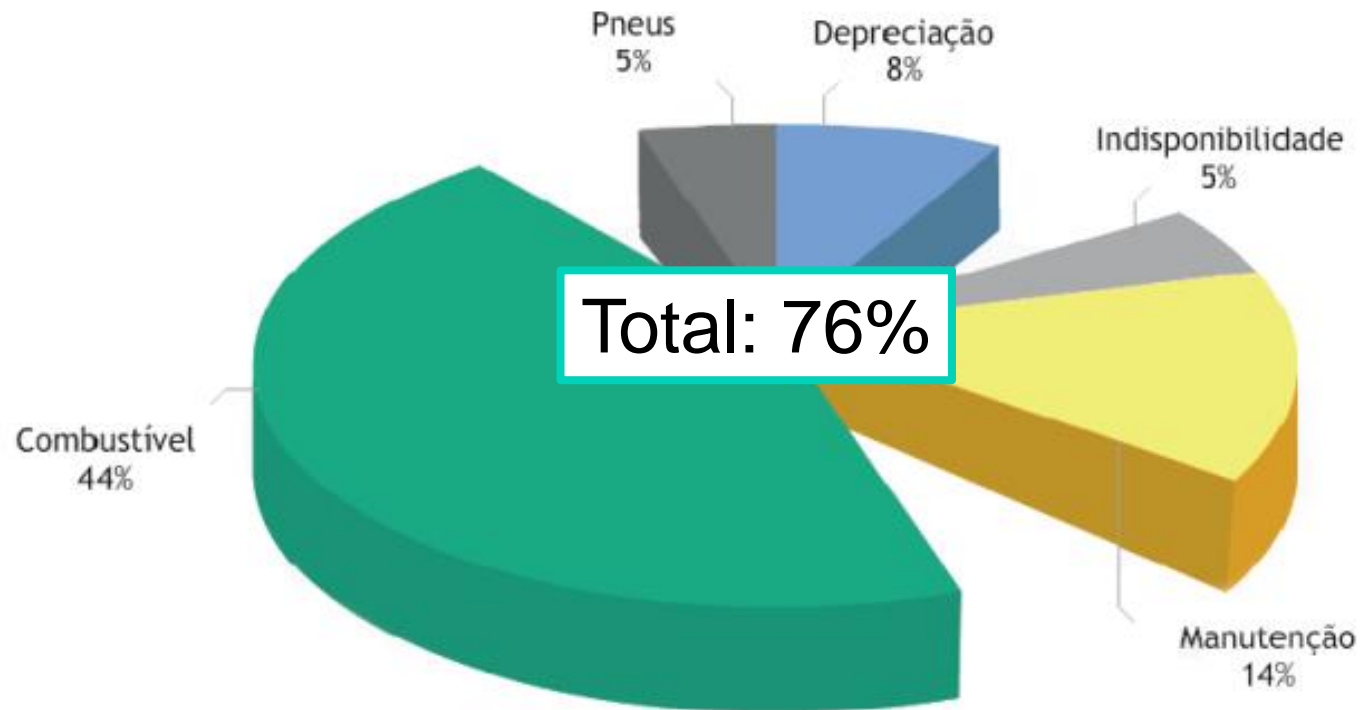


Combustível
44%

Fonte: Manual de condução econômica Petrobras 2018

CONTEXTUALIZAÇÃO

Responsabilidade direta do condutor



Fonte: Manual de condução econômica Petrobras 2018

CONTEXTUALIZAÇÃO

Custo dos vícios na direção

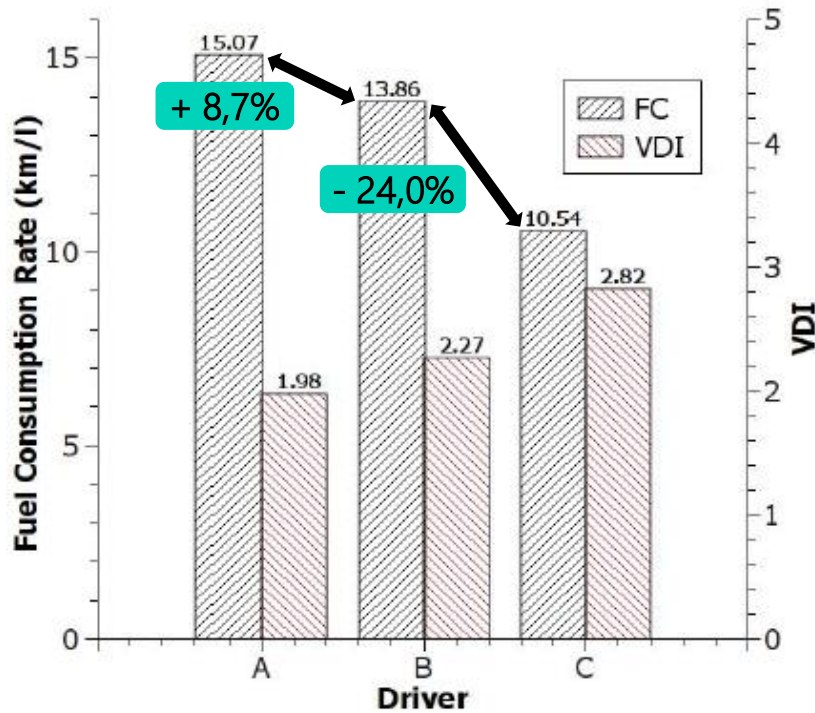
| Vícios | Perdas |
|------------------------------------|--------------|
| Repique no acelerador | 900 litros |
| Tempo em marcha lenta | 1.500 litros |
| Não usar corretamente freio-motor | 1.500 litros |
| Não cruzar marcha | 2.400 litros |
| - 98% no Ponto Extraeconômico | 3.600 litros |
| Velocidade acima de 90km/h | 5.700 litros |
| Não usar inércia e gravidade | 2.400 litros |
| Não manter distância de seguimento | 1.500 litros |
| Não manter velocidade constante | 1.500 litros |
| Aceleração rápida (brusca) | 1.200 litros |

TOTAL DE LITROS / ANO 22.200 l

Fonte: Carga Pesada

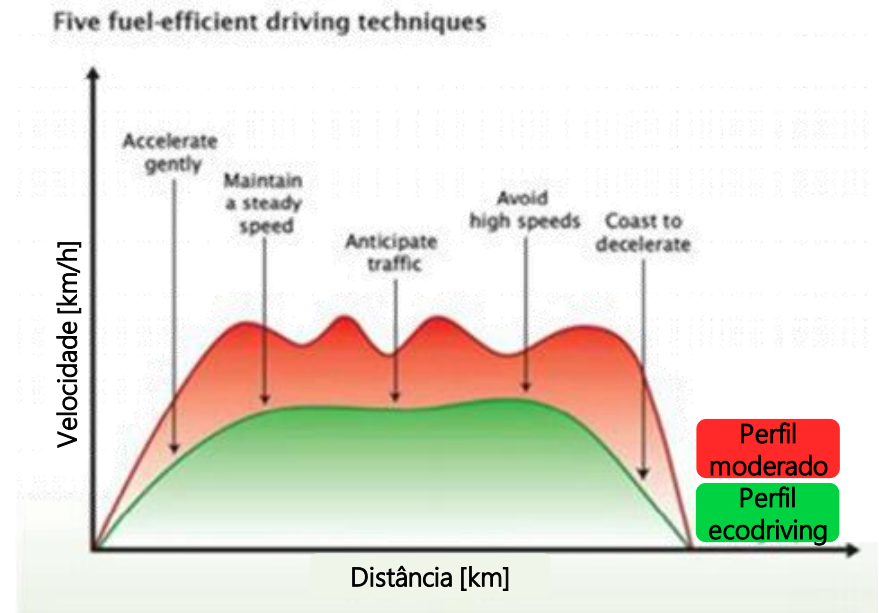
CUSTO / ANO R\$ 70.000

CONTEXTUALIZAÇÃO



- A – Ecodriving (Calmo)
- B – Moderado
- C – Agressivo

Fonte: THITIPATANAPONG R. Effects of a vehicle's driver behavior to the fuel economy, 2011



Fonte: ZACHAROF N. G. Review of in use factor affecting the fuel consumption and CO₂ emissions of passengers cars, 2016

PROBLEMA E PROPÓSITO DE PROJETO

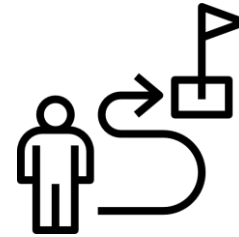
PROBLEMA



O perfil de condução adotado pelos motoristas de veículos rodoviários provoca uma alta variação na potência consumida pelo veículo.



PROPÓSITO



Desenvolver uma solução que otimize as condições de potência consumida pelo veículo sem comprometer o tempo de viagem, assegurando assim eficiência e economia.

REQUISITOS DE PROJETO



| PROPÓSITO DO PROJETO | REQUISITOS DE ENGENHARIA A MELHORAR |
|--|--|
| Relação ótima entre tempo de viagem e potência consumida | Potência consumida pelo veículo [g/kW.h] |
| | Taxa de aceleração e desaceleração [m/s ²] |

GOLDEN CIRCLE

POR QUÊ?

Acreditamos que o avanço da tecnologia e os variados recursos tecnológicos devem ser usados para transformar a vida das pessoas.

COMO?

Desenvolver uma solução de estilo de condução que leve em conta as características do veículo e a topografia da rota.

O QUE?

Interface que a partir de interações com o motorista e o veículo, propõe atitudes a serem tomadas visando condições ótimas de tráfego, para se obter um menor consumo de combustível.

ANÁLISE DE VIABILIDADE



PROBLEMA

O PERFIL DE CONDUÇÃO ADOTADO PELOS MOTORISTAS DE VEÍCULOS RODOVIÁRIOS PROVOCA UMA ALTA VARIAÇÃO NA POTÊNCIA CONSUMIDA PELO VEÍCULO.



CLIENTES

MONTADORAS DE CAMINHÕES E ÔNIBUS RODOVIÁRIOS, CAMINHONEIROS AUTÔNOMOS, TRANSPORTADORAS E VIAÇÕES.



DISPOSTO A PAGAR

PROVIDENCIANDO UM MENOR CONSUMO DE COMBUSTÍVEL E UMA RELAÇÃO LITROS NÃO CONSUMIDOS / CUSTO DO EQUIPAMENTO DENTRO DAS EXPECTATIVAS DO CLIENTE.

BENCHMARKING

Controle de cruzeiro adaptativo

Controle de cruzeiro regenerativo adaptativo

Sistema embarcado de suporte ao motorista

Roda livre eletrônica

Desativação parcial dos cilindros do motor



BENCHMARKING

CONTROLE DE CRUZEIRO ADAPTATIVO



Fonte: Mercedes-Benz

VANTAGENS

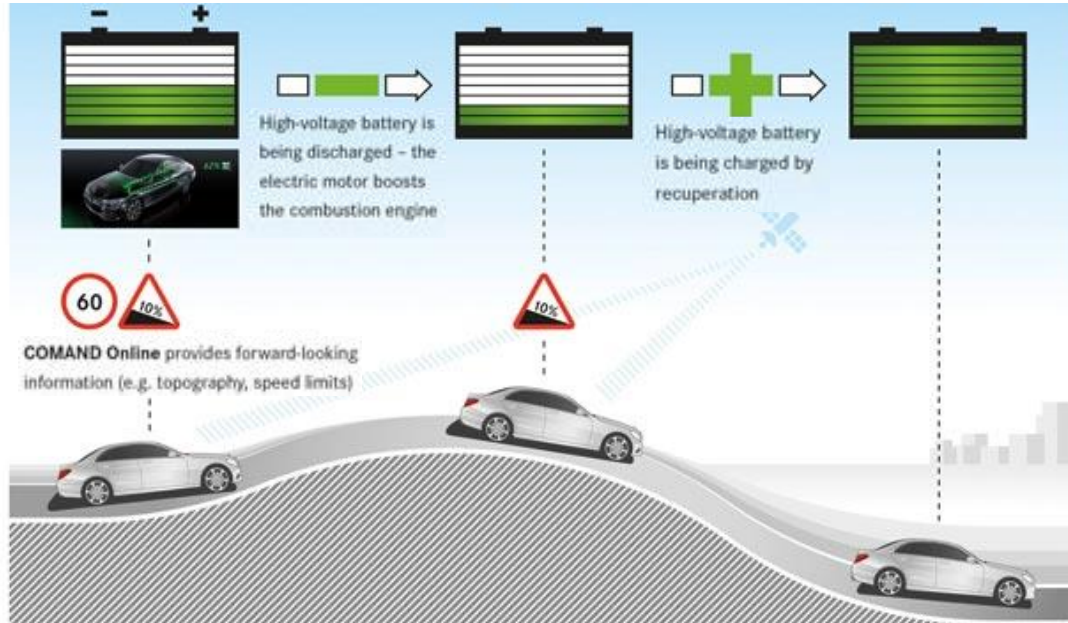
- Sistema que independe do motorista;
- Estratégia bem embasada.

DESVANTAGENS

- Custo para implementação;
- Necessita de outras tecnologias integradas;
- Não aplicável a veículos mais antigos.

BENCHMARKING

CONTROLE DE CRUZEIRO REGENERATIVO ADAPTATIVO



Fonte: Mercedes-Benz

VANTAGENS

- Sistema que independe do motorista;
- Estratégia bem embasada;
- Auxílio na propulsão via motores elétricos.

DESVANTAGENS

- Custo para implementação;
- Custo de manutenção;
- Necessita de outras tecnologias integradas;
- Não aplicável a veículos mais antigos.

BENCHMARKING

SISTEMA EMBARCADO DE SUPORTE AO MOTORISTA



Fonte: Scania

VANTAGENS

- Custo de implementação;
- Aplicável a qualquer modelo com CAN;
- Estratégia adaptada ao veículo.

DESVANTAGENS

- Depende das ações do motorista para haver a redução do consumo de combustível.

BENCHMARKING

RODA LIVRE ELETRÔNICA



Fonte: Audi

VANTAGENS

- Estratégia baseada na topografia da rota;
- Consumo zero durante a rolagem do veículo.

DESVANTAGENS

- Pouco significativo em trechos com muitas subidas;
- Cessa o funcionamento de componentes periféricos.

BENCHMARKING

DESATIVAÇÃO PARCIAL DOS CILINDROS DO MOTOR



Fonte: Ford

VANTAGENS

- Sistema que independe do motorista;
- Carga no motor independe da velocidade do veículo.

DESVANTAGENS

- Custo para implementação;
- Impossibilidade de *retrofit*;
- Não induz a um perfil de condução mais econômico.

MATRIZ DE DECISÃO

| Critério | Sistema convencional | Controle de cruzeiro adaptativo | Controle de cruzeiro regenerativo adaptativo | Sistema embarcado de suporte ao motorista | Roda livre eletrônica | Sistema de desativação de cilindros |
|--|----------------------|---------------------------------|--|---|-----------------------|-------------------------------------|
| Capacidade de trabalho nas melhores faixas de consumo específico | REFERÊNCIA | ++ | +++ | + | ++ | ++ |
| Controle da taxa de variação de velocidade do veículo | | +++ | +++ | + | + | 0 |
| Influência no modo de condução | | +++ | +++ | ++ | + | + |
| Adaptabilidade à veículos antigos | | -- | --- | - | -- | -- |
| Complexidade do projeto | | -- | --- | - | - | - |
| Custo de implementação | | -- | --- | - | -- | - |
| Custo de manutenção | | - | - | 0 | - | - |
| Total | 0 | + | - | + | -- | -- |

| Legenda | |
|---------|--------|
| - | Pior |
| 0 | Neutro |
| + | Melhor |

MATRIZ DE DECISÃO

| Critério | Sistema convencional | Controle de cruzeiro adaptativo | Controle de cruzeiro regenerativo adaptativo | Sistema embarcado de suporte ao motorista | Roda livre eletrônica | Sistema de desativação de cilindros |
|--|----------------------|---------------------------------|--|---|-----------------------|-------------------------------------|
| Capacidade de trabalho nas melhores faixas de consumo específico | REFERÊNCIA | ++ | +++ | + | ++ | ++ |
| Controle da taxa de variação de velocidade do veículo | | +++ | +++ | + | + | 0 |
| Influência no modo de condução | | +++ | +++ | ++ | + | + |
| Adaptabilidade à veículos antigos | | -- | --- | - | -- | -- |
| Complexidade do projeto | | -- | --- | - | - | - |
| Custo de implementação | | -- | --- | - | -- | - |
| Custo de manutenção | | - | - | 0 | - | - |
| Total | 0 | + | - | + | -- | -- |

| Legenda | |
|---------|--------|
| - | Pior |
| 0 | Neutro |
| + | Melhor |

MATRIZ DE DECISÃO

| Critério | Sistema embarcado de suporte ao motorista | Sistema convencional | Controle de cruzeiro adaptativo | Controle de cruzeiro regenerativo adaptativo | Roda livre eletrônica | Sistema de desativação de cilindros |
|--|---|----------------------|---------------------------------|--|-----------------------|-------------------------------------|
| Capacidade de trabalho nas melhores faixas de consumo específico | REFERÊNCIA | - | + | ++ | + | + |
| Controle da taxa de variação de velocidade do veículo | | - | ++ | ++ | 0 | - |
| Influência no modo de condução | | -- | + | + | - | - |
| Adaptabilidade à veículos antigos | | + | - | -- | - | - |
| Complexidade do projeto | | + | - | -- | 0 | - |
| Custo de implementação | | + | -- | -- | - | - |
| Custo de manutenção | | 0 | - | - | - | 0 |
| Total | 0 | - | - | -- | --- | ---- |

| Legenda | |
|---------|--------|
| - | Pior |
| 0 | Neutro |
| + | Melhor |

MATRIZ DE DECISÃO

| Critério | Sistema embarcado de suporte ao motorista | Sistema convencional | Controle de cruzeiro adaptativo | Controle de cruzeiro regenerativo adaptativo | Roda livre eletrônica | Sistema de desativação de cilindros |
|--|---|----------------------|---------------------------------|--|-----------------------|-------------------------------------|
| Capacidade de trabalho nas melhores faixas de consumo específico | REFERÊNCIA | - | + | ++ | + | + |
| Controle da taxa de variação de velocidade do veículo | | - | ++ | ++ | 0 | - |
| Influência no modo de condução | | -- | + | + | - | - |
| Adaptabilidade à veículos antigos | | + | - | -- | - | - |
| Complexidade do projeto | | + | - | -- | 0 | - |
| Custo de implementação | | + | -- | -- | - | - |
| Custo de manutenção | | 0 | - | - | - | 0 |
| Total | 0 | - | - | -- | --- | ---- |

