

CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI
ERIC HENRIQUE ARAUJO EMMERICH
FELIPE VALENTE
LUCAS HENRIQUE DOS SANTOS
MARCELO ANTONIO DA SILVA
PEDRO GUILHERME PIRILLO
RENATO DANTES FACCIROLI FILHO
TIAGO LUIS GARCIA
VITOR DICIERI GORZYNSKI

STREAM TRUCK: Redução da Força de Resistência Aerodinâmica em
Semirreboques

São Bernardo do Campo

2022

ERIC HENRIQUE ARAUJO EMMERICH
FELIPE VALENTE
LUCAS HENRIQUE DOS SANTOS
MARCELO ANTONIO DA SILVA
PEDRO GUILHERME PIRILLO
RENATO DANTES FACCIROLI FILHO
TIAGO LUIS GARCIA
VITOR DICIERI GORZYNSKI

STREAM TRUCK: Redução da Força de Resistência Aerodinâmica em
Semirreboques

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Centro Universitário FEI,
como parte dos requisitos necessários
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Mecânica Automobilística.
Orientado pelo Prof. Me. Jairo de Lima
Souza.

São Bernardo do Campo

2022

Stream Truck : redução da força de resistência aerodinâmica em semirreboques / Eric Henrique Araujo Emmerich...[et al.]. São Bernardo do Campo, 2022.

64 p. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso - Centro Universitário FEI.
Orientador: Prof. Me. Jairo de Lima Souza.

1. Aerodinâmica. 2. Economia de combustível. 3. Semirreboque. I. Araujo Emmerich, Eric Henrique. II. Valente, Felipe. III. Santos, Lucas Henrique dos. IV. Silva, Marcelo Antonio da. V. Pirillo, Pedro Guilherme. VI. Faccirolli Filho, Renato Dantes. VII. Garcia, Tiago Luis. VIII. Souza, Jairo de Lima, orient. IX. Título.

Elaborada pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da FEI com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Eric Henrique Araujo Emmerich
Felipe Valente
Lucas Henrique Dos Santos
Marcelo Antonio Da Silva
Pedro Guilherme Pirillo
Renato Dantes Faccirolli Filho
Tiago Luis Garcia

STREAM TRUCK: Redução da Força de Resistência Aerodinâmica em
Semirreboques

Trabalho de Conclusão de Curso,
apresentado ao Centro Universitário FEI,
como parte dos requisitos necessários
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia de Produção.

Comissão julgadora

Orientador e Presidente

Examinador (1)

Examinador (2)

São Bernardo do Campo

2022

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de começar agradecendo nossos familiares e amigos que, mesmo em meio a todas as dificuldades e obstáculos, nunca nos abandonam. Eles foram os responsáveis pelo apoio incondicional que nos deu forças e são o porto seguro que nos acolhem quando precisamos.

Agradecemos ao nosso orientador Prof. Me. Jairo de Lima Souza pelo apoio, confiança e conhecimento transmitido durante todo o ciclo de projeto. Ao Prof. Me. Marco Antonio Zanussi Barreto, que nos acompanhou durante todo o desenvolvimento de projeto. Ao Prof. Dr. Cyro Albuquerque Neto que nos auxiliou em um momento crítico ao projeto.

Um agradecimento também a todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para realização deste trabalho, mesmo que não citados nominalmente.

RESUMO

Atualmente o transporte rodoviário representa mais de 50% da matriz de transportes brasileira. Como consequência, há um elevado custo de combustível para transporte de mercadorias em um país com dimensão continental, sendo uma das maiores parcelas do custo de frete. O consumo de combustível está diretamente relacionado à força de resistência aerodinâmica em caminhões, principalmente em condições de rodovia. Por esta razão, visando tecnologias que melhorem o desempenho aerodinâmico em semirreboques, desenvolveu-se o projeto Stream Truck. O projeto visa proporcionar implantes simples, de fácil instalação e fácil uso, porém eficientes na proposta de redução de força para maior eficiência energética. Houve uma pesquisa de mercado e academia para entender as propostas atuais para este problema, obtendo soluções analisadas, incrementadas e simuladas. Foram levadas em consideração possíveis combinações e os limites regulamentários do Brasil. O foco do trabalho é encontrar uma solução que una a eficiência na solução do problema com baixo custo e baixa complexidade de uso.

Palavras-chave: Aerodinâmica. Economia de combustível. Semirreboque.

ABSTRACT

Currently, highway network constitutes more than 50% of Brazilians' transport matrix. As a consequence, there is an elevated fuel cost to merchandise transportation in a continental size country, being one of the largest portions of freight cost. Fuel consumption is directly related at the aerodynamics drag force on trucks, especially in road conditions. For this reason, aiming at technologies that improve aerodynamics performance on semi-trailers, Stream Truck project was developed. This project aims to provide simple implants, easy to install and use, although efficient in force reduction for greater energetic efficiency. It was conducted a market and academic inquiries to understand the current recommendations for this problem, obtaining solutions that were analyzed, increased and simulated. It was taken into consideration possible combinations and regulatory restrictions from Brazil. The study focus is to come up with a solution that merge the efficiency on the problem's solution with a lower cost and low complexity of use.