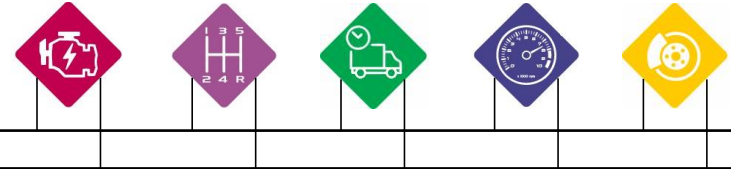
| Legenda | |
|---------|--------|
| - | Pior |
| 0 | Neutro |
| + | Melhor |

STORYBOARD

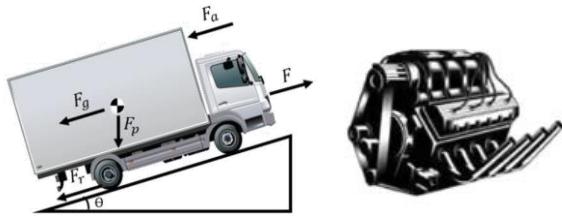
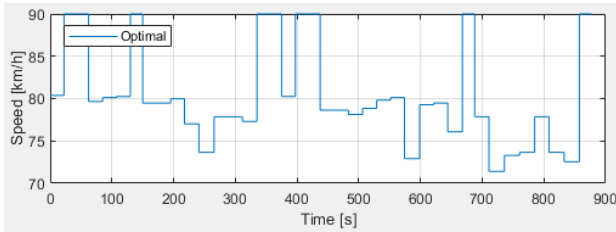
SEM INCLINAÇÃO



COM INCLINAÇÃO




REDECAN




FERRAMENTAS DE ENGENHARIA

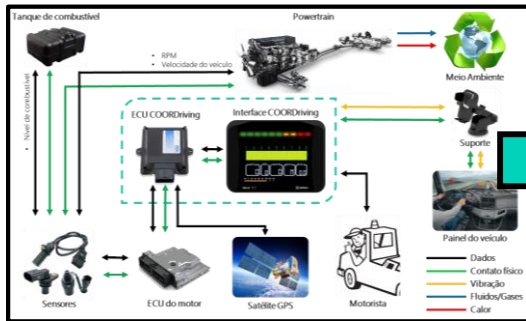
ENGENHARIA REVERSA



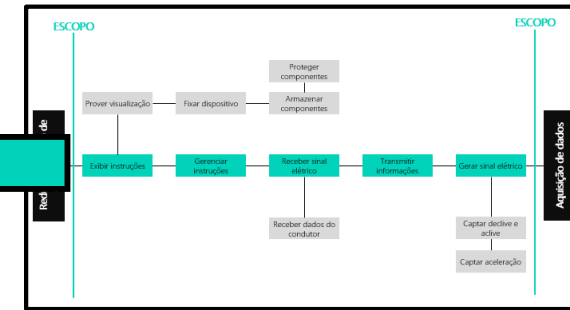
| Componente | Placa de circuito impresso | IBM LCD 4.3" | Chicote OBD2 | Acendedor e gravador | Gabinete para circuitos e display | Suporte ajustável |
|------------------------|------------------------------|--|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|--------------------|
| Massa | 0,08 kg | 0,30 kg | 0,25 kg | 0,02 kg | 0,03 kg | 0,22 kg |
| Dimensões físicas | 55 x 90 x 2 mm | 74 x 100 x 6 mm | 3000 mm | 96 x 20 x 1 mm | 44 x 64 x 26 mm | 150 x 140 x 60 mm |
| Material | Cobre, polímero, alumínio | Vidro, cobre, alumínio, polímero | Cobre, polímero | Cobre, polímero | ABS | Polímero |
| Processo de fabricação | Injeção, prensagem, soldagem | Injeção, prensagem, soldagem, montagem | Trefilação, estuado, soldagem | Injeção, prensagem, soldagem | Injeção | Injeção e montagem |
| Fornecedores | Micropress | Nexion | OBD Experts | InvenSense | Patola | GGSolid |



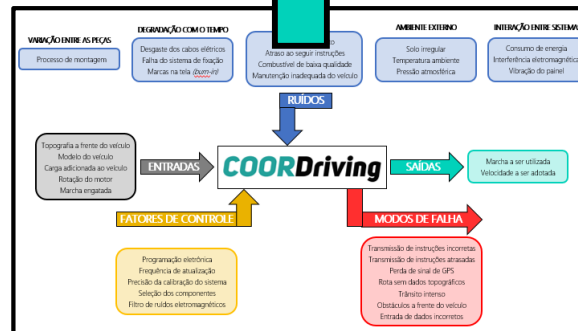
BOUNDARY DIAGRAM



FAST DIAGRAM



SFMEA



P-DIAGRAM

COORDriving

| Item | Severidade | Ocorrência | Deteção | Ações Recomendadas | RPN |
|----------------------------|------------|------------|---------|---|-----|
| Software | 8 | 7 | 10 | Interface amigável e relatório avaliativo ao final da viagem | 560 |
| Software | 7 | 6 | 9 | Navegação estimada e algoritmo com abordagem quase-estática | 378 |
| Placa de circuito impresso | 6 | 6 | 6 | Uso de fusíveis trocáveis e isolamento correto | 216 |
| Bluetooth SHIELD HC-05 | 6 | 5 | 6 | Programação para se adequar às condições de vibração | 180 |
| Suporte ajustável | 6 | 5 | 4 | Rever dimensionamento estrutural que seja resistente às condições de vibração | 120 |
| Gabinete para circuito | 4 | 7 | 4 | Rever dimensionamento estrutural que seja resistente às condições ambientais | 112 |
| Smartphone | 7 | 2 | 8 | Elaboração de um manual de uso conforme validações técnicas | 112 |
| Chicote OBD2 | 6 | 4 | 3 | Rever dimensionamento elétrico que seja resistente às condições ambientes | 72 |

RPN: Severidade x Ocorrência x Deteção

SCAMPER



Substituir

Sistema com tela independente para um com tela de um celular.



Combinar

Usar o GPS e o acelerômetro de um celular para alimentar o sistema.



Adaptar

Um app para celular que informe as instruções de condução ideal ao motorista.



Modificar

Integrar sistema de instruções a interfaces existentes de navegação GPS.



Procurar outro uso

Utilizar o sistema em veículos de passeio.



Eliminar

A placa de circuito impresso e utilizar um celular como processador do sistema.

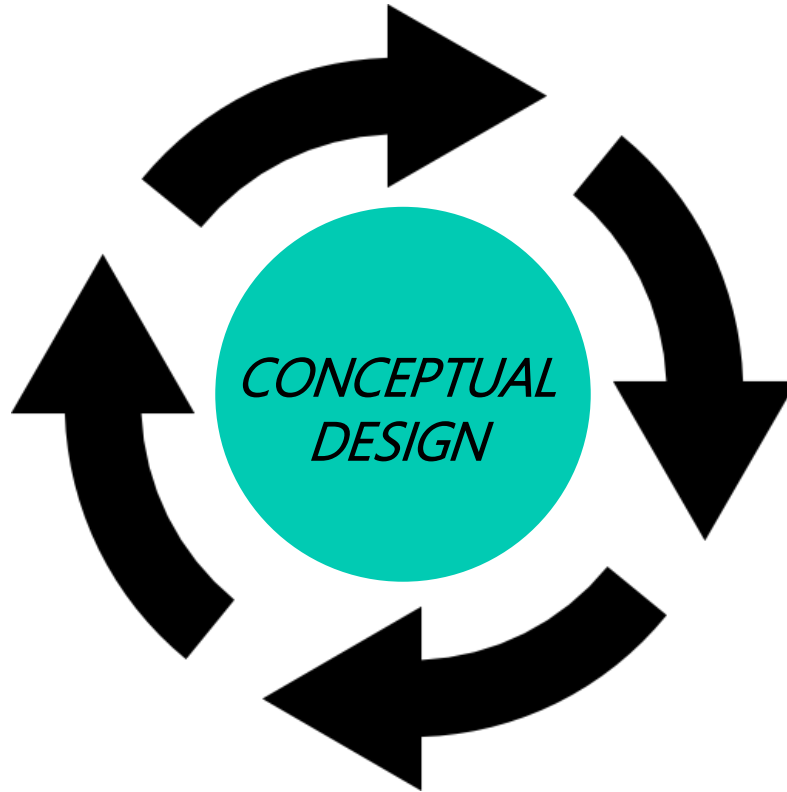


Rearranjar

Rearranjar alimentação dos dados do veículo através de um dispositivo bluetooth.

FERRAMENTAS DE ENGENHARIA

CONCLUSÕES



TARGET

Aumentar em até **5%** a razão quilômetros por litro em relação aos valores iniciais.

van der Voort et al. (2001)

European Conference of Ministers of Transport (2005)

Beusen et al. (2009)



CÁLCULO DA MELHORIA

Problema de controle ótimo

$$\min J \triangleq \psi(\mathbf{x}(t_f), t_f) + \int_{t_0}^{t_f} L(\mathbf{x}, \mathbf{u}, t) dt$$

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \begin{cases} f_1(\mathbf{x}, \mathbf{u}, t) & t_0 \leq t \leq t_{s1} \\ f_2(\mathbf{x}, \mathbf{u}, t) & t_{s1} < t \leq t_{s2} \\ \vdots \\ f_i(\mathbf{x}, \mathbf{u}, t) & t_{si-1} < t \leq t_f \end{cases}$$

Fonte: PFEIFER e LOBATO. **Controle ótimo de sistemas algébrico-diferenciais chaveados usando o algoritmo de busca gravitacional**, 2013

1. Necessita de **dados confidenciais** para calibração;
2. Metodologia de controle **on-off**.

Exemplo -> modelo de Barth et al. (2000)

$$FC(P) = \frac{K * N * V + \frac{P}{\eta}}{43,2} * [1 + 0,0001 * (N - N_0)^2]$$

$$\frac{\partial FC}{\partial P} \neq f(P)$$

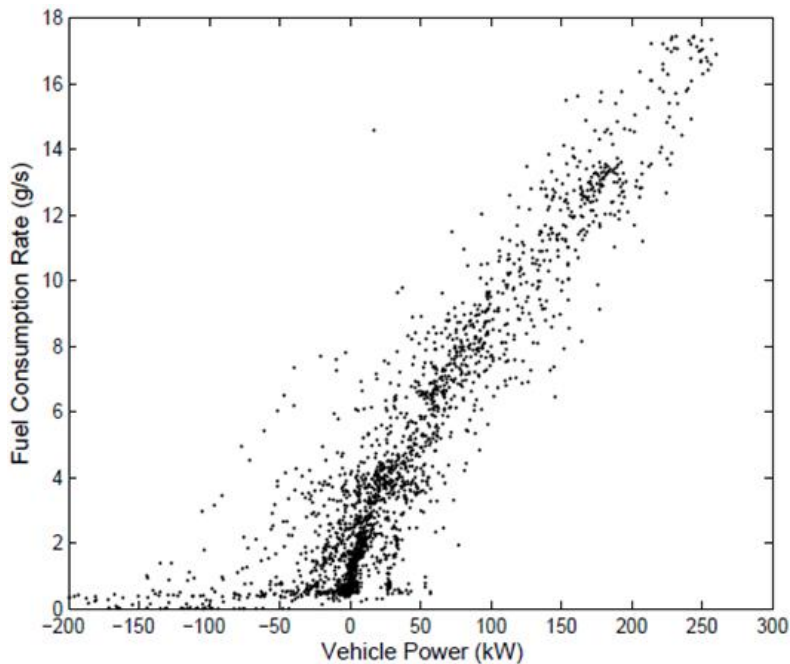
$FC(P)$: função objetivo (consumo de combustível)

P : variável de controle (potência do veículo)

K, N, V, η, N_0 : constantes do modelo

CÁLCULO DA MELHORIA

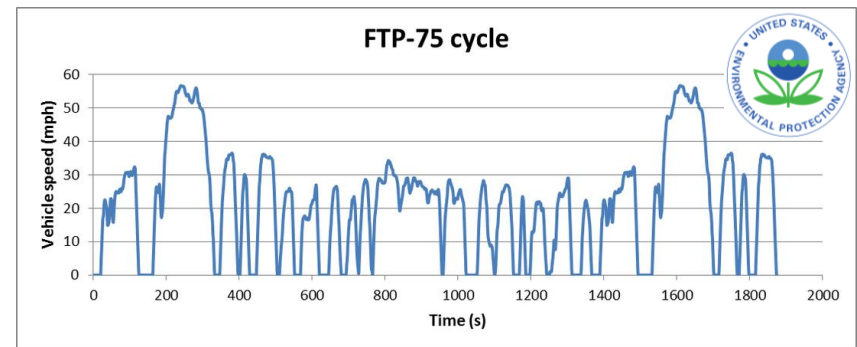
Curva de potência vs. consumo de combustível típica para caminhões



Fonte: WANG, J.; RAKHA, H. A. **Fuel consumption model for heavy duty diesel trucks: Model development and testing**, 2017

$$FC(t) = \begin{cases} \alpha_0 + \alpha_1 P(t) + \alpha_2 P(t)^2, & \forall P(t) \geq 0 \\ \alpha_0, & \forall P(t) < 0 \end{cases}$$

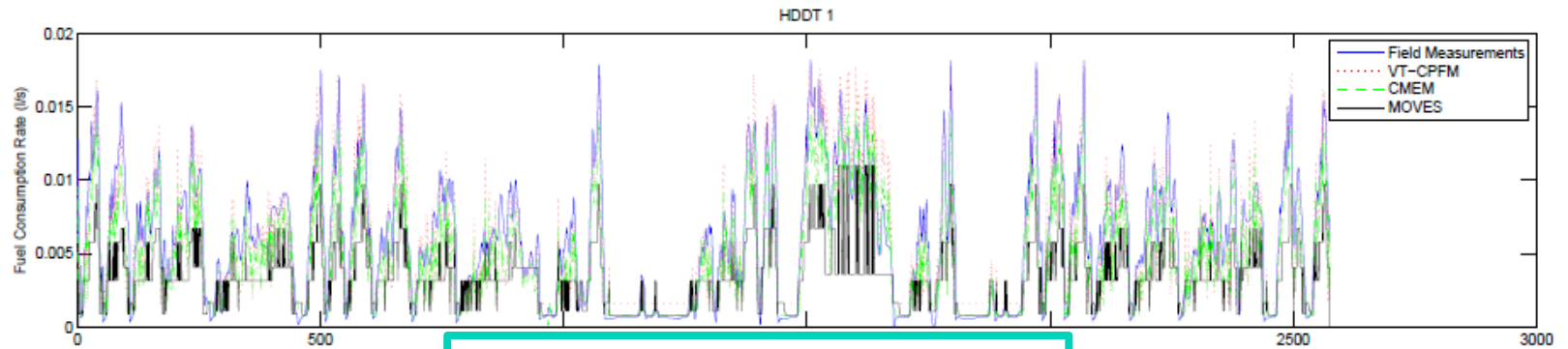
$$P_i = \frac{\left(\frac{1}{2} * \rho * v_i^2 * C_D * A \right) + m * g * \left(\frac{C_r}{1000} * (c_1 * v_i * 3,6 + c_2) + \text{sen}(\theta_i) \right)}{1000 * \eta_d} * v_i$$



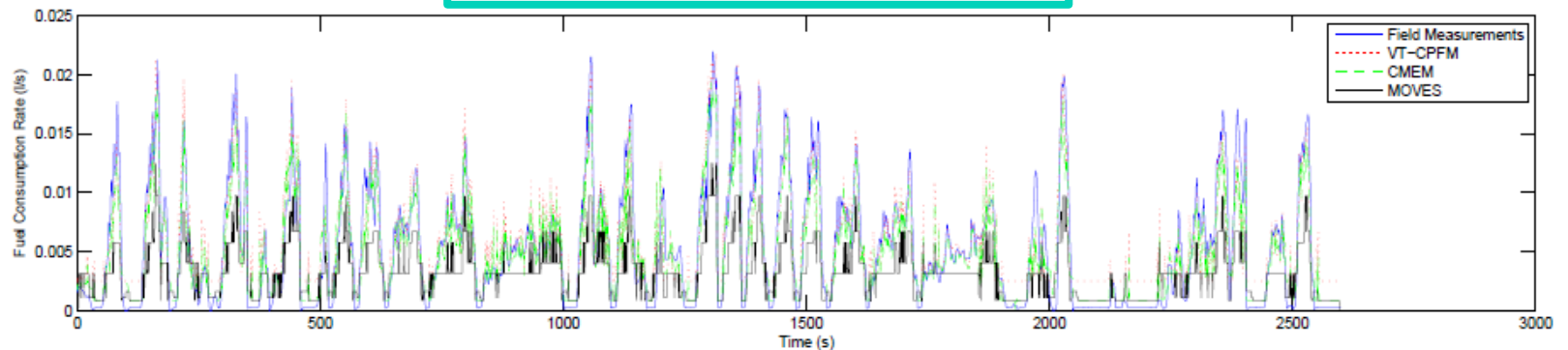
Fonte: Vehicle Energy Simulation

RAKHA, H. A.; AHN, K.; MORAN, K.; SAERENS, B.; VAN DEN BULCK, E. **Virginia tech comprehensive power-based fuel consumption model: model development and testing**, 2011.

CÁLCULO DA MELHORIA



$$R^2 = 0,86$$



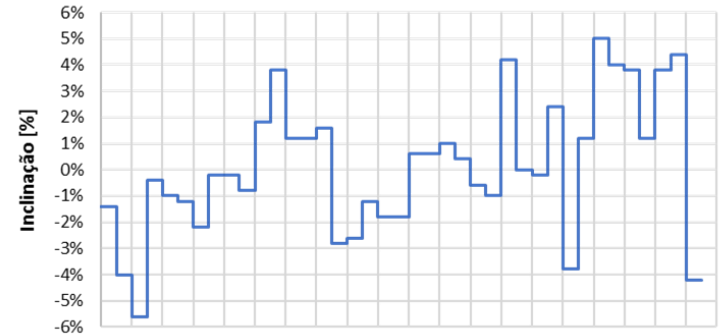
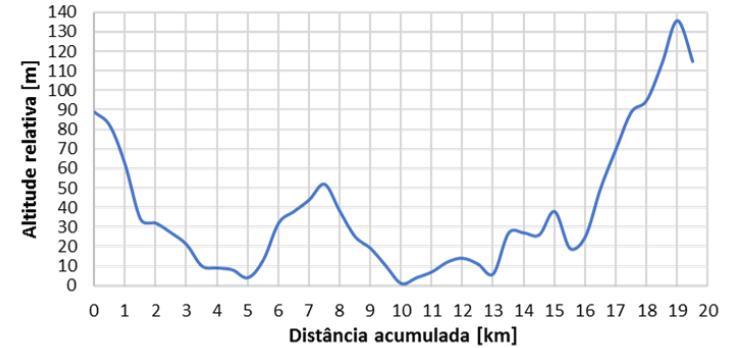
(b) HDDT2

Fonte: WANG, J.; RAKHA, H. A. **Fuel consumption model for heavy duty diesel trucks: Model development and testing**, 2017

CÁLCULO DA MELHORIA



Fonte: FavCars

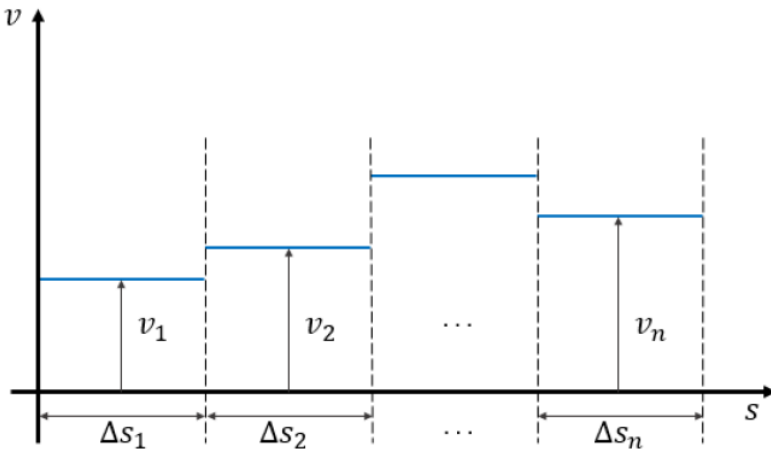


Fonte: adaptado de CARVALHO e SETTI, 2017

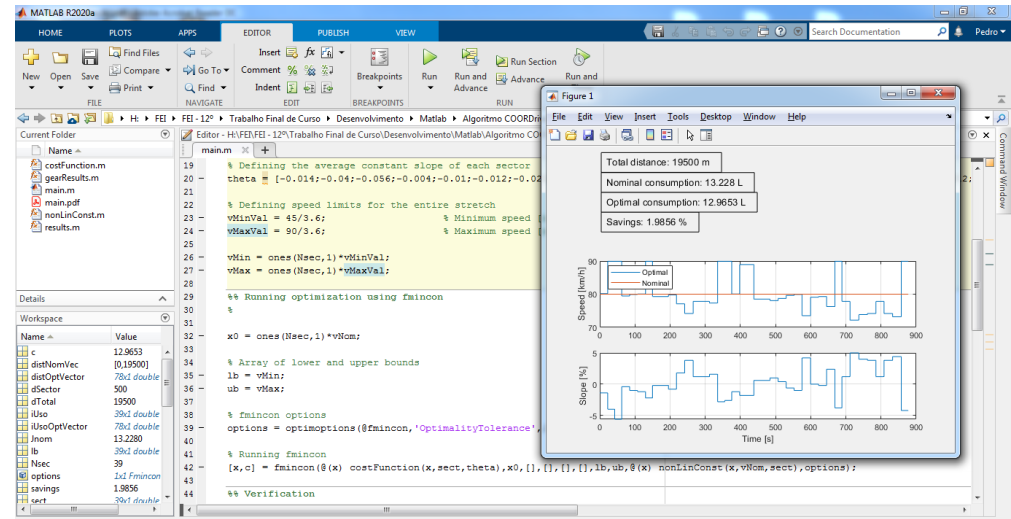
WANG, J.; RAKHA, H. A. **Fuel consumption model for heavy duty diesel trucks: Model development and testing.** Transportation Research Part D: Transport and Environment, v. 55, 2017.

CARVALHO, L. G. S.; SETTI, J. R. **Construção de perfis de velocidade de caminhões utilizando filtro gaussiano e regressões lineares em dados de GPS.** 29 Out. 2017. Departamento de Engenharia de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2017.

CÁLCULO DA MELHORIA



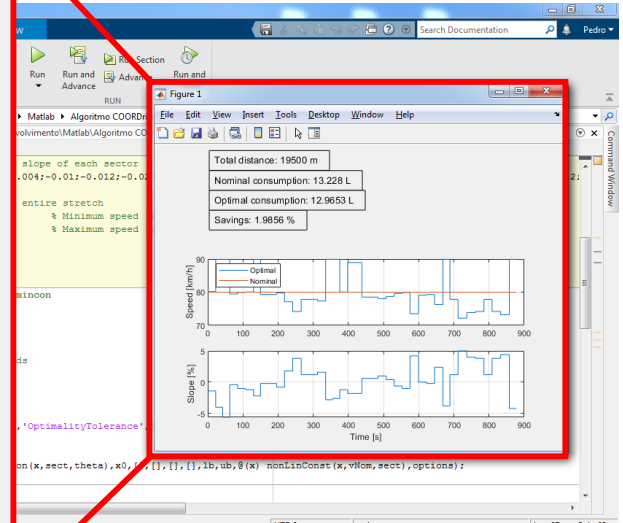
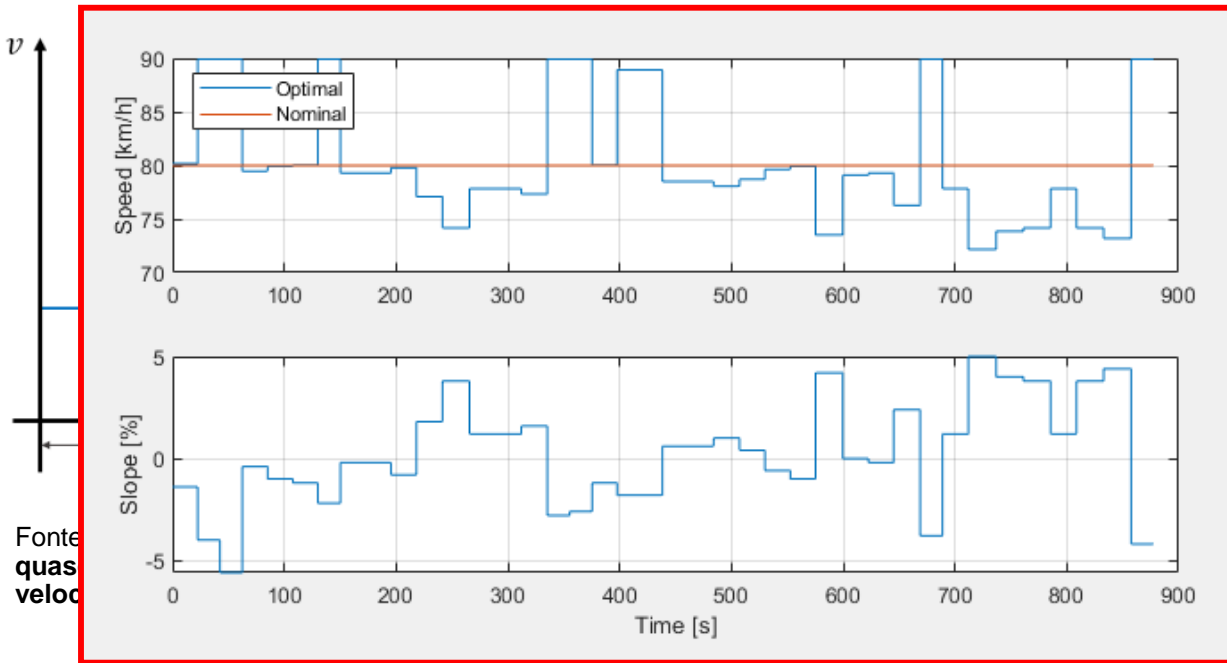
Fonte: NANNI et al., *Análise comparativa das abordagens quase-estáticas e dinâmica na otimização dos perfis de velocidade de veículos pesados*, 2019



Fonte: dos autores

$$t_{nom} = t_{opt} \quad \Rightarrow \quad \frac{d}{v_{nom}} = \frac{d_1}{v_1} + \frac{d_2}{v_2} + \dots + \frac{d_N}{v_N}$$

CÁLCULO DA MELHORIA

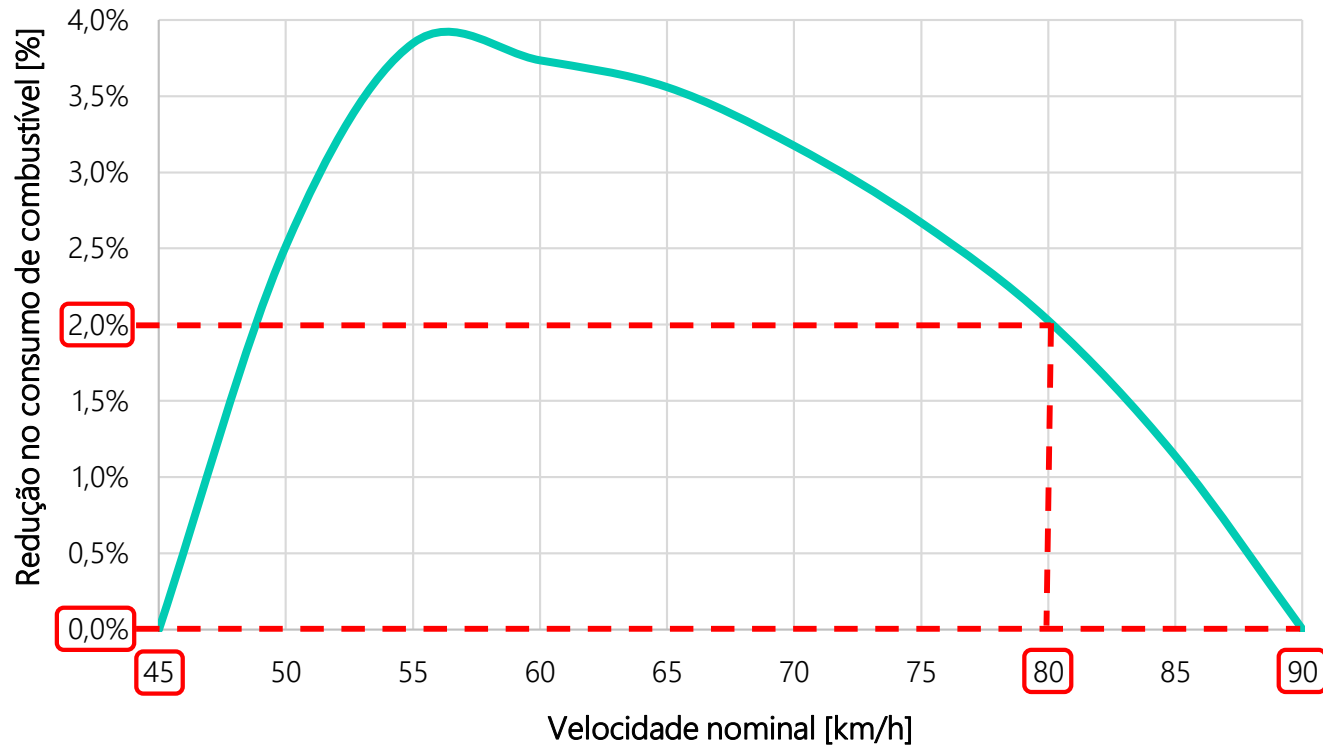


Fonte: dos autores

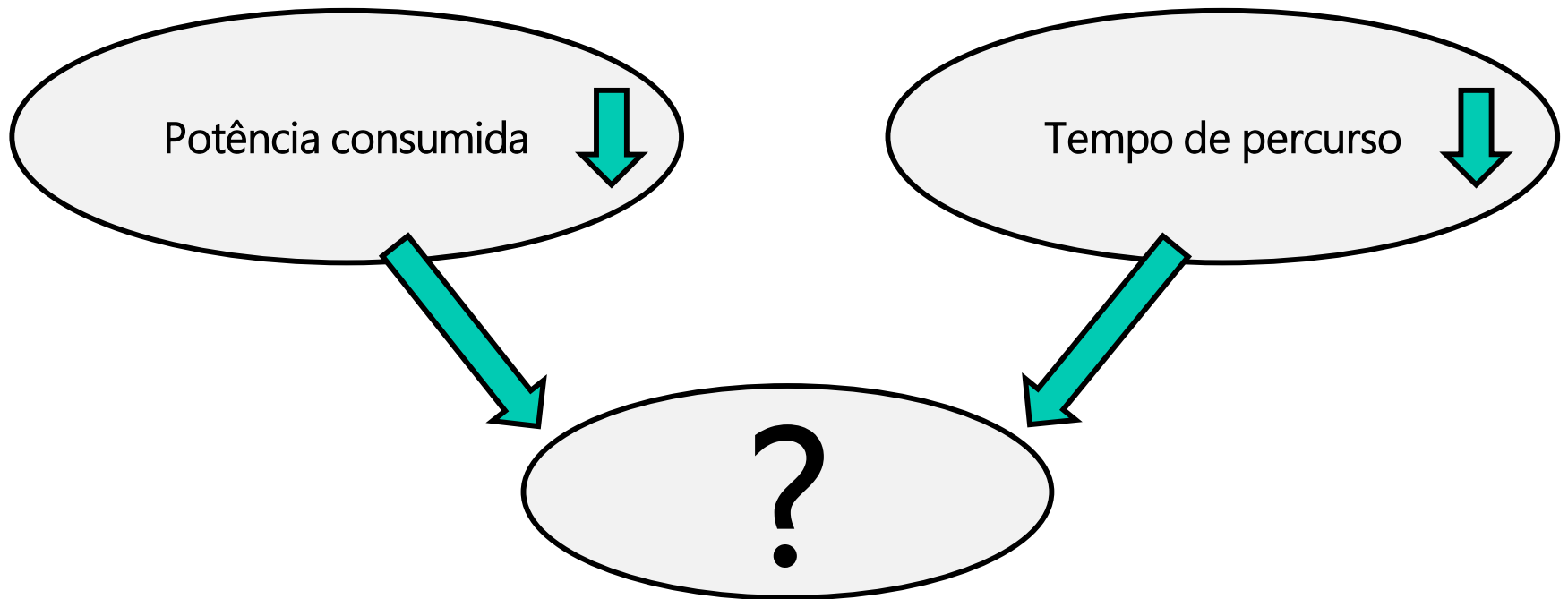
$$t_{nom} = t_{opt} \quad \Rightarrow \quad \frac{d}{v_{nom}} = \frac{d_1}{v_1} + \frac{d_2}{v_2} + \dots + \frac{d_N}{v_N}$$

CÁLCULO DA MELHORIA

Redução no consumo de combustível em função da velocidade nominal, para os parâmetros adotados no estudo



CÁLCULO DA MELHORIA - WOIS



CÁLCULO DA MELHORIA - WOIS

↓ Potência consumida = f { ? }

f {
 massa do veículo ↓;
 resistência do pneu ao rolamento ↓;
 velocidade adotada ↓; ...

Parâmetro do sistema

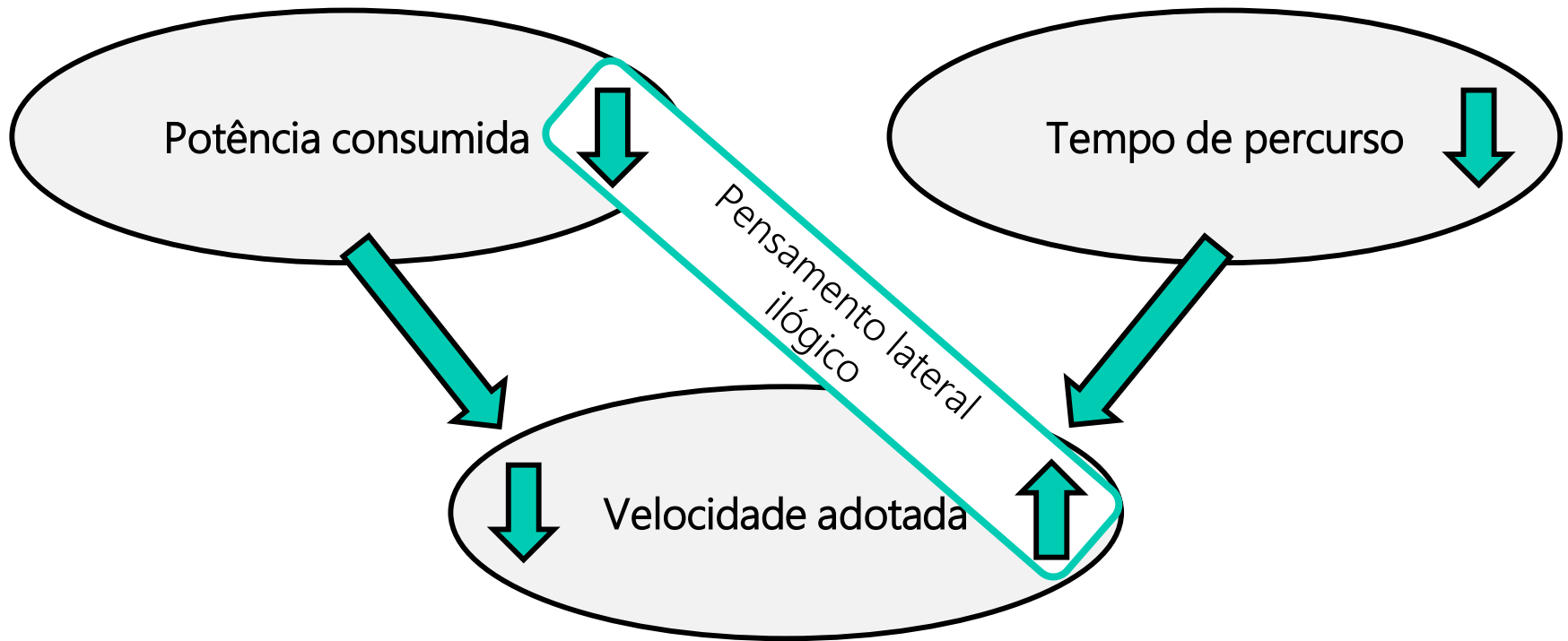
↓ velocidade adotada ↑



↓ Tempo de percurso = f { ? }

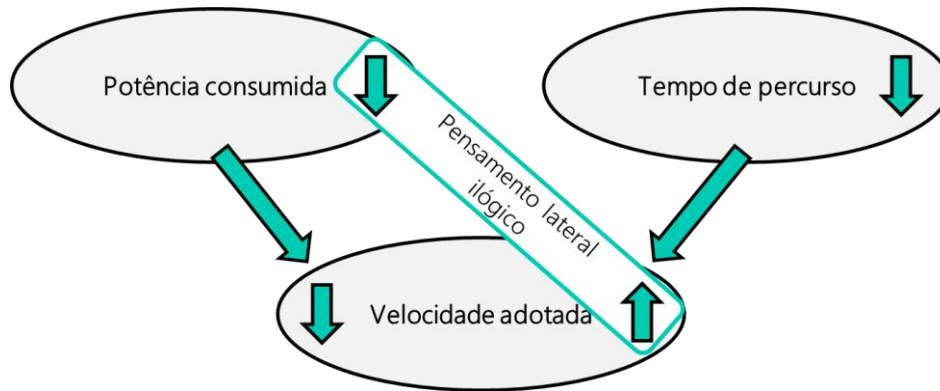
f {
 distância do percurso ↓;
 velocidade adotada ↑; ...