Keywords: Aerodynamics. Energetic Efficiency. Fuel economy. Semi-trailer. Device.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Matriz de Transportes no mundo em 2019	11
Figura 2 - Organograma.....	14
Figura 3 - Side Skirt Segmentada	18
Figura 4 - Trailer Tail	18
Figura 5 - Gap Fairing	19
Figura 6 - Wheel Cover	20
Figura 7 - Vortex Generators na traseira de um semirreboque	21
Figura 8 - Storyboard	23
Figura 9 - Boundary Diagram	24
Figura 10 - Engenharia Reversa	26
Figura 11 - FAST Diagram	28
Figura 12 - P-Diagram.....	28
Figura 13 - DFMEA	30
Figura 14 - Canvas de Projeto.....	31
Figura 15 - Fluxograma do Cálculo de Melhoria.....	32
Figura 16 - Dimensões Scania G400 LA4x2	33
Figura 17 - Forças atuantes em um veículo	35
Figura 18 - Diagrama de coeficiente de resistência ao rolamento.....	37
Figura 19 - Modelo 3D.....	38
Figura 20 - Vista isométrica linhas de fluxo de ar na simulação baseline	39
Figura 21 - Zonas de pressão na simulação baseline	40
Figura 22 - Perfil de velocidades na simulação baseline.....	40
Figura 23 - Vista isométrica das linhas de fluxo de ar na simulação Stream Truck.....	41
Figura 24 - Zonas de pressão na solução Stream Truck.....	41
Figura 25 - Perfil de velocidade na solução Stream Truck	42
Figura 26 - Relações de Transmissão Scania G400 LA4x2	43
Figura 27 - Break Specific Fuel Consumption – BSFC.....	44
Figura 28 - Isométrica do Vortex Generator	47
Figura 29 - 2D do Vortex Generator	48
Figura 30 - Isométrica do Gap Fairing.....	49
Figura 31 - 2D do Gap Fairing.....	49
Figura 32 - Fita 3M™ VHB™ LSE-060WF	50

Figura 33 - Ficha Técnica Fita 3M™ VHB™ LSE-060WF	50
Figura 34 - Vista Frontal do Gap Fairing	51
Figura 35 - Detalhe do suporte do gap fairing	52
Figura 36 - 2D do suporte do gap fairing	52
Figura 37 - Resultados do cone da incerteza	55
Figura 38 - Canvas de Negócios	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Vendas de Veículos no Brasil	12
Tabela 2- Distribuição do consumo de energia a diferentes velocidades.....	13
Tabela 3 - Requisitos de Engenharia do Projeto	17
Tabela 4 - Matriz de Decisão.....	22
Tabela 5 - Lista de Componentes e Funções.....	27
Tabela 6 - Classificação das funções dos componentes.....	27
Tabela 7 - Matriz de Confirmação	29
Tabela 8 – Resultados da simulação Baseline.....	39
Tabela 9 - Resultados da simulação Stream Truck.....	40
Tabela 10 - Resultados de simulação da Força de resistência aerodinâmica.....	45
Tabela 11 - Comparação de Consumo	46
Tabela 12 - Comparação de emissão de gás carbônico	46
Tabela 13 - Comparação de custo por quilômetro rodado	46
Tabela 14 - Coeficientes de Segurança dos parafusos.....	53
Tabela 15 - Custos de material	54
Tabela 16 - Economia mensal ao cliente	55
Tabela 17 - ROI.....	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

FENABRAVE	Federação Nacional da Distribuição de Veículos Automotores
ANFIR	Associação Nacional Fabricantes de Implementos Rodoviários
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
CONTRAN	Conselho Nacional de Trânsito
ONU	Organização das Nações Unidas
VG	Vortex Generators
FAST	Functional Analysis System Tree
DFMEA	Design Failure Mode and Analysis
VG	Vortex Generators
NACFE	North American Council for Freight Efficiency
m_{co2}	Massa de CO ₂ [kg]
b_s	Consumo [l/km]
ρ_c	Densidade do combustível [kg/L]
b_e	Consumo específico de combustível [g/kWh]
P_{motor}	Potência requerida do motor [kW]
v	Velocidade do veículo [km/h]
N_e	Potência efetiva [kW]
T_e	Torque necessário [Nm]
N	Rotação do motor [rpm]
N_{ft}	Relação de transmissão total
η_{ft}	Rendimento do conjunto de redução
r	Raio do conjunto roda e pneu
f_R	Coefficiente de resistência ao rolamento
W	Peso do veículo [N]
ρ	Densidade do ar [kg/m ³]
C_D	Coefficiente de arraste aerodinâmico
a_x	Aceleração [m/s ²]
A	Área Frontal [m ²]
θ	Inclinação da pista [°]
m	Massa do corpo [kg]
g	Aceleração da gravidade [m/s ²]
F_{ROL}	Força de resistência ao rolamento [N]