CÁLCULO DA MELHORIA - WOIS



Como **diminuir** a potência consumida e **diminuir** o tempo de percurso **umentando** a velocidade adotada?

CÁLCULO DA MELHORIA - WOIS

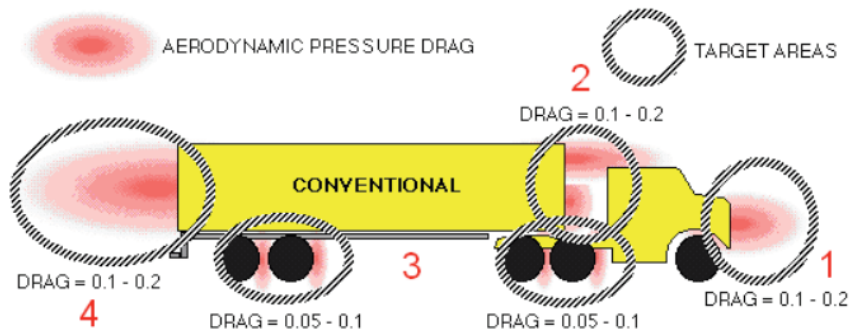


$$F_a = \frac{1}{2} * \rho * v^2 * C_D * A$$

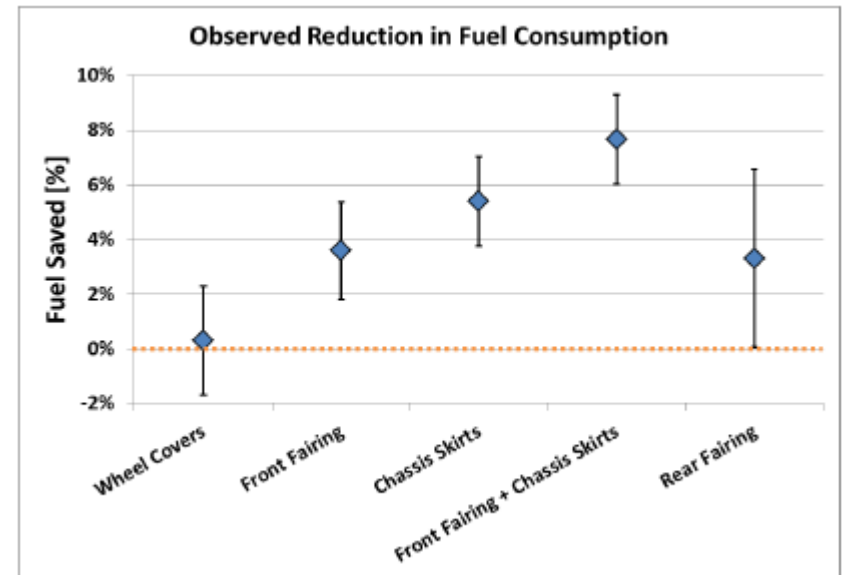
F_a = força de resistência aerodinâmica;
 ρ : densidade do ar;
 v : velocidade do veículo;
 C_D : coeficiente de arrasto aerodinâmico;
 A : área frontal do veículo.

Como **diminuir** a potência consumida e **diminuir** o tempo de percurso **umentando** a velocidade adotada?

CÁLCULO DA MELHORIA - WOIS



Fonte: CURRY et al., **Reducing Aerodynamic Drag & Rolling Resistance from Heavy-Duty Trucks: Summary of Available Technologies & Applicability to Chinese Trucks**, 2012



Fonte: RAGATZ e THORNTON, **Aerodynamic Drag Reduction Technologies Testing of Heavy-Duty Vocational Vehicles and a Dry Van Trailer**, 2016

MODELAMENTO



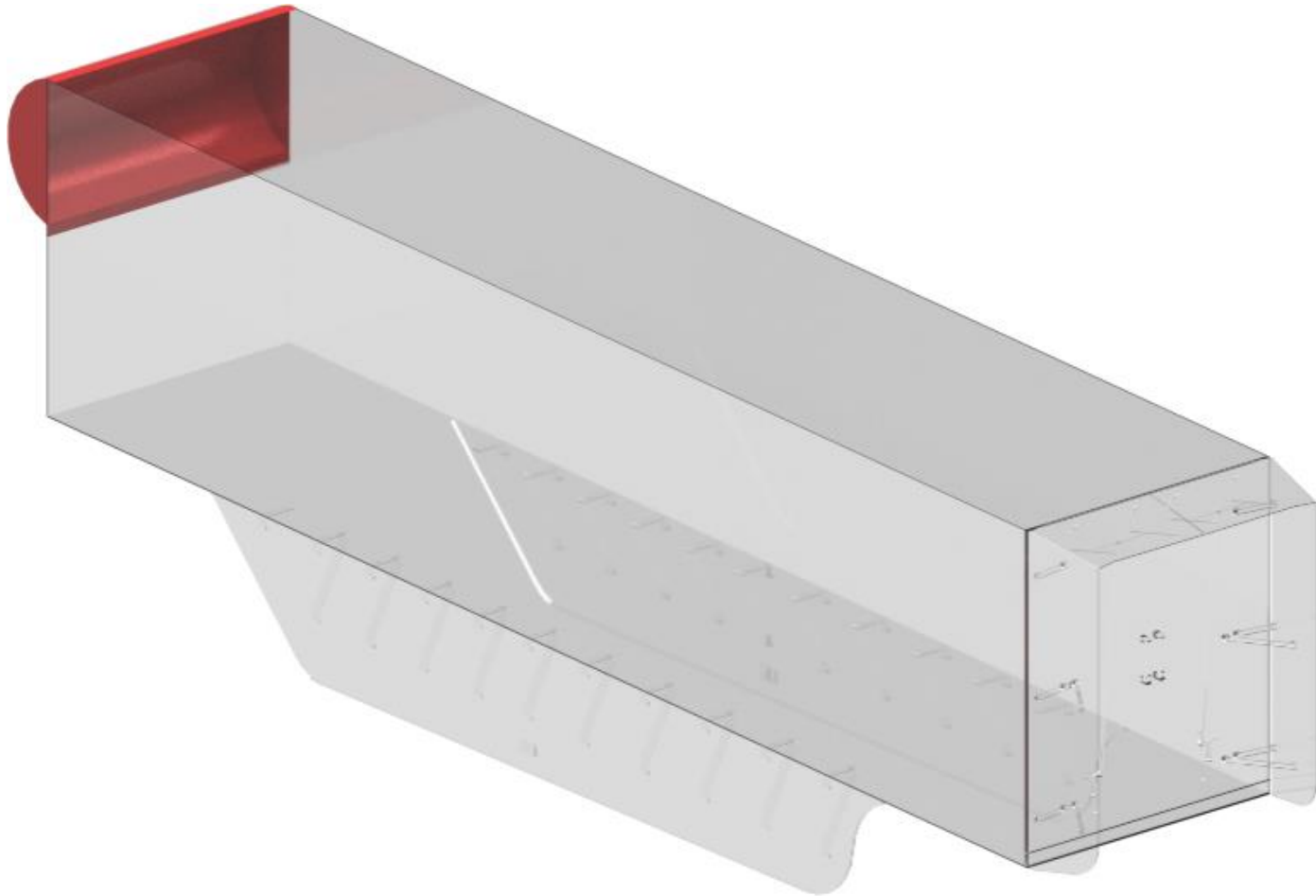
Fonte: TruckPad

DNIT DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES

| | | | | | |
|--|--------------|---------------------|--|-------------------|-----------|
| | <p>3 / 4</p> | <p>33 / (34,65)</p> | <p>CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI-REBOQUE E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E4 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. $d12, d34 > 2,40 \text{ m}$ $1,20 \text{ m} < d23 \leq 2,40 \text{ m}$</p> | <p>3S1</p> | <p>72</p> |
|--|--------------|---------------------|--|-------------------|-----------|