F _{AE} R	Força de resistência aerodinâmica [N]
F _{TRAT}	Força Trativa [N]
F _{GRAD}	Força de resistência ao gradiente [N]
F _{ACEL}	Força de aceleração [N]
IUPAC	União Internacional de Química Pura e Aplicada
BSFC	Break Specific Fuel Consumption
H	Molécula de Hidrogênio
C	Molécula de carbono
O	Molécula de oxigênio
ROI	Return of Investment
CNT	Confederação nacional do transporte
NACFE	North American Council for Freight Efficiency

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 CONTEXTUALIZAÇÃO	11
2.1 ANÁLISE DE MERCADO	11
2.2 CONTEXTO LOGÍSTICO	12
2.3 CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA	12
3 AVALIAÇÃO DE VIABILIDADE DE PRODUTO	14
3.1 ORGANOGRAMA	14
3.2 DESAFIO E PROPÓSITO	14
3.3 GOLDEN CIRCLE	15
3.4 ANÁLISE RÁPIDA DE VIABILIDADE	15
3.5 ANÁLISE DE LEGISLAÇÃO	15
3.6 REQUISITOS DE ENGENHARIA	16
3.7 BENCHMARKING	17
3.7.1 Side Skirts	17
3.7.2 Trailer Tail	18
3.7.3 Gap Fairing	19
3.7.4 Wheel Cover	19
3.7.5 Vortex Generators	20
3.8 MATRIZ DE DECISÃO	21
4 ANÁLISE DE ENGENHARIA	23
4.1 STORYBOARD	23
4.2 BOUNDARY DIAGRAM	23
4.3 ENGENHARIA REVERSA	24
4.4 FAST	26
4.5 P-DIAGRAM	28
4.6 MATRIZ DE CONFIRMAÇÃO	29
4.7 DFMEA	29
4.8 TARGET	30
4.9 CANVAS DE PROJETO	31
5 DESENVOLVIMENTO DE PROJETO	31

5.1 REQUISITOS DE ENGENHARIA A MELHORAR	32
5.2 FLUXOGRAMA DO CÁLCULO DE MELHORIA	32
5.3 CÁLCULO DA MELHORIA.....	33
5.3.1 Desenvolvimento Teórico.....	33
5.3.2 Dinâmica Veicular	35
5.3.3 Simulação	37
5.3.4 Equacionamento do sistema proposto	42
5.3.5 Cálculo de consumo	43
5.3.6 Cálculo de Emissão de Carbono.....	44
5.3.6 Custo por quilômetro rodado.....	45
5.3.7 Resultados	45
5.4 DESIGN FINAL DO PRODUTO	46
5.4.1 Design do Vortex Generator.....	46
5.4.2 Design final do Gap Fairing.....	48
5.4.3 Fixação do Vortex Generator	49
5.4.4 Fixação do Gap Fairing.....	50
6 CUSTOS	54
6.1 CUSTOS DE MATERIAL E PRODUÇÃO.....	54
6.2 CONE DA INCERTEZA.....	54
6.3 RETORNO SOBRE INVESTIMENTO	55
7 BUSINESS MODEL CANVAS	57
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
REFERÊNCIAS.....	59
ANEXO A – DFMEA	63
ANEXO B – Ficha Técnica: Scania G 400 LA4x2	64

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um país dependente do modal rodoviário no que diz respeito ao transporte de carga, tendo a maior representatividade deste modal dentro da matriz de transportes de um país no mundo, em torno de 61% (ILOS, 2019). Um evento que retratou o impacto deste modal na economia do país foi a greve dos caminhoneiros em 2018, onde o Brasil parou por 10 dias.

Com o Brasil caminhando em ritmo mais lento que o global em relação da eletrificação e uso de combustíveis alternativos, a aplicação de novas tecnologias que reduzam o consumo de combustíveis fósseis se faz necessária.

Um estudo feito pelo grupo Boston Consulting Group (BCG), em 2021, a pedido da Anfavea, indica que os veículos elétricos deverão atingir no máximo 10% de representatividade na venda total de veículos no Brasil em 2030. Em países como China, EUA e a União Europeia é projetado que os elétricos irão corresponder a 50% das vendas em 2026.