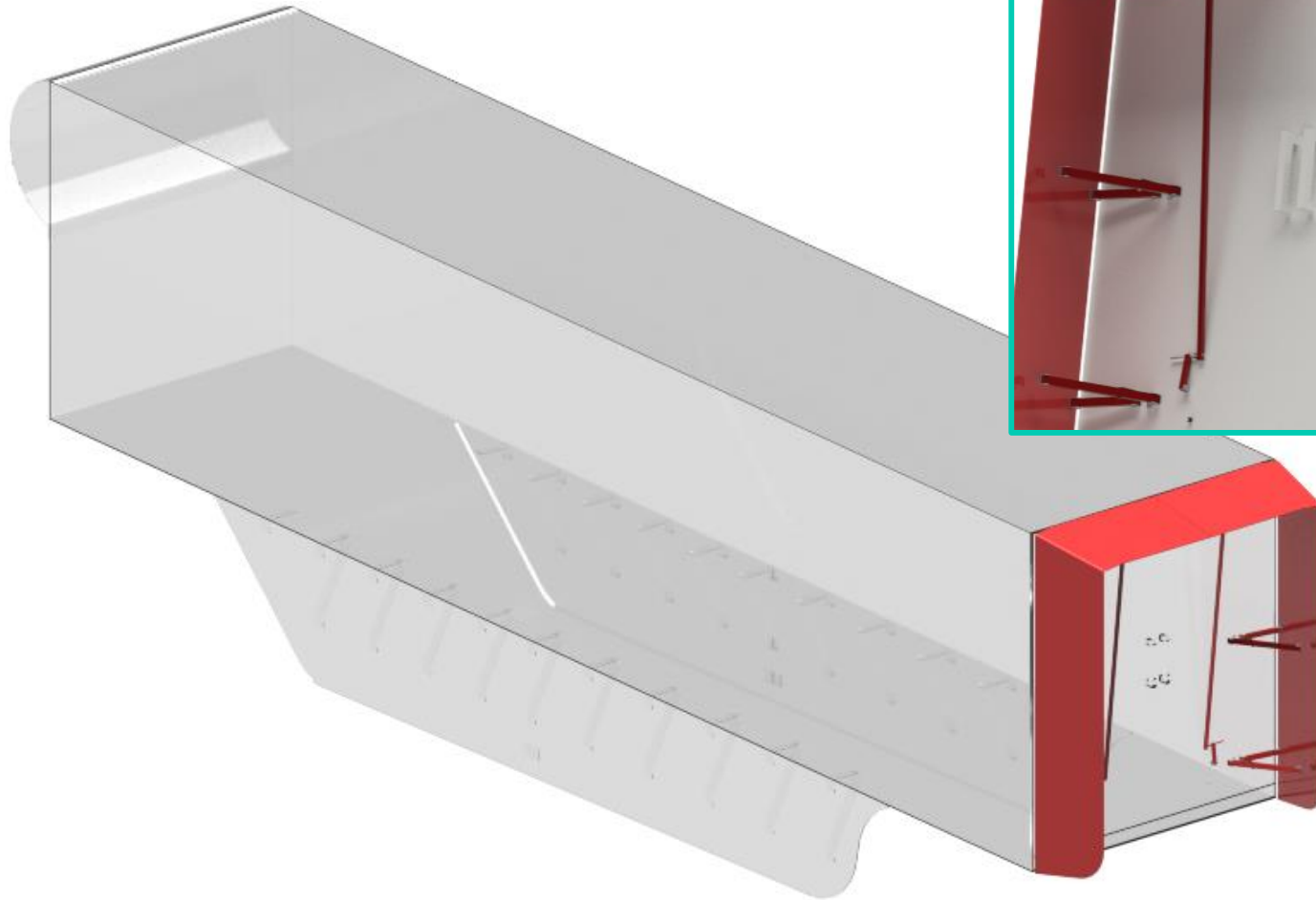
Fonte: DNIT

MODELAMENTO



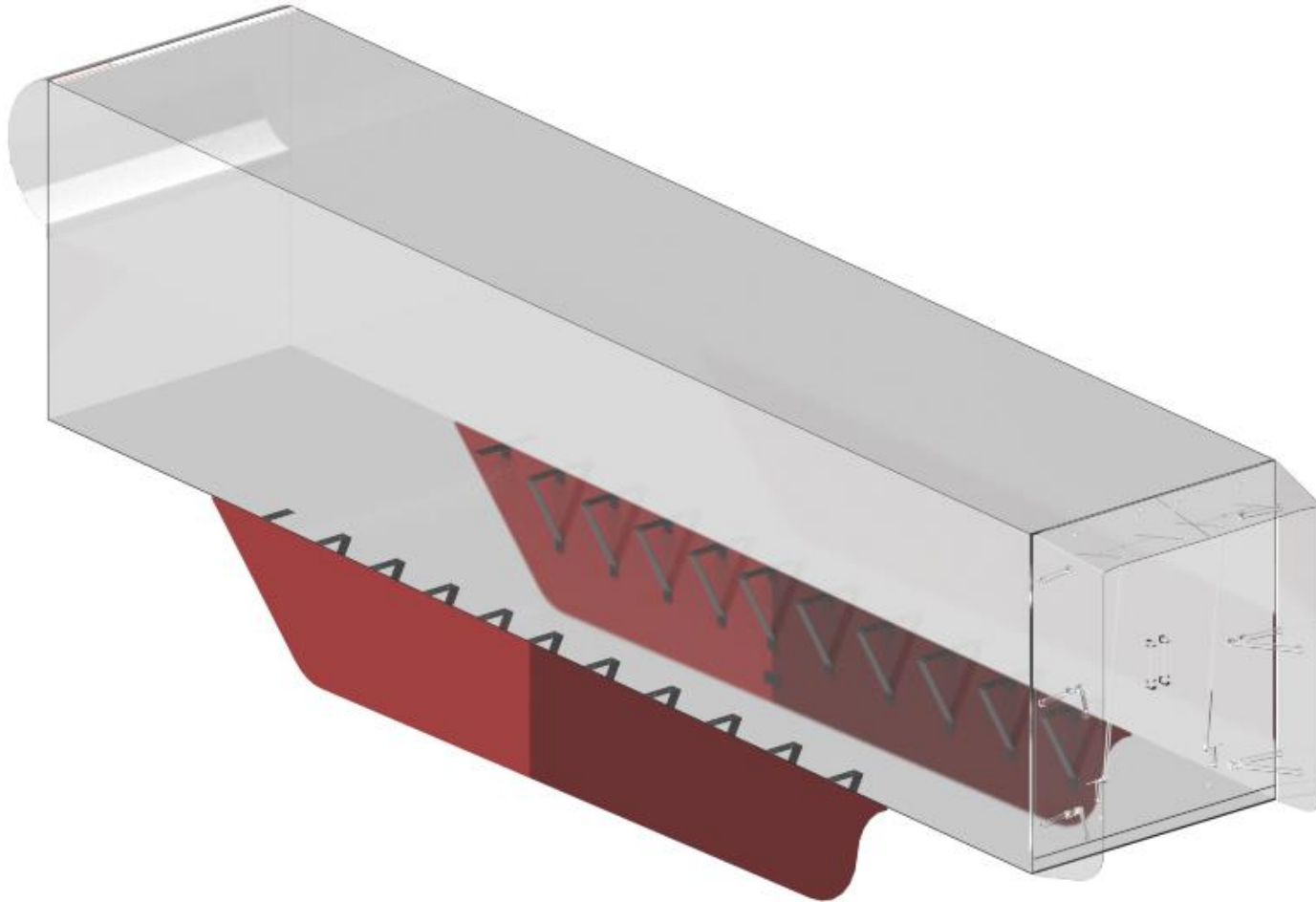
Fonte: dos autores

MODELAMENTO



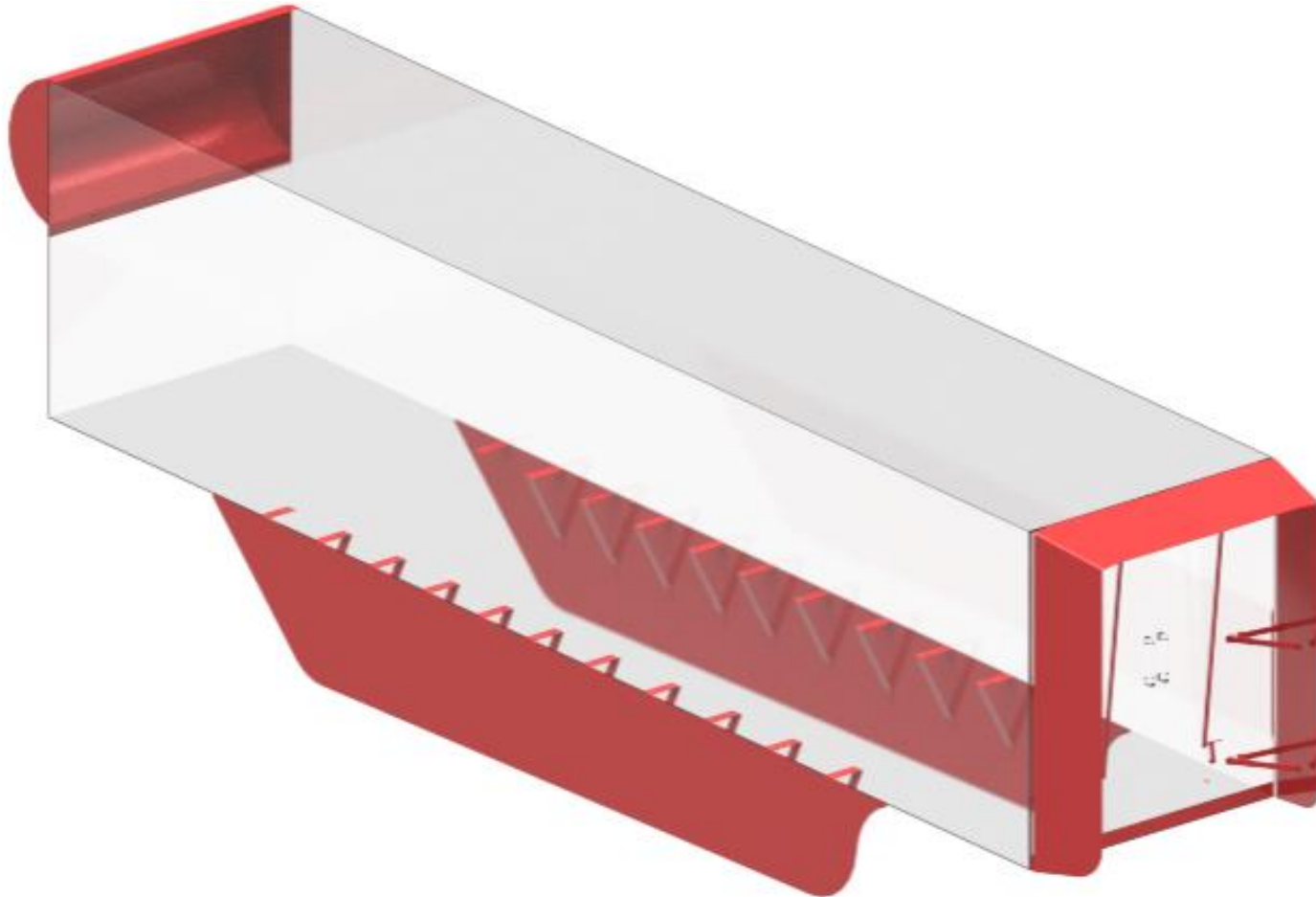
Fonte: dos autores

MODELAMENTO



Fonte: dos autores

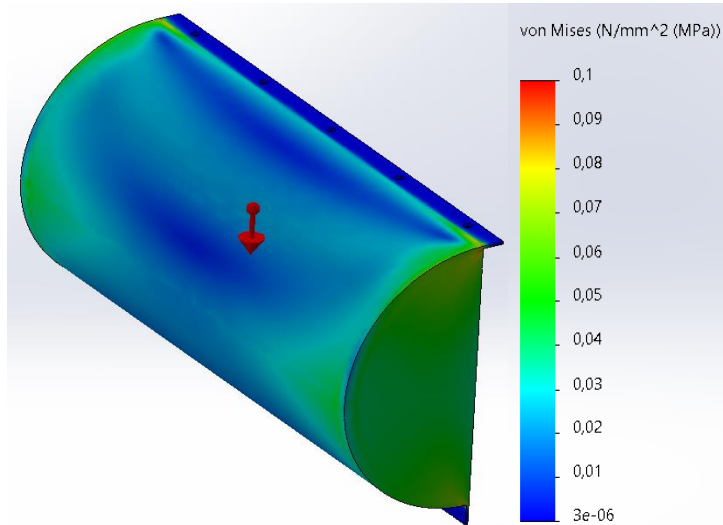
MODELAMENTO



SIMULAÇÃO ESTRUTURAL – DIFUSOR DIANTEIRO

Considerações iniciais

- Material: Polipropileno (PP)
- Carga atuante: peso do próprio conjunto
- Engastes nas faces parafusadas ao semirreboque
- Apenas força vertical atuante



Fonte: dos autores

C.S. mecânico na montagem

$$\sqrt{\sigma^2 + 3 * \tau^2} \leq \frac{\sigma_e}{n} \quad \sqrt{75,5^2 + 3 * 38,1^2} \leq \frac{180}{n} \quad n \geq 1,8$$

C.S. mecânico na operação

$$n_{mec} = \frac{F_{ens} - F_{ap}}{C * F} = \frac{44100 - 18500}{0,96 * 69,3} = 385$$

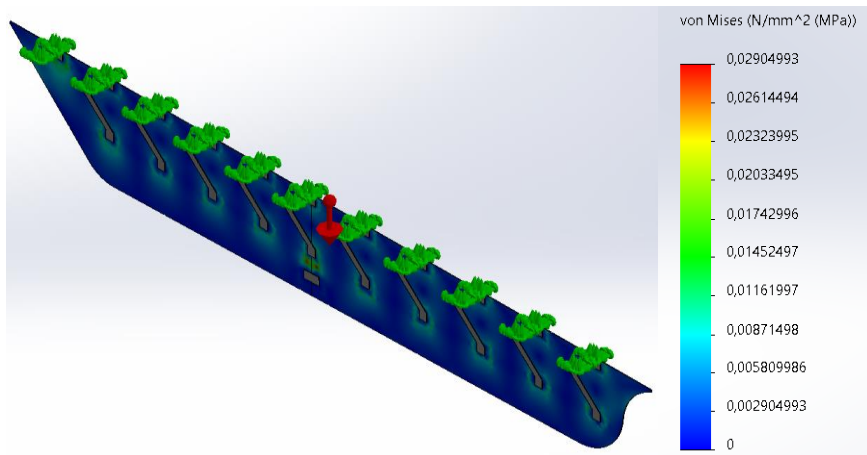
C.S. de separação

$$n_{sep} = \frac{F_{ap}}{(1 - C) * F} = \frac{18500}{(1 - 0,96) * 69,3} = 6674$$

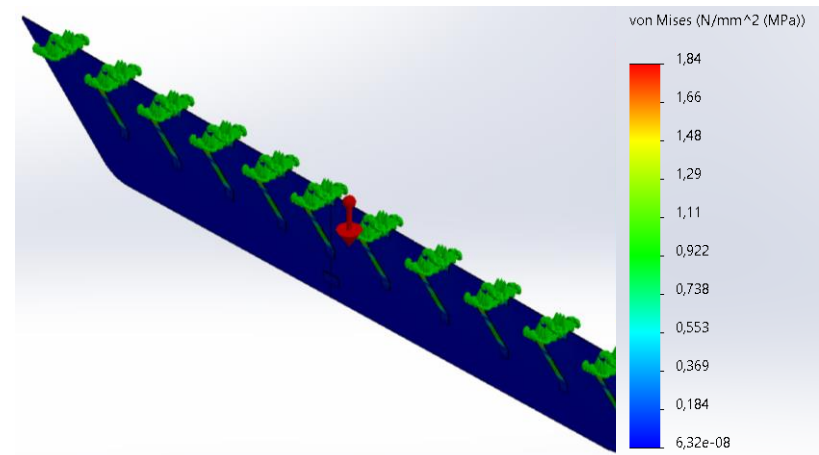
SIMULAÇÃO ESTRUTURAL – SAIAS LATERAIS

Considerações iniciais

- Material: Acrilonitrila butadieno estireno (ABS)
- Carga atuante: peso do próprio conjunto
- Apenas esforços cisalhantes
- Suportes de fixação como corpos rígidos (dimensionamento dos **apêndices**)
- Suportes de fixação como corpos deformáveis (dimensionamento dos **suportes**)
- Carga atuante em apenas um parafuso (dimensionamento dos **suportes**)



Fonte: dos autores



Fonte: dos autores

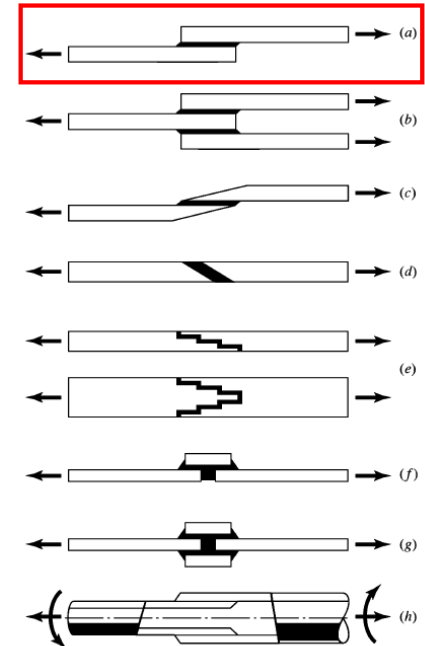
SIMULAÇÃO ESTRUTURAL – SAIAS LATERAIS

Fonte: dos autores



| Química do adesivo ou tipo | Temperatura ambiente resistência ao cisalhamento sobreposto, MPa | Resistência de descolamento (descasque) por unidade de largura, kN/m |
|--|--|--|
| Sensível à pressão | 0,01–0,07 | 0,18–0,88 |
| Base de amido | 0,07–0,7 | 0,18–0,88 |
| Celulósico | 0,35–3,5 | 0,18–1,8 |
| Base de borracha | 0,35–3,5 | 1,8–7 |
| Derretimento a quente formulado | 0,35–4,8 | 0,88–3,5 |
| Derretimento a quente sinteticamente projetado | 0,7–6,9 | 0,88–3,5 |
| Emulsão de PVAc (cola branca) | 1,4–6,9 | 0,88–1,8 |
| Cianoacrilato | 6,9–13,8 | 0,18–3,5 |
| Base de proteína | 6,9–13,8 | 0,18–1,8 |
| Acrílico anaeróbico | 6,9–13,8 | 0,18–1,8 |
| Uretano | 6,9–17,2 | 1,8–8,8 |
| Acrílico de borracha modificada | 13,8–24,1 | 1,8–8,8 |
| Fenólico modificado | 13,8–27,6 | 3,6–7 |
| Epóxi não modificado | 10,3–27,6 | 0,35–1,8 |
| Bis-maleimida | 13,8–27,6 | 0,18–3,5 |
| Polimida | 13,8–27,6 | 0,18–0,88 |
| Epóxi de borracha modificada | 20,7–41,4 | 4,4–14 |

Fonte: BUDYNAS e NISBETT, **Elementos de Máquinas de Shigley**, 2011.



- Melhor estética
- Boa relação custo-benefício

SIMULAÇÃO ESTRUTURAL – SAIAS LATERAIS

Fonte: dos autores



C.S. mecânico na montagem

$$\sqrt{\sigma^2 + 3 * \tau^2} \leq \frac{\sigma_e}{n} \quad \sqrt{284,9^2 + 3 * 143,77^2} \leq \frac{400}{n} \quad n \geq 1,06$$

C.S. mecânico na operação

$$n_{mec} = \frac{F_{ens} - F_{ap}}{C * F} = \frac{93100 - 69800}{0,16 * 136} = 1071$$

C.S. de separação

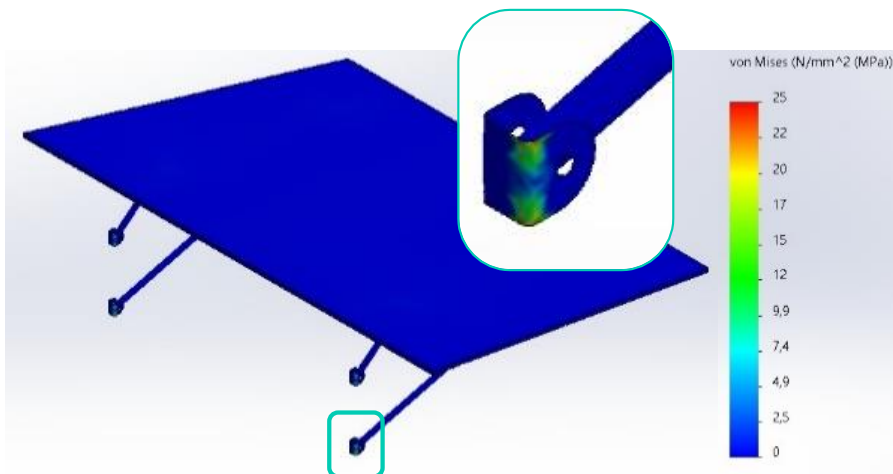
$$n_{sep} = \frac{F_{ap}}{(1 - C) * F} = \frac{69800}{(1 - 0,16) * 136} = 611$$

- Melhor estética
- Boa relação custo-benefício

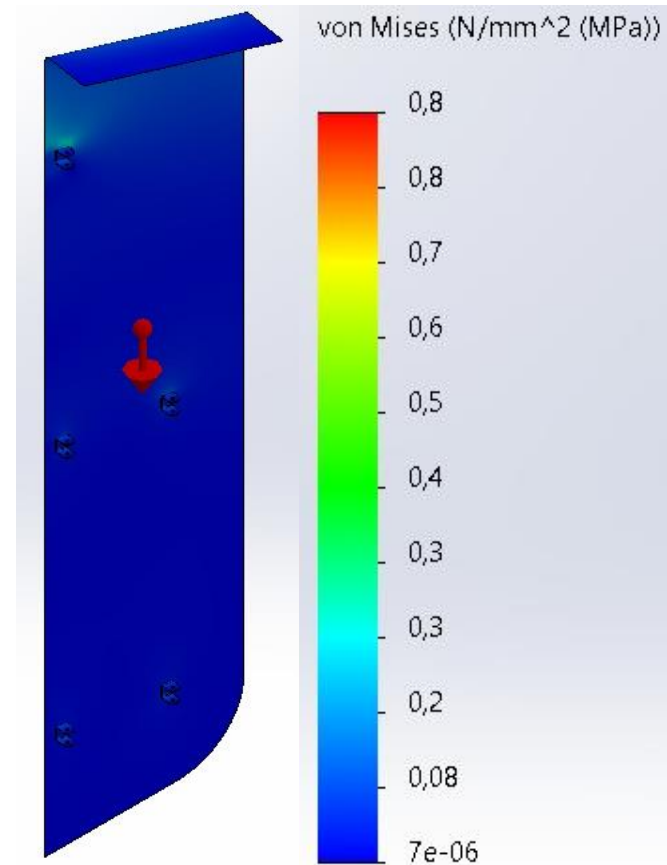
SIMULAÇÃO ESTRUTURAL – PAINÉIS TRASEIROS

Considerações iniciais

- Material: Polipropileno (PP)
- Carga atuante: peso do próprio conjunto
- Dobradiças engastadas



Fonte: dos autores



Fonte: dos autores

SIMULAÇÃO ESTRUTURAL – PAINÉIS TRASEIROS

Painel superior

C.S. mecânico na montagem

$$\sqrt{\sigma^2 + 3 * \tau^2} \leq \frac{\sigma_e}{n} \quad \sqrt{436,2^2 + 3 * 247^2} \leq \frac{640}{n} \quad n \geq 1,05$$

C.S. mecânico na operação

$$n_{mec} = \frac{F_{ens} - F_{ap}}{C * F} = \frac{5100 - 3830}{0,07 * 4,6} = 3944$$

C.S. de separação

$$n_{sep} = \frac{F_{ap}}{(1 - C) * F} = \frac{3830}{(1 - 0,07) * 4,6} = 895$$

Painel lateral

C.S. mecânico na montagem

$$\sqrt{\sigma^2 + 3 * \tau^2} \leq \frac{\sigma_e}{n} \quad \sqrt{436,2^2 + 3 * 247^2} \leq \frac{640}{n} \quad n \geq 1,05$$

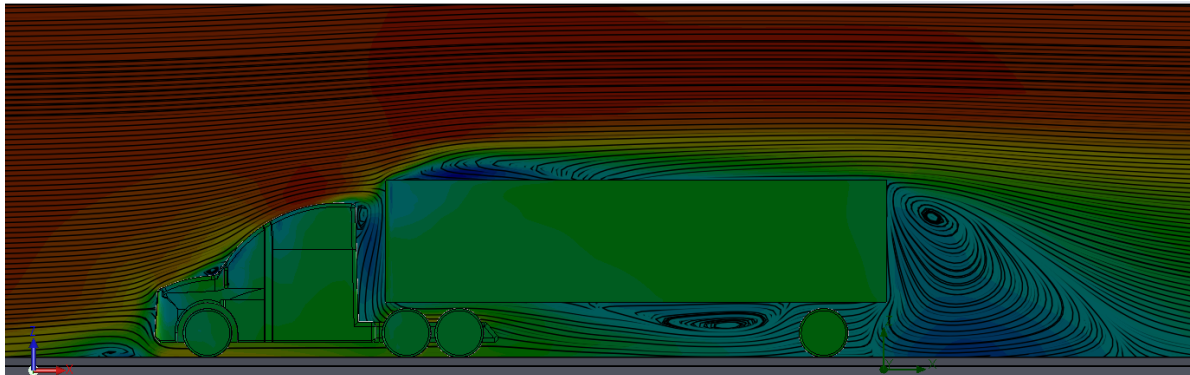
C.S. mecânico na operação

$$n_{mec} = \frac{F_{ens} - F_{ap}}{C * F} = \frac{5100 - 3830}{0,07 * 6,57} = 2761$$

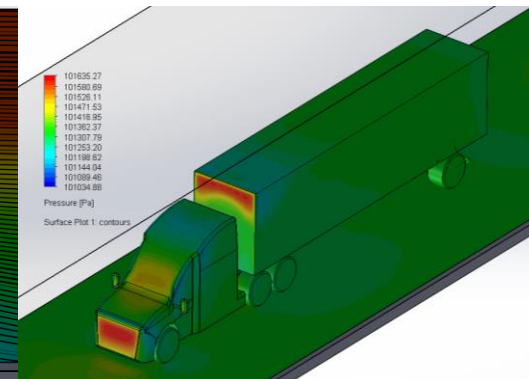
C.S. de separação

$$n_{sep} = \frac{F_{ap}}{(1 - C) * F} = \frac{3830}{(1 - 0,07) * 6,57} = 627$$

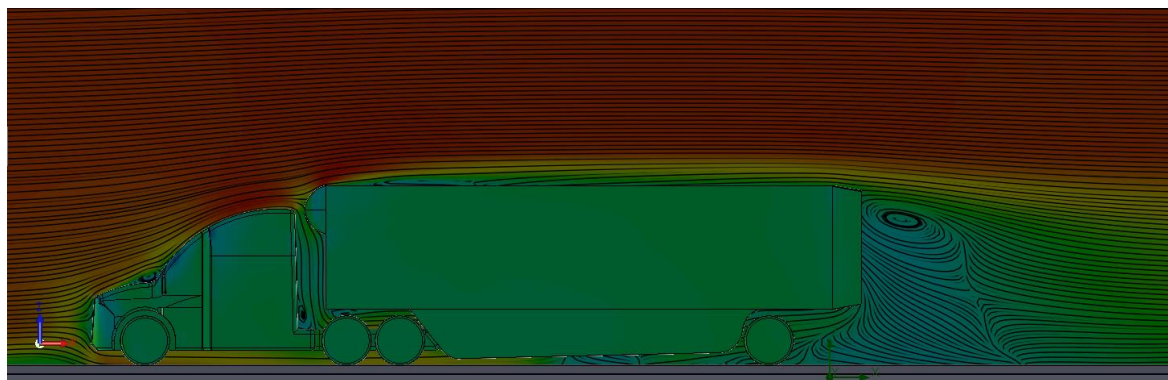
CÁLCULO DA MELHORIA



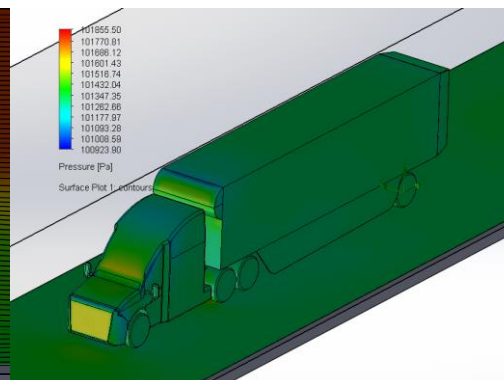
$$C_D = 0,672$$



Fonte: dos autores

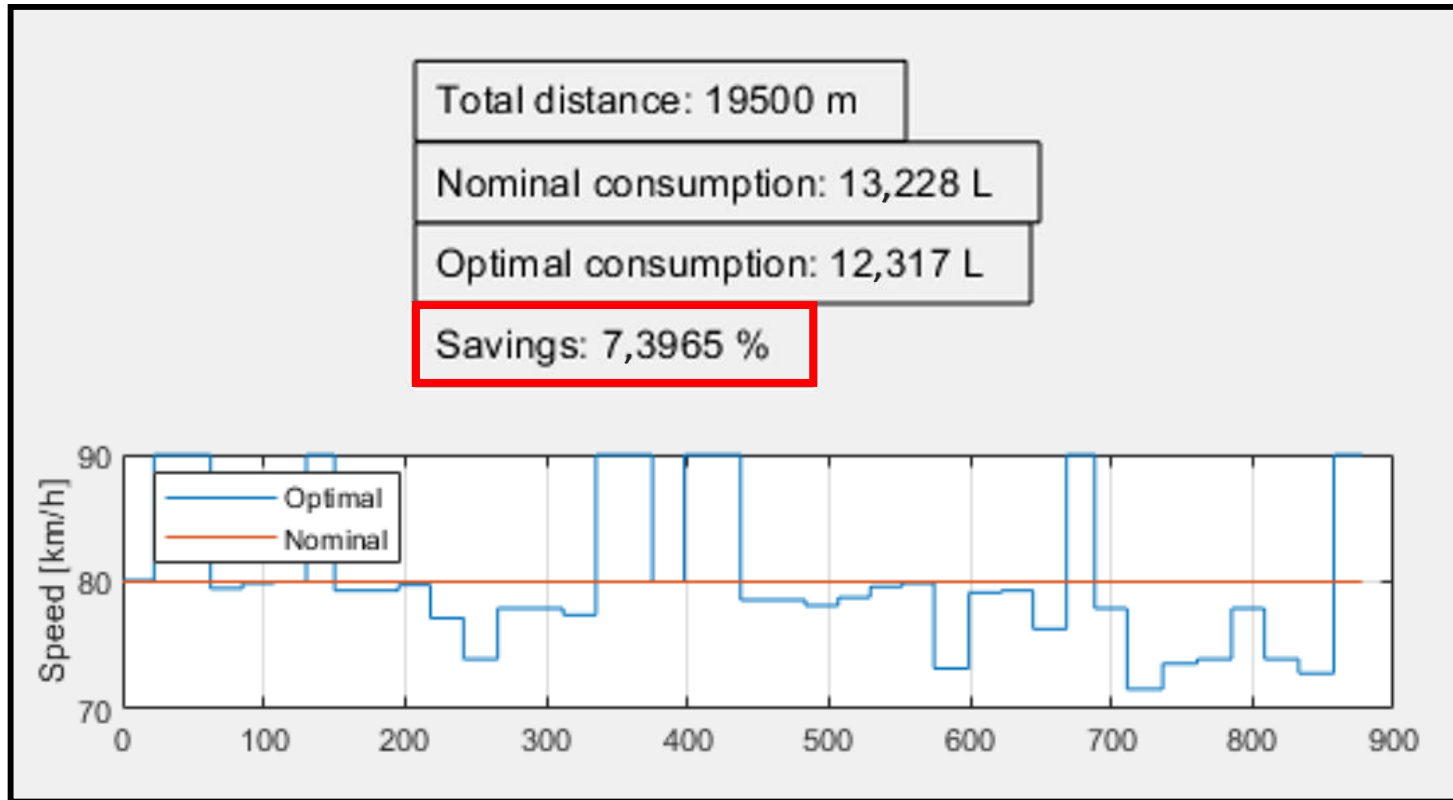


$$C_D = 0,61 (-9,23\%)$$

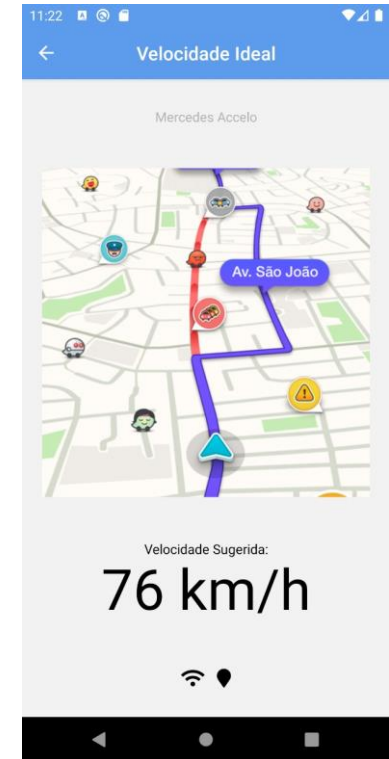
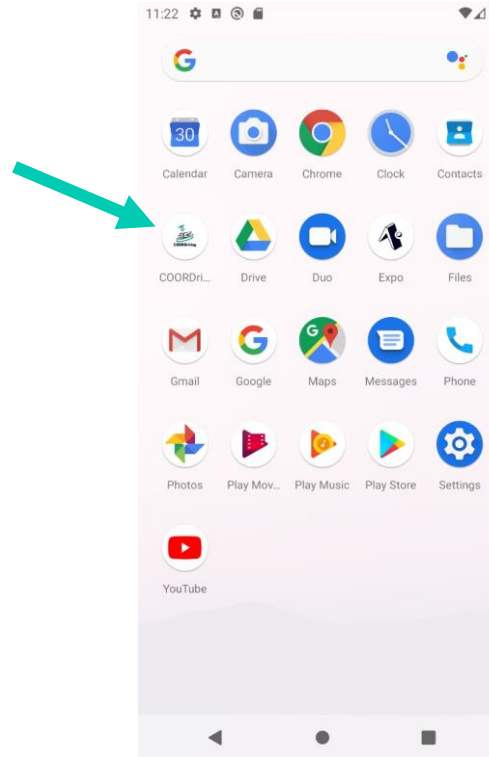
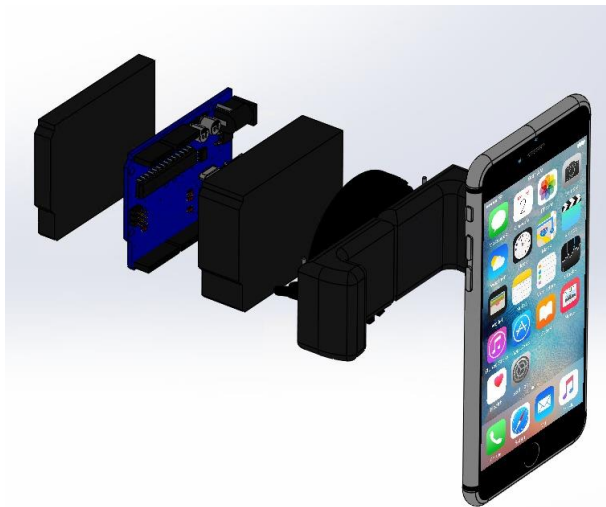


Fonte: dos autores

CÁLCULO DA MELHORIA

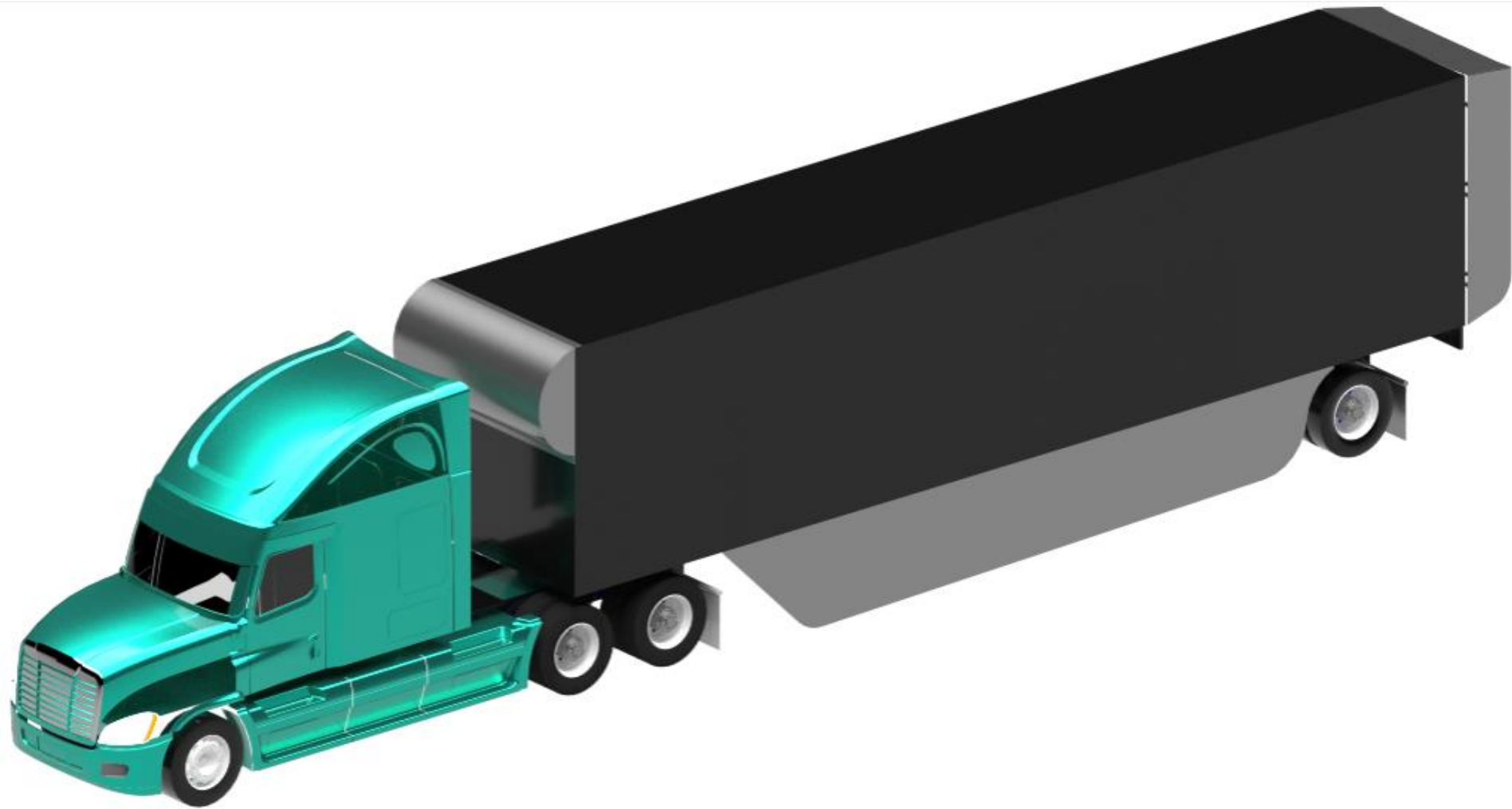


MODELAMENTO



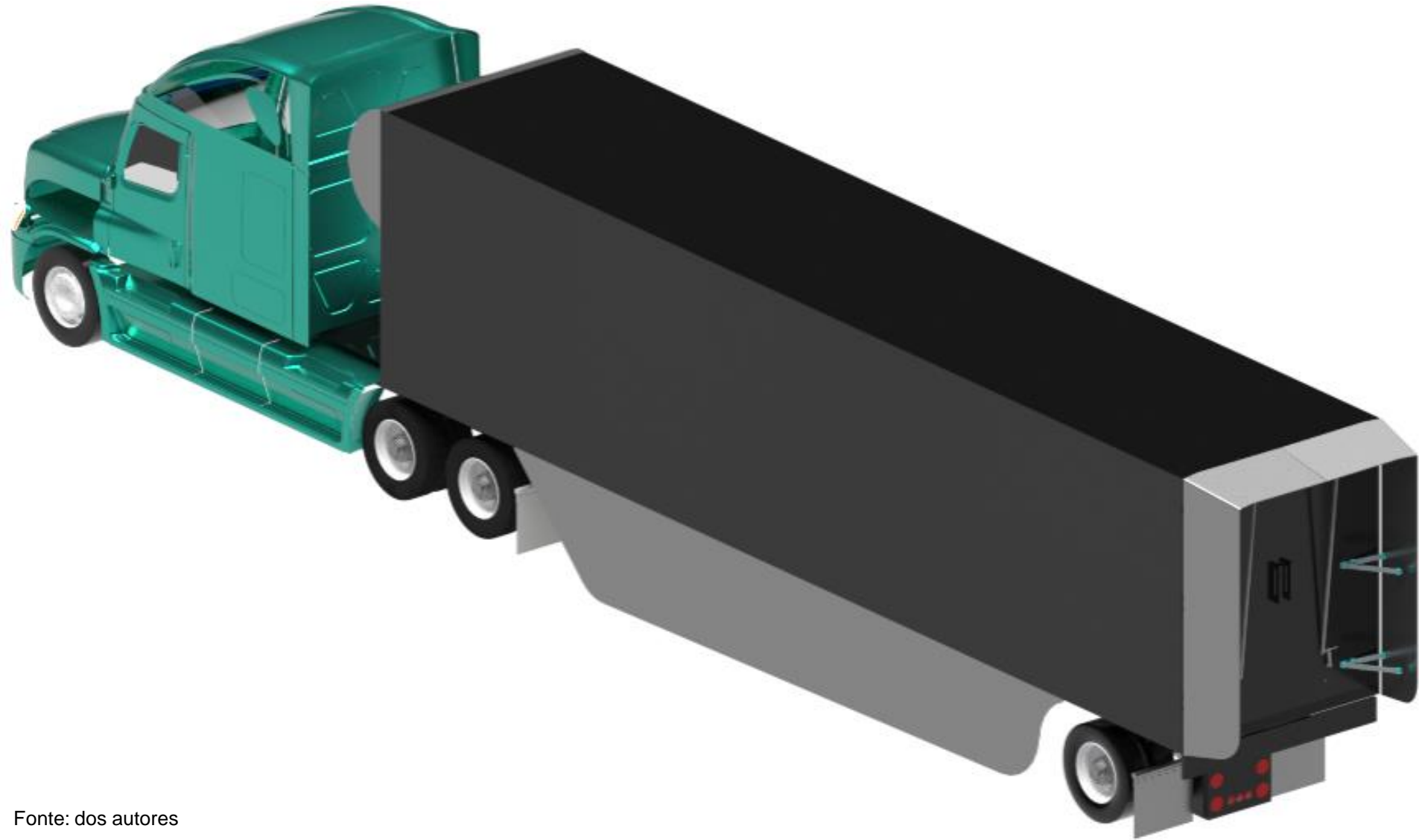
Fonte: dos autores

MODELAMENTO



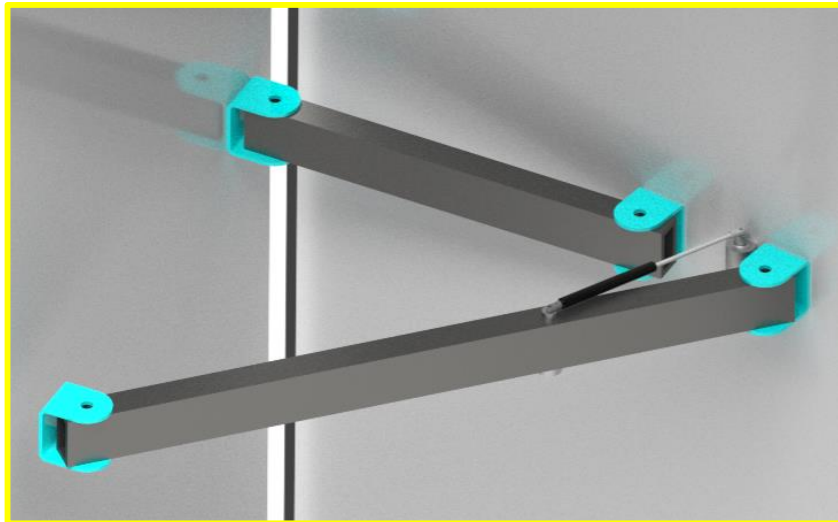
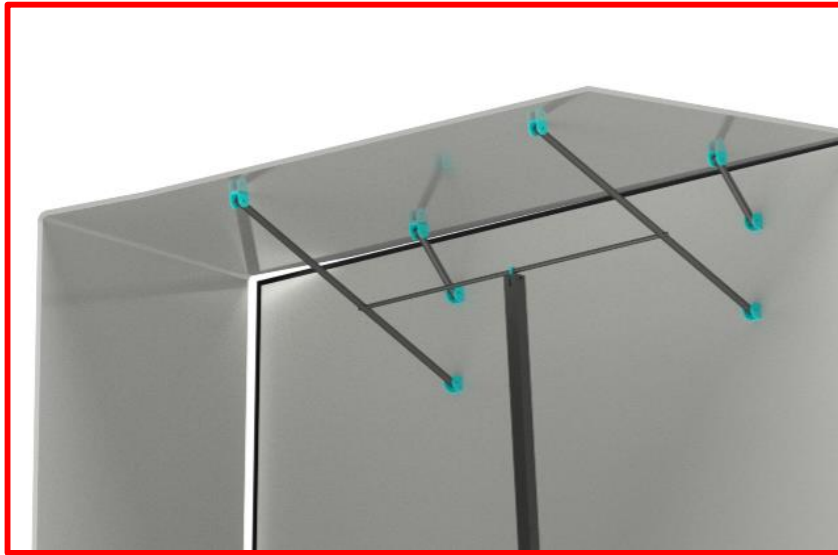
Fonte: dos autores