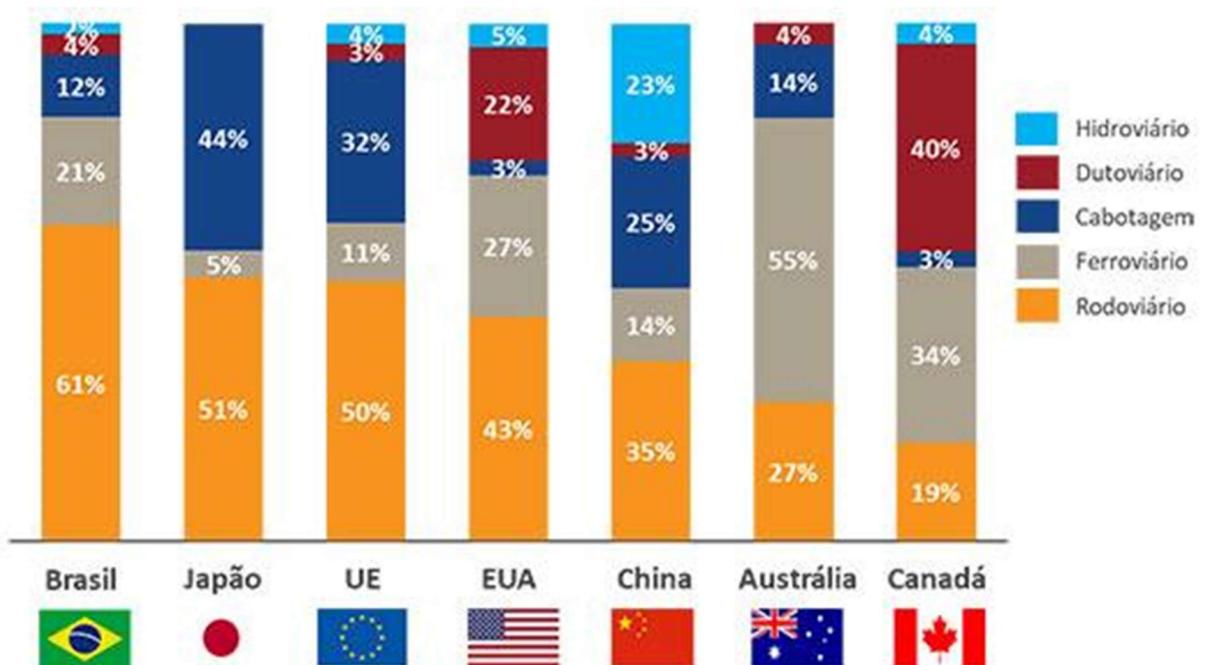
Neste sentido, buscar a melhoria da eficiência de um veículo pesado aparece de forma relevante para a economia do país e o meio ambiente.

2 CONTEXTUALIZAÇÃO

2.1 ANÁLISE DE MERCADO

O Brasil é um país de dimensões continentais, possuindo uma malha rodoviária com 1.720.700 km de extensão, e mais de 2,2 Mi de veículos autorizados ao transporte de carga (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE, 2019). Esta malha é de suma importante, quando se observa que o país se utiliza em sua maioria do modal rodoviário para o transporte de carga, conforme estudo abaixo feito pela ILOS, empresa especialista em logística.

Figura 1 - Matriz de Transportes no mundo em 2019



Fonte: ILOS, 2019

Mesmo em um cenário de incertezas, visto no mundo desde 2020 devido à pandemia, o Brasil tem visto um crescimento nas vendas de caminhões e implementos rodoviários, conforme relatado pela Fenabrave (2022).

Tabela 1 - Vendas de Veículos no Brasil

Segmentos	2021	2021	2021	2020	2020	Variação		
	Dez (A)	Nov (B)	Acumulado (C)	Dez (D)	Acumulado (E)	(A)/(B)	(A)/(D)	(C)/(E)
 A) Autos	156.146	125.967	1.557.957	194.626	1.615.528	23,96▲	-19,77▼	-3,56▼
 B) Com. Leves	37.409	35.049	416.474	38.118	335.226	6,73▲	-1,86▼	24,24▲
A + B	193.555	161.016	1.974.431	232.744	1.950.754	20,21▲	-16,84▼	1,21▲
 C) Caminhões	11.986	10.559	127.357	9.638	89.173	13,51▲	24,36▲	42,82▲
 D) Ônibus	1.538	1.371	17.766	1.551	18.219	12,18▲	-0,84▼	-2,49▼
C + D	13.524	11.930	145.123	11.189	107.392	13,36▲	20,87▲	35,13▲
Subtotal	207.079	172.946	2.119.554	243.933	2.058.146	19,74▲	-15,11▼	2,98▲
 E) Motos	112.403	106.496	1.157.369	98.822	915.473	5,55▲	13,74▲	26,42▲
 F) Impl. Rod.	8.154	7.007	90.398	7.355	67.392	16,37▲	10,86▲	34,14▲
Outros	9.987	9.742	129.756	12.971	121.643	2,51▲	-23,01▼	6,67▲
Total	337.623	296.191	3.497.077	363.081	3.162.654	13,99▲	-7,01▼	10,57▲

Fonte: FENABRAVE, 2022

Olhando para os implementos rodoviários, as vendas de semirreboques do tipo baú, que serão o objeto de estudo deste trabalho, cresceram aproximadamente 46% entre 2020 e 2021 (ANFIR, 2022).

2.2 CONTEXTO LOGÍSTICO

Em um trecho de 1000 km, o combustível representa cerca de 40% da despesa total do transporte (ESALQ-LOG, 2017), sendo o item de maior representatividade.

A cadeia logística tem visto o elemento de maior peso em seus custos sofrer forte aumento de preço. O preço médio do diesel aumentou 46,8% em 2021, em comparação com 2020, sendo o combustível que sofreu maior alta (ANP, 2022).

2.3 CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA

De toda a energia consumida pelas forças resistivas ao movimento do veículo, a aerodinâmica se destaca em veículos pesados rodoviários. Se um caminhão estiver trafegando a 80 km/h, a força de resistência aerodinâmica será responsável por 50% do consumo de energia do veículo, porcentagem que aumenta caso a velocidade do veículo também aumente.

Tabela 2- Distribuição do consumo de energia a diferentes velocidades

Vehicle Speed	Aerodynamic	Rolling & Accessories
32 km/h (20 mph)	28%	72%
53 km/h (33 mph)	33%	66%
64 km/h (40 mph)	36%	64%
80 km/h (50 mph)	50%	50%
96 km/h (60 mph)	62%	38%
105 km/h (65 mph)	67%	33%
113 km/h (70 mph)	70%	30%

Fonte: Review of Aerodynamic Drag Reduction Devices for Heavy Trucks and Buses, National Research Council Canada, 2012

A força resistiva aerodinâmica é influenciada pela densidade do meio, a área frontal, a velocidade do veículo e o coeficiente de arrasto aerodinâmico, conforme o equacionamento abaixo (Gillespie, 1992):

$$F = \frac{1}{2} C_x \rho A V^2$$

Para reduzir esta força de forma controlado, pode-se diminuir a área frontal ou o coeficiente de arraste aerodinâmico. Neste estudo, visando soluções que não alterem estruturalmente o semirreboque, optou-se por buscar soluções que trabalhem o coeficiente de arraste aerodinâmico.

Leves alterações na estrutura do veículo podem gerar mudanças significativas no comportamento aerodinâmico deste.

O foco deste estudo está em trabalhar pequenas mudanças que impactem a força resistiva aerodinâmica, estruturado como um projeto de negócios.

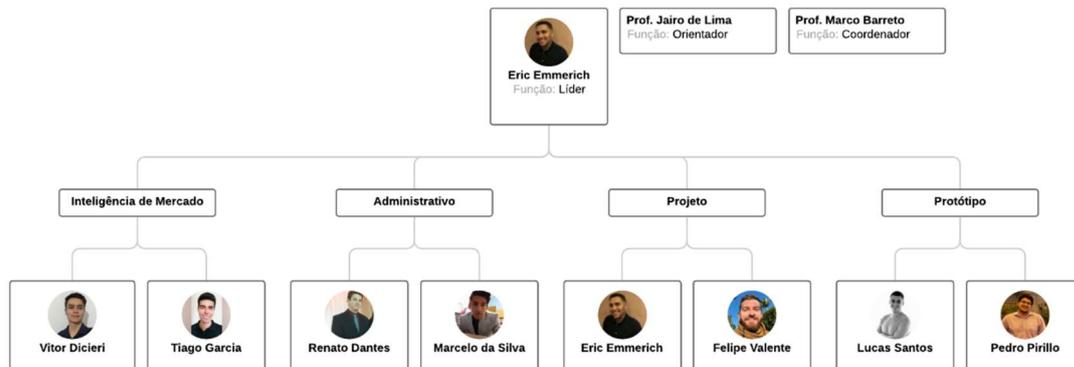
3 AVALIAÇÃO DE VIABILIDADE DE PRODUTO

Neste capítulo, será definido o escopo inicial do trabalho utilizando ferramentas para entender sua viabilidade e desenvolver a ideia principal.

3.1 ORGANOGRAMA

Primeiro foi definida uma estrutura entre os autores para melhor desenvolvimento do projeto.

Figura 2 - Organograma



Fonte: Autores, 2022.

3.2 DESAFIO E PROPÓSITO

Antes de qualquer análise foi feita de qual o desafio e o propósito do projeto, sendo:

- desafio: Grande Força de Resistência Aerodinâmica devido às regiões de alta turbulência aerodinâmica derivadas da própria geometria dos semirreboques;
- propósito: diminuir a Força de Resistência Aerodinâmica através do coeficiente de arrasto aerodinâmico para aumentar a eficiência energética do veículo.

3.3 GOLDEN CIRCLE

A técnica de Golden Circle, criada por Simon Sinek, busca definir o valor do projeto em desenvolvimento através de três perguntas fundamentais: “Por quê?”, “Como?” e “O que?”.

As respostas destas perguntas para esse projeto é:

- a) por quê: acreditamos que o eficiente também pode ser prático;
- b) como: o desenvolvimento de tecnologias para a proposta é fundamental para atender o propósito. Trazer não apenas eficiência, mas também design e de fácil utilização. Viabilizará a redução do consumo de combustível com uma maior eficiência aerodinâmica;
- c) o que: a diminuição do arraste aerodinâmico proporcionará às empresas de transporte reduções nas emissões de gases poluentes e custos devido à diminuição do consumo de combustível.

3.4 ANÁLISE RÁPIDA DE VIABILIDADE

Primeiro houve a definição da problemática a ser solucionada, sendo a alta força de resistência aerodinâmica.