MODELAMENTO



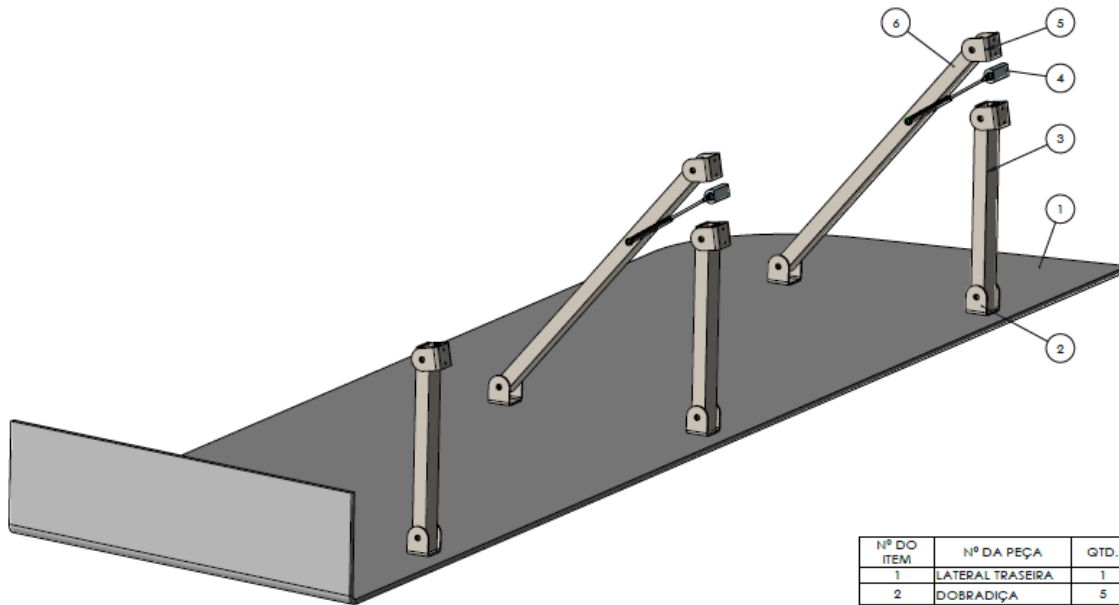
Fonte: dos autores

MODELAMENTO

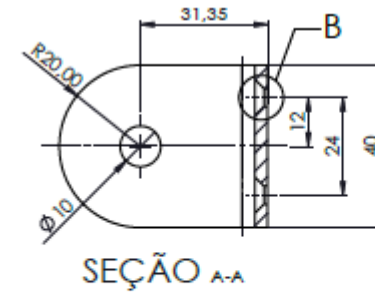


Fonte: dos autores

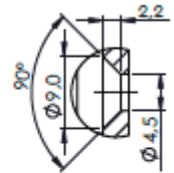
MODELAMENTO



| Nº DO ITEM | Nº DA PEÇA | QTD. |
|------------|------------------|------|
| 1 | LATERAL TRASEIRA | 1 |
| 2 | DOBRADIÇA | 5 |
| 3 | SUPORTE 1 | 3 |
| 4 | MOLA GÁS | 2 |
| 5 | DOBRADIÇA 2 | 5 |
| 6 | SUPORTE 2 | 2 |

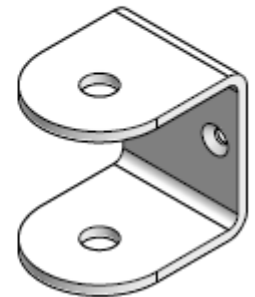
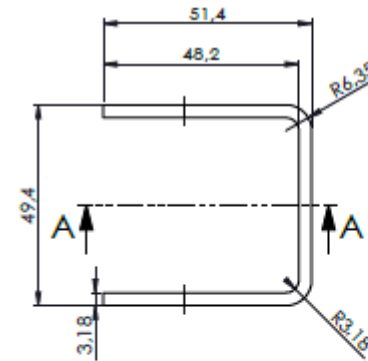


SEÇÃO A-A

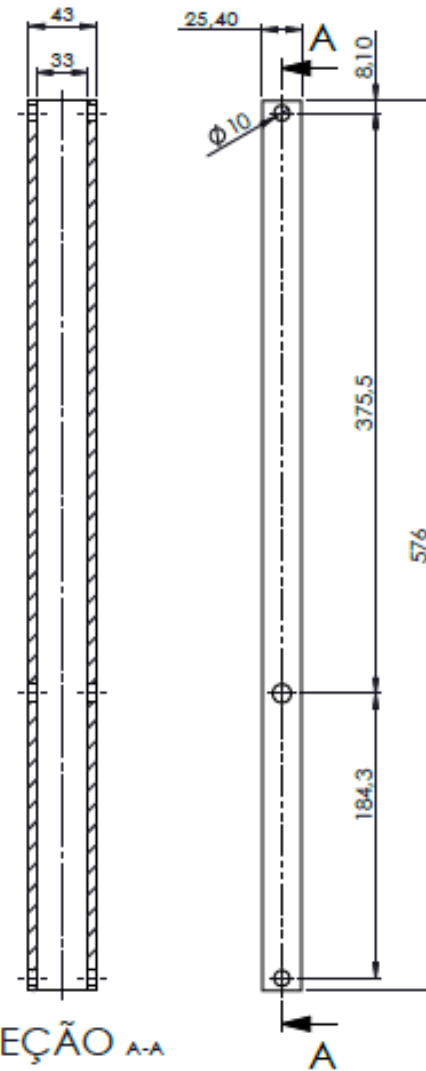
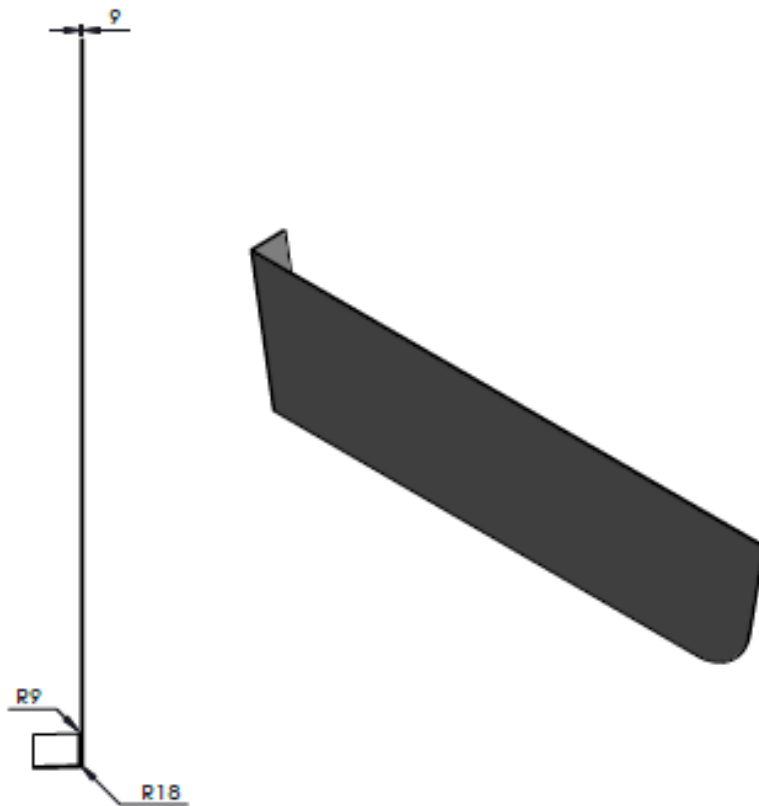
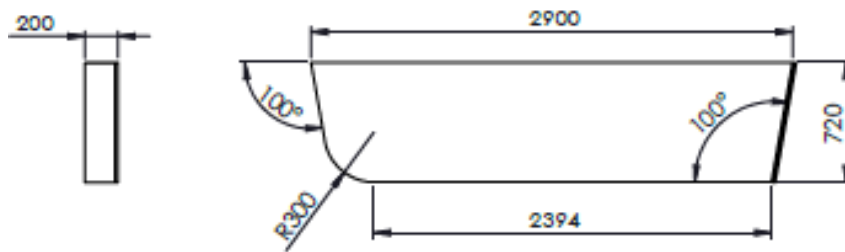


DETALHE B

ESCALA 2:1



MODELAMENTO



CUSTOS

Produto

| COMPONENTES | | | |
|---|------------|------------------|----------------------|
| Item | Quantidade | Custo (unitário) | Investimento |
| Parafuso allen M20 x 2.50 x 30 DIN 7991 | 60 | R\$ 13,00 | R\$ 780,00 |
| Porca sextavada M20 x 2.50 | 60 | R\$ 1,71 | R\$ 102,60 |
| Arruela de pressão M20 - Aço mola | 60 | R\$ 0,64 | R\$ 38,40 |
| Arruela lisa M20 | 60 | R\$ 0,55 | R\$ 33,00 |
| Chapa de aço 1020 6,35 x 3000 x 1200 mm | 1 | R\$ 1.700,00 | R\$ 1.700,00 |
| Adesivo químico epóxi para metais | 1 | R\$ 36,00 | R\$ 36,00 |
| Anel elástico externo E-10 – Aço mola | 12 | R\$ 0,21 | R\$ 2,52 |
| Tubo quadrado 25 X 25 x 1.50 mm (6 m) | 2 | R\$ 80,67 | R\$ 161,34 |
| Tarugo aço 1020 Ø12 mm (6 m) | 1 | R\$ 47,60 | R\$ 47,60 |
| Chapa polimérica 15 x 4000 x 1300 mm | 6 | R\$ 2.641,86 | R\$ 15.851,16 |
| Investimento total | | | R\$ 18.752,62 |

| MANUFATURA | | | |
|---------------------------|----------------|-----------------------------|---------------------|
| Processo de fabricação | Custo por hora | Tempo de fabricação [horas] | Investimento |
| Jato d'água | R\$ 120,00 | 3 | R\$ 360,00 |
| Dobramento | R\$ 100,00 | 4 | R\$ 400,00 |
| Termoformagem | R\$ 200,00 | 1 | R\$ 200,00 |
| Montagem | R\$ 100,00 | 2 | R\$ 200,00 |
| Investimento total | | | R\$ 1.160,00 |

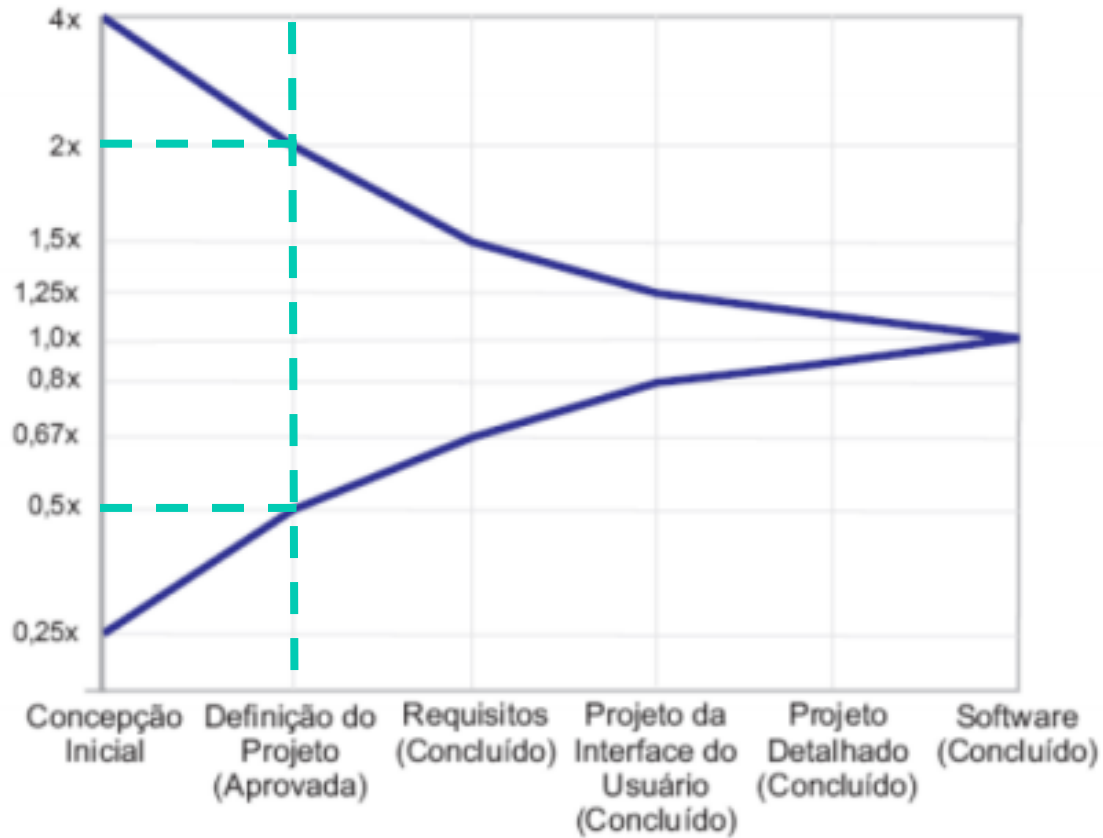
R\$ 19.912,62

Desenvolvimento

| Item | Quantidade (meses) | Custo (mês) | Investimento |
|------------------------------|--------------------|--------------|----------------------|
| Engenheiro mecânico | 10 | R\$ 8.483,00 | R\$ 84.830,00 |
| Desenvolvedor de aplicativos | 2 | R\$ 4.670,00 | R\$ 9.340,00 |
| Investimento total | | | R\$ 94.170,00 |

CUSTOS

Fonte: Agile Momentum



| Variação | Custo do produto |
|----------|------------------|
| 2x | R\$ 39.825,24 |
| 1x | R\$ 19.912,62 |
| 0,5x | R\$ 9.956,31 |

ESTUDO DE CASO



- Percurso diário: 320 km
- Dias úteis no mês: 22 dias
- Consumo médio: 2,5 km/litro
- Custo do óleo diesel: 3,70 reais/litro



$$V_{comb} = \frac{320}{2,5} * 22 = 2816 \frac{\text{litros}}{\text{mês}}$$

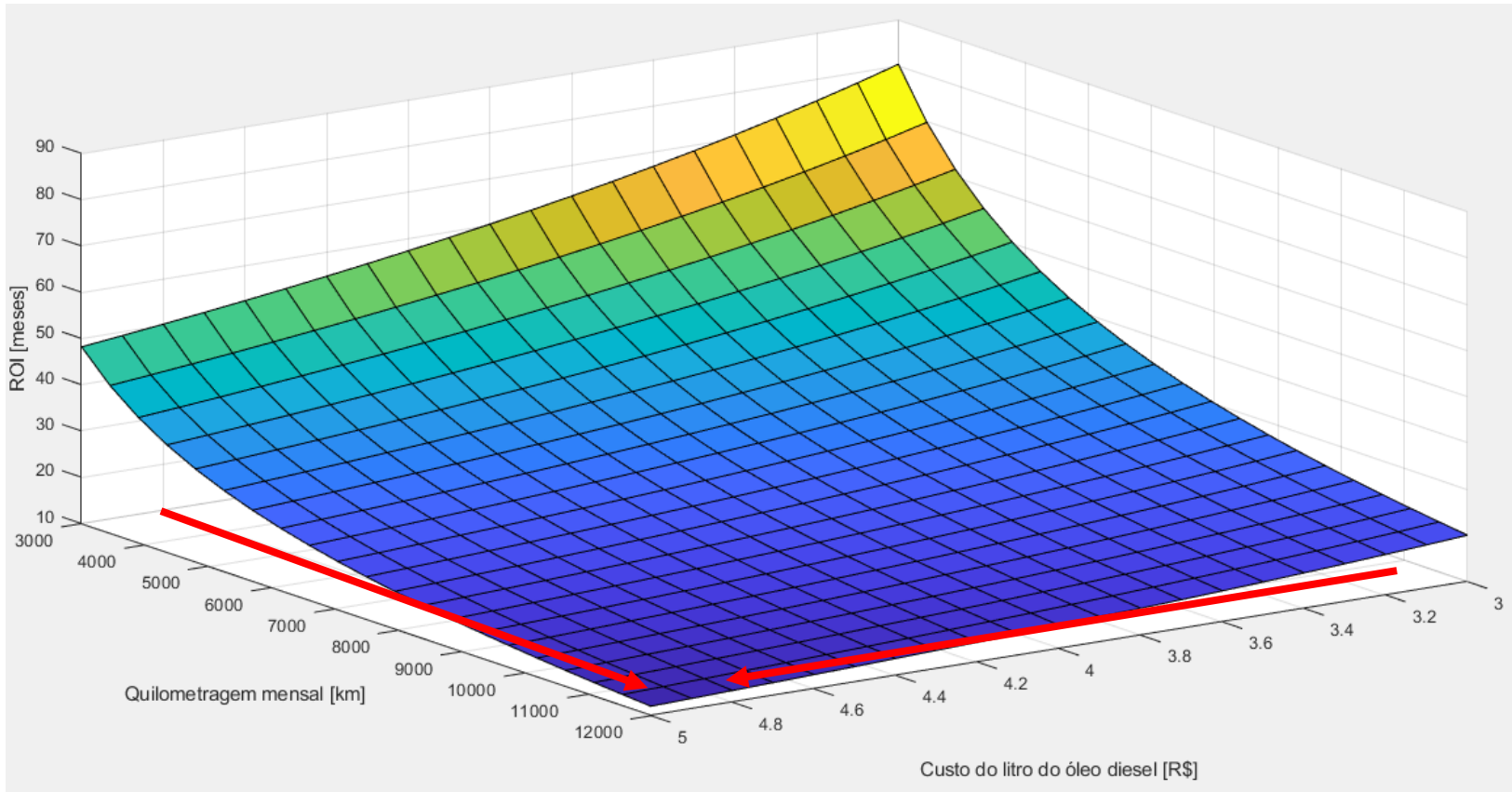
$$Consumo_{ótimo} = 2,5 * 1,073965 = 2,69 \frac{\text{km}}{\text{l}}$$