Agora, procurou-se entender quem seriam os possíveis clientes que comprariam o produto. Esses seriam as grandes empresas logísticas, que possuem frotas volumosas.

Por último, a proposta de valor que justifica a compra aos clientes. Este projeto irá fornecer uma economia de combustível (L/R\$) ao cliente, que também poderá ter sua imagem associada a sustentabilidade.

3.5 ANÁLISE DE LEGISLAÇÃO

Aqui é analisado a legislação brasileira, visando entender quais os requisitos mínimos e limitações que se aplicam ao estudo. Para este estudo, leis que impactam no dimensionamento do veículo de carga e requisitos de segurança em suas modificações são importantes. As leis em vigor que irão impactar o projeto são:

- a) resolução CONTRAN n° 882 de 2021: limites de pesos e dimensões para veículos que transitem por vias terrestres;

- b) resolução CONTRAN n° 953 de 2022: requisitos técnicos de fabricação e instalação do protetor lateral para veículos de carga;
- c) resolução CONTRAN n° 916 de 2022: permissão de modificações em veículos.

Aqui os autores também estarão atentos a programas de incentivo à redução de emissões, tal qual a agenda 2030 da ONU.

3.6 REQUISITOS DE ENGENHARIA

Neste tópico o objetivo é identificar os propósitos do projeto e transformá-los em requisitos de engenharia a serem atendidos para solucionar os problemas em pauta.

O principal requisito e objetivo deste estudo é diminuir a força de resistência aerodinâmica.

Como consequência, o caminhão será mais eficiente, resultando em um menor consumo de combustível. Esta redução foi definida como o segundo requisito de engenharia a ser analisado.

Um menor consumo é o principal argumento de venda junto aos possíveis clientes, porém este vem acompanhado da redução no custo por quilômetro rodado. Aqui, definiu-se o terceiro requisito de engenharia estudado.

A sustentabilidade é ponto crucial no mundo e neste estudo. Visando olhar para ganhos que beneficiem o meio ambiente, definiu-se a redução nas emissões de carbono como o último requisito de engenharia.

A tabela 3 traz o resultado desse levantamento.

Tabela 3 - Requisitos de Engenharia do Projeto

Propósito do Projeto	Requisitos de Engenharia a melhorar
Obter menor turbulência do ar	Força de Resistência Aerodinâmica - F_{AER} (N)
Menor custo de combustível	Consumo de combustível (km/l)
Menor custo total de transporte	Custo por quilômetro rodado (R\$/km)
Redução nas emissões	Massa de poluentes por quilômetro rodado (g CO ₂ /km)

Fonte: Autores, 2022.

3.7 BENCHMARKING

3.7.1 Side Skirts

As Side Skirts são soluções utilizadas nos semirreboques para direcionar o fluxo de ar que passa na parte inferior deles. Atualmente, começou a ser adotada no mercado europeu.

Ela apresenta algumas vantagens, como melhorar o fluxo de ar na região mais crítica para semirreboques, além de não alterar as dimensões dele.

Segundo NACFE (2020), as saias laterais podem diminuir a força de resistência aerodinâmica em até 8%.

Há uma limitação com relação as dimensões e perfil da peça, devido aos diferentes posicionamentos de eixo. Outro ponto de atenção é o cumprimento à resolução CONTRAN n° 953 de 2022, que regulamenta a proteção lateral para veículos de carga.

Figura 3 - Side Skirt Segmentada



Fonte: CONFIDENCE REPORT: Trailer Aerodynamic Devices, NACFE, 2020.

3.7.2 Trailer Tail

O Trailer Tail é um dispositivo usado na parte traseira do semirreboque com o objetivo de otimizar o perfil aerodinâmico deles. A ideia é deixar o perfil mais próximo a um tipo gota, proporcionando uma diminuição das regiões de turbulência provocadas pelo descolamento da camada limite.

Segundo a NACFE (2020), os ganhos desta solução são em torno de 4%.

Porém, há uma limitação de geometria devido à resolução CONTRAN n° 882 de 2021, que trata as dimensões máximas para o veículo. Este modelo de implemento também causa algumas dificuldades nas operações de carga e descarga nas docas de carregamento. Deve-se atentar que o dispositivo precisa garantir a segurança de motoristas de outros veículos de transporte em casos de colisões traseiras nos semirreboques.

Figura 4 - Trailer Tail



Fonte: CONFIDENCE REPORT: Trailer Aerodynamic Devices, NACFE, 2020.

3.7.3 Gap Fairing

O Gap Fairing é um mecanismo localizado na parte frontal do semirreboque, no vão entre cavalo mecânico e semirreboque. Sua função é direcionar o fluxo de ar que incide na parte frontal, na direção oposta ao deslocamento do veículo.

Este implemento também é capaz de reduzir a zona de turbulência nesse vão sem alterar as dimensões do semirreboque. Entretanto, sua presença pode dificultar a articulação do cavalo mecânico.

Segundo o Brazilian Journal of Development (2019), esta solução traz redução de quase 7% no consumo de combustível.

Figura 5 - Gap Fairing



Fonte: CONFIDENCE REPORT: Trailer Aerodynamic Devices, NACFE, 2020.

3.7.4 Wheel Cover

Wheel Cover é uma cobertura anexa às rodas do veículo, para prevenir a quebra do fluxo de ar que acontece devido aos elementos de fixação dessa. Apresentam baixo acréscimo de massa e custo de produção, porém seu funcionamento proporciona um aquecimento no sistema de freios do semirreboque.

Figura 6 - Wheel Cover



Fonte: CONFIDENCE REPORT: Trailer Aerodynamic Devices, NACFE, 2020.

3.7.5 Vortex Generators

Vortex generators são peças de pequenas dimensões que podem ser posicionadas em diversos pontos do semirreboque. A função delas é evitar o descolamento da camada limite, mantendo um fluxo de ar laminar próximo a região traseira do veículo. Isso fará com que o fluxo turbulento seja deslocado para uma região onde não trará tanta resistência ao movimento do veículo e reduzindo a “região de esteira”.

Segundo a NACFE (2020), esta proposta traz uma redução na força de resistência aerodinâmica de ao menos 3%.

Figura 7 - Vortex Generators na traseira de um semirreboque



Fonte: Confidence Report: Trailer Aerodynamic Devices, NACFE, 2020.

3.8 MATRIZ DE DECISÃO

Utilizando as soluções encontradas no benchmarking, foi desenvolvido uma matriz de decisão para entender qual o benefício geral de cada proposta em cima de critérios definidos pelos autores.

Para cada critério foi atribuído um peso, pelo qual a nota da solução seria multiplicada no final, a fim de priorizar os critérios mais relevantes no resultado. Para as notas, utilizou-se uma escala de “-2” a “2”, onde “-2” é muito pior e “2” muito melhor, sendo o “0” a referência.

Nesta etapa, pretende-se analisar quais propostas possuem maior redução de força, acompanhada principalmente de um baixo custo e acréscimo de massa.

Cada solução foi comparada ao funcionamento de um semirreboque sem nenhum tipo de apêndice aerodinâmico, obtendo o resultado presente na tabela seguinte.

Tabela 4 - Matriz de Decisão

	Peso	Solução A Saia Lateral	Solução B Trailer Tail	Solução C Gap Fairing	Solução D Wheel Covers	Solução E Vortex Generator
Redução do Força de Resistência Aerodinâmica	3	1	2	1	0	1
Massa	2	-2	-2	-1	0	0
Fabricação	1	2	-2	1	2	1
Durabilidade	2	1	-1	2	-1	2
Impacto no tempo de carga e descarga	2	0	-2	0	0	0
Complexidade de Montagem	1	-1	-1	0	0	-1
Usabilidade	1	2	-1	2	0	2
Custo	2	-1	-2	-2	0	-1
Total		2	-12	4	0	7

Fonte: Autores, 2022.

Para o prosseguimento do trabalho, a decisão foi de seguir com as soluções de resultados positivos. Essas passarão por um próximo de aprimoramento e desenvolvimento teórico, e, após criação de modelo, serão simuladas individualmente e de forma combinada, a fim de se obter a melhor solução geral.

4 ANÁLISE DE ENGENHARIA

Este capítulo irá apresentar diversas ferramentas para detalhamento do produto, a fim de entender plenamente todos seus requisitos e funcionamento.

4.1 STORYBOARD

Para entender o funcionamento do sistema que se pretende implementar, será utilizada a ferramenta Storyboard.

O Storyboard é uma ferramenta que traz imagens para explicar o funcionamento de um sistema (INFOQ, 2015). A figura abaixo apresenta as etapas de funcionamento do sistema proposto nesse projeto.

Figura 8 - Storyboard



Fonte: Autores, 2022.

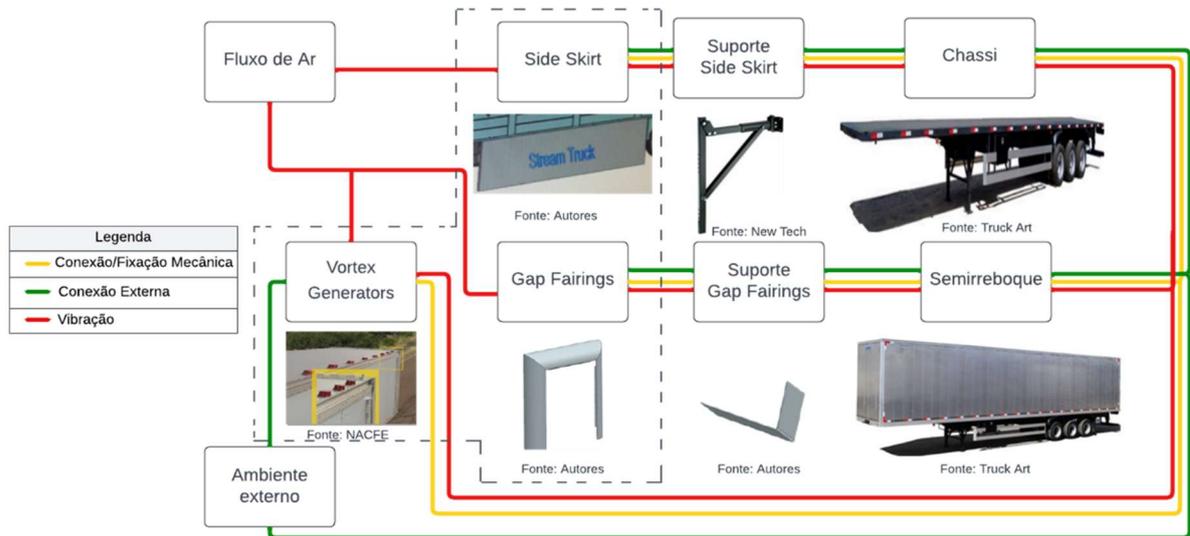
4.2 BOUNDARY DIAGRAM

O Boundary Diagram é uma ferramenta que auxilia a verificação da interação física entre conjuntos e componentes que compõem um sistema (DIETZ-CONSULTANTS, 2019).

Na Figura 9, é possível observar as conexões que fazem parte do sistema proposto. As linhas amarelas indicam as conexões puramente mecânicas, ponto de

partida neste estudo. As linhas verdes mostram as conexões ocorridas com o ambiente externo. As linhas vermelhas apontam as conexões por vibração no sistema.

Figura 9 - Boundary Diagram



Fonte: Autores, 2022.

4.3 ENGENHARIA REVERSA

Segundo Bolgenhagen (2003, p. 60) “A Engenharia reversa (ER) é uma técnica de desenvolvimento de produtos, cujo ponto de partida é um produto (ou protótipo) já construído”.

A side skirt estará sujeita a impacto lateral, portanto, é contemplada a resolução CONTRAN n° 953 de 2022.

O protetor lateral deve suportar uma força estática horizontal de 5 kN (quilo-Newton), aplicada perpendicularmente em pontos de sua superfície exterior através do centro de um dispositivo cuja face seja circular e plana, com 220 mm mais ou menos 10 mm de diâmetro. A deformação do protetor durante a aplicação da força não pode ser maior que:

- 30 mm nos 250 mm de comprimento nas extremidades traseira e dianteira do protetor; e
- 150 mm nas partes restantes do protetor. (CONTRAN, 2022)

Além disso, a mesma resolução contempla limitações quanto ao dimensionamento do projeto.

O protetor lateral não deve ultrapassar o plano correspondente à largura do veículo. A parte principal da superfície exterior do protetor lateral não deve estar a mais de 120 mm para dentro do plano correspondente à largura do veículo. A extremidade frontal deve ser dobrada para dentro, entre 50 mm e 100 mm, nos primeiros 100 mm [...]. As extremidades do protetor lateral, nos últimos 250 mm próximos aos pneus, devem estar no máximo a 30 mm para dentro em relação ao plano correspondente a largura do veículo ou, quando não houver esta referência, 30 mm à face externa do pneu medido na altura do protetor lateral [...]. Quando a cabine do veículo for mais larga que a carroceria, deve prevalecer a largura da carroceria (CONTRAN, 2022)

Visando atender os requisitos citados, o desenvolvimento da Side Skirt partirá da necessidade de adequar as suas características dimensionais e geométricas a um modelo base de semirreboque, tendo a norma como referência.

Com o intuito de simplificar o projeto e alterar o mínimo possível as características construtivas do semirreboque, os suportes da saia lateral serão os mesmos utilizados no protetor lateral de fábrica.

Para o Gap Fairing, que é uma carenagem instalada na região da frente do semirreboque que tem como intuito reduzir a área entre caminhão e semirreboque, por se tratar de uma região onde nenhuma norma prevê restrições quanto a dimensão, geometria ou possíveis impactos, o fator limitante para o seu desenvolvimento passa a ser uma possível redução da amplitude de articulação do cavalo mecânico. Com isso, será desenvolvida uma geometria que diminua o máximo possível do espaço entre caminhão e semirreboque sem interferir na amplitude de articulação do cavalo. A definição do material parte da premissa de que o componente não estará sujeito a grandes esforços, possibilitando a utilização de materiais com menor resistência mecânica e menor massa.

Os suportes do Gap Fairing, além da função de fixação, têm também a função de reduzir a vibração do componente, causada pela alta incidência de ar com o veículo em movimento. Portanto, a geometria e dimensão dos suportes são adequadas a geometria da carenagem e a necessidade de obter uma alta rigidez, com um material de alta resistência.

Os geradores de vórtex são dispositivos de controle de fluxo. O local onde serão instalados varia, porém, caso instalados no teto do semirreboque há uma preocupação em não ultrapassar os limites de altura previstos na resolução CONTRAN n° 882 de 2021. Suas características geométricas deverão ser desenvolvidas de forma com que o ar incida na região superior ou lateral do semirreboque e evite o descolamento da camada limite de ar