$$V_{comb_{ótimo}} = \frac{320}{2,69} * 22 = 2617 \frac{\text{litros}}{\text{mês}}$$

$$Economia = (2816 - 2617) * 3,70 = 736,3 \frac{\text{reais}}{\text{mês}}$$

ROI em \cong 27 meses

ESTUDO DE CASO

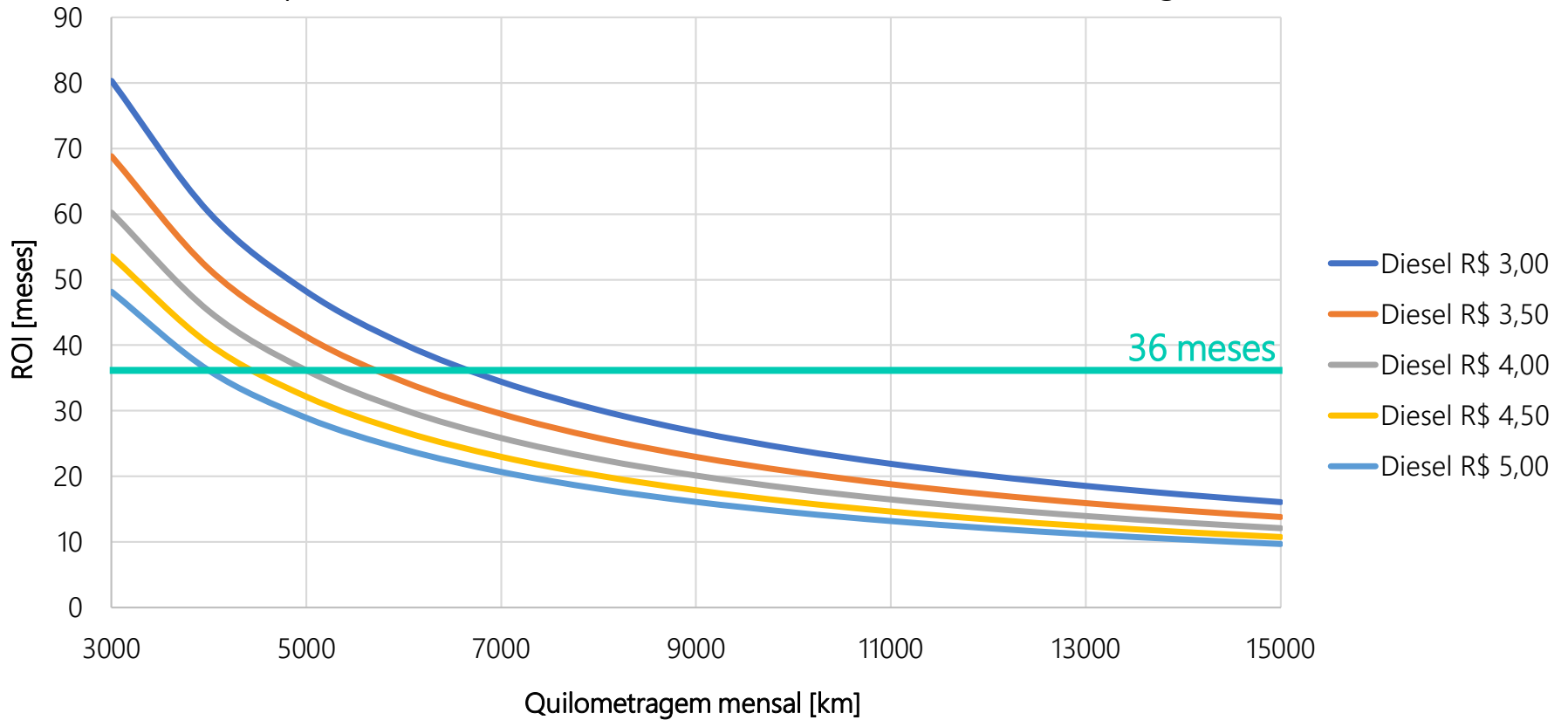


Fonte: dos autores

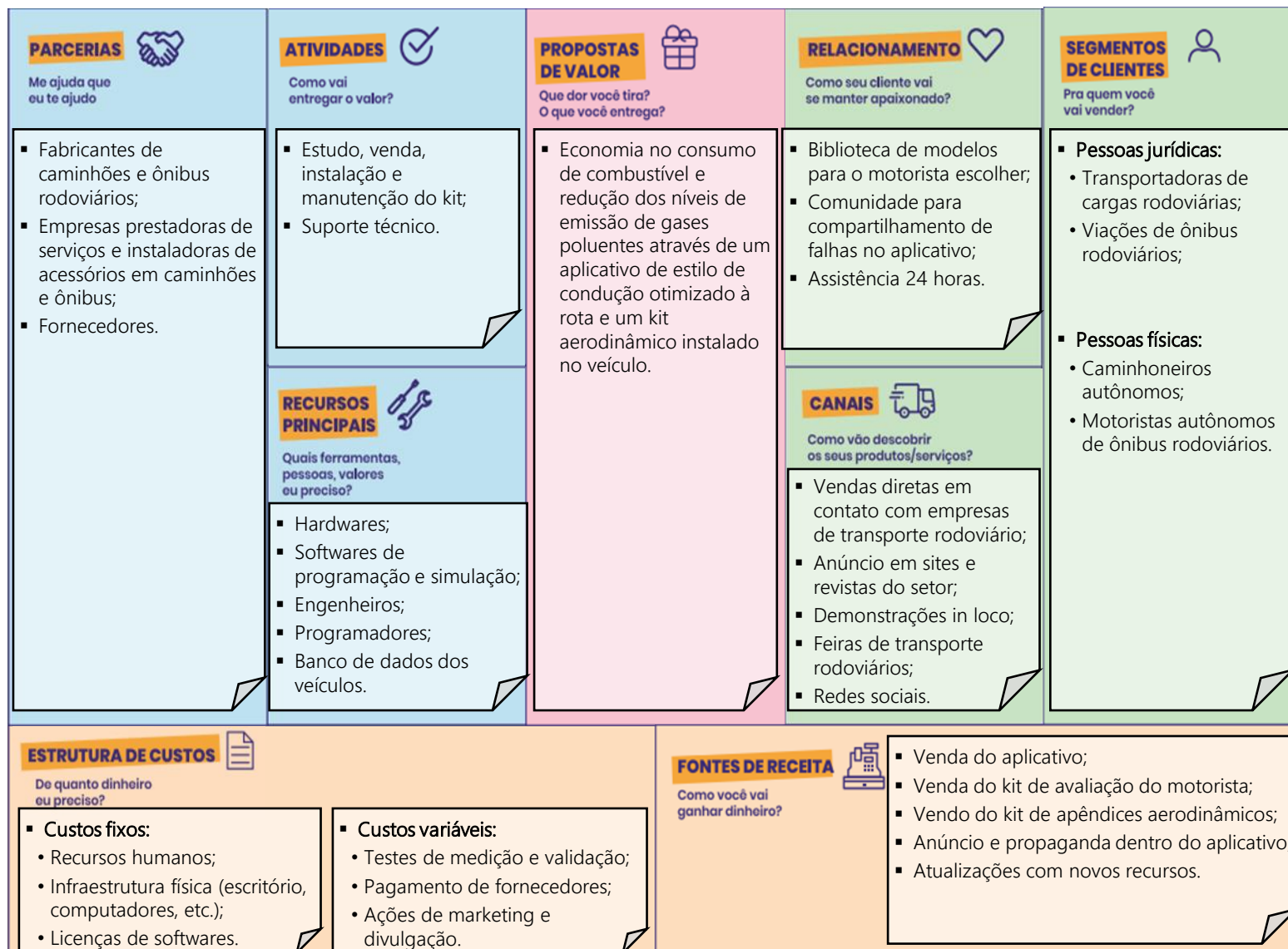
$$ROI = \frac{Custo_{KIT_COORDriving}}{\left(\frac{Km_{mensal}}{Consumo_{anterior}} - \frac{Km_{mensal}}{Consumo_{ótimo}} \right) * Custo_{diesel}}$$

ESTUDO DE CASO

Tempo de retorno sobre o investimento do kit COORDriving



BUSINESS MODEL CANVAS



CONTATO



coordriving@gmail.com



<https://coordriving.web.app>

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARRUDA JUNIOR, J. DA S. **Desenvolvimento de um método para redução do consumo de combustível no transporte rodoviário de cargas. Capacitação, aplicações de torque e telemetria para veículos pesados.** Jul. 2014. Dissertação de Mestrado em Transportes, Publicação T.DM – 013A/2014, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 95p.

BARRETO, M. A. Z.; PERESTRELO, L. T. **New Transmissions Concepts.** 16º Simpósio SAE Brasil de Powertrain, 2018.

BARTH, M., AN, F., YOUNGLOVE, T., LEVINE, C., SCORA, G., ROSS, M., WENZEL, T. **Development of a comprehensive modal emissions model.** National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board of the National Academies, 2000.

BEUSEN, B.; BROEKX, S.; DENYS, T.; BECKX, C.; DEGRAEUWE, B.; GIJSBERS, M.; SCHEEPERS, K.; GOVAERTS, L.; TORFS, R. and PANIS, L. I. **Using on-board logging devices to study the longer-term impact of an eco-driving course.** Transportation Research Part D: Transport and Environment 14: 514-520, 2009.

BRASIL, Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Código de Trânsito Brasileiro (CTB).** Lei Nº 9.503 de 23 de Setembro de 1997. Brasília, 1997.

CARVALHO, L. G. S.; SETTI, J. R. **Construção de perfis de velocidade de caminhões utilizando filtro gaussiano e regressões lineares em dados de GPS.** 29 Out. 2017. Departamento de Engenharia de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

CURRY, T.; LIBERMAN I.; HOFFMAN-ANDREWS L.; LOWELL D. **Reducing Aerodynamic Drag & Rolling Resistance from Heavy-Duty Trucks: Summary of Available Technologies & Applicability to Chinese Trucks.** M.J. Bradley & Associates LLC, 2012.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DEMARCHI, S. H.; DE MELO, R. A.; SETTI, J. R. A. **Validação de um modelo de desempenho de caminhões em rampas ascendentes.** Universidade Estadual de Maringá; Universidade de São Paulo.

DNIT. **Quadro de fabricante de veículos.** Diretoria de Infra-Estrutura Rodoviária; Coordenação Geral de Operações Rodoviárias, 2012.

ECMT (2005), European Conference of Ministers of Transport. **Making cars more fuel efficient.** Technology for Real Improvements on the Road, International Energy Agency, Paris, 2005.

GASPAR,P.; NEMETH, B. **Design of adaptative cruise control for road vehicles using topographic and traffic information.** 24 Ago. 2014. Proceedings of the 19th World Congress The International Federation of Automatic Control Cape Town, South Africa.

GILLESPIE, T. D. **Fundamentals of vehicle dynamics.** Warrendale, PA, USA: SAE - Society of Automotive Engineers, 1992.

HE, D.; HE, W.; SONG, X. **Efficient predictive cruise control of autonomous vehicles with improving ride comfort and safety.** SAGE Publications Journal, 2020.

IVARSSON, M.; ÅSLUND, J.; NIELSEN, L. **Look-ahead control - Consequences of a non-linear fuel map on truck fuel consumption.** Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, v. 223, n. 10, p. 1223–1238, 2009.

KOTSIALOS, A.; PAPAGEORGIOU, M. **Motorway network traffic control systems.** European Journal of Operational Research, 2004.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

NANNI, B. B.; MENDES, A. DE S.; PEREIRA, M. C.; LEONARDI, F. **Análise comparativa das abordagens quase-estáticas e dinâmica na otimização dos perfis de velocidade de veículos pesados.** Centro Universitário da FEI; Universidade Católica Dom Bosco, 2019.

PFEIFER, A. A.; LOBATO F.S. **Controle ótimo de sistemas algébrico-diferenciais chaveados usando o algoritmo de busca gravitacional.** TEMA Tend. Mat. Apl. Comput., 14, No. 1, 81-94, 2013.

RAGATZ, A.; THORNTON, M. **Aerodynamic Drag Reduction Technologies Testing of Heavy-Duty Vocational Vehicles and a Dry Van Trailer.** National Renewable Energy Laboratory, 2016.

RAJAMANI, R. **Vehicle Dynamics and Control.** 2nd edition. Minneapolis, MN 55455, USA: Springer, 2012.

RAKHA, H. A.; AHN, K.; MORAN, K.; SAERENS, B.; VAN DEN BULCK, E. **Virginia tech comprehensive power-based fuel consumption model: model development and testing.** Transp Res Part D 16 (7), 492–503, 2011.

RAKHA, H.; LUCIC, I.; DEMARCHI, S.H.; SETTI, J.R.; VAN AERDE, M. **Vehicle dynamics model for predicting maximum truck acceleration levels.** Journal of Transportation Engineering 127, 418–425, 2001.

SOUZA, L. P. **Um modelo para análise da compatibilidade de tráfego entre um caminhão ou uma combinação de veículos de carga e um trecho de rodovia.** 2009. Departamento de Engenharia de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

THITIPATANAPONG, R. **Effects of A Vehicle's Driver Behavior to The Fuel Economy.** The 7th International Conference on Automotive Engineering (ICAЕ-7), 2011.

VAN DER VOORT, M.; DOUGHERTY, M. S.; VAN MAARSEVEEN, M. **A prototype fuel-efficiency support tool.** Transportation Research Part C: Emerging Technologies 9, 279-296, 2001.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

WANG, J.; RAKHA, H. A. **Fuel consumption model for heavy duty diesel trucks: Model development and testing.** Transportation Research Part D: Transport and Environment, v. 55, 2017.

WONG, J.Y. **Theory of Ground Vehicles.** John Wiley & Sons, Inc, Chichester, 2001.

WU, J. e LIU, J. **A forecasting system for car fuel consumption using a radial basis function neural network.** Expert Systems With Applications, v. 39, n. 2, 1883–1888, 2012.

ZACHAROF, N., FONTARAS, G., CIUFFO, B., TSIKMAKIS, S. et al. **Review of in use factors affecting the fuel consumption and CO2 emissions of passenger cars;** EUR 27819 EN; doi:10.2790/140640.

COMO economizar no consumo de combustível da sua frota, gerando uma economia de R\$2mil por mês em cada caminhão. Frete com lucro. 01 mai. 2017. Disponível em: <https://fretecomlucro.com.br/consumo-de-combustivel/>. Acesso em 25 mar. 2020.

CONHEÇA aqui os 6 principais tipos de caminhões existentes. Blog Logística. 29 nov. 2017. Disponível em: <https://www.bloglogistica.com.br/mercado/conheca-aqui-os-6-principais-tipos-de-caminhao-existentes/>. Acesso em 26 mar. 2020.

CONSUMO de diesel: Fatores que contribuem para excesso de consumo em frotas. SStelemática. 12 jul. 2017. Disponível em: <https://sstelematica.com.br/consumo-de-diesel-fatores-que-contribuem/>. Acesso em 25 mar. 2020.

DIREÇÃO econômica: De olho no conta-giros do caminhão. Carga Pesada. 07 mai. 2018. Disponível em: <https://cargapesada.com.br/2018/05/07/direcao-economica-de-olho-no-conta-giros-do-caminhao/#prettyPhoto>. Acesso em 25 mar. 2020.

FORD to offer fuel-saving cylinder deactivation tech for 1.0 litre ecoboost; Global first for a 3-cylinder engine. Ford media center. 29 nov. 2016. Disponível em: <https://media.ford.com/content/fordmedia/feu/en/news/2016/11/29/ford-to-offer-fuel-saving-cylinder-deactivation-tech-for-1-0-lit.html>. Acesso em 11 abr. 2020.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FROTA de caminhões no Brasil está com idade média de 12 anos. Brasil Caminhoneiro. 01 out. 2018. Disponível em: <https://brasilcaminhoneiro.com.br/frota-idade-media-12-anos/>. Acesso em 23 mar. 2020.

HYBRID energy management of the New Mercedes C-Class. Car Engineer. 17 Abr. 2014. Disponível em: <http://www.car-engineer.com/hybrid-energy-management-new-mercedes-c-class/>. Acesso em 09 abr. 2020.

IDADE média de caminhões no Brasil é considerada alta. Fetropar. 08 jul. 2016. Disponível em: <https://fetropar.org.br/idade-media-de-caminhoes-no-brasil-e-considerada-alta/>. Acesso em 23 mar. 2020.

PREDICTIVE Powertrain Control. Mercedes Benz. Disponível em: https://mercedes-benz-trucks.com/en_GB/models/actros/efficiency/predictive-powertrain-control.html. Acesso em 11 abr. 2020.

QUAL a velocidade ideal de tráfego para os caminhões da minha frota? Econômica Telemetria. 10 jul. 2019. Disponível em: <https://cutt.ly/cf4NCjH>. Acesso em 26 set. 2020.

QUAL a velocidade ideal dos caminhões. Guia do TRC. 13 dez. 2013. Disponível em: <http://www.guiadotrc.com.br/noticias/not.asp?ID=26455>. Acesso em 26 set. 2020.

SCANIA Driver Support: instrutor 100% à disposição. Caminhões e carretas. 27 ago. 2014. Disponível em: <https://www.caminhoes-e-carretas.com/2014/08/scania-driver-support-instrutor-100.html>. Acesso em 13 abr. 2020.

SISTEMA da Bosch desliga o motor nas desacelerações. Auto Estrada. 09 jan. 2014. Disponível em: <https://www.autoestrada.com.br/post/8-colunas/8-roda-livre/20-sistema-da-bosch-desliga-o-motor-nas-desacelerações>. Acesso em 18 nov. 2020.

SOLUÇÕES Scania. Scania. Disponível em: <https://solucoesscania.com.br/servicos/driver-services/>. Acesso em 13 abr. 2020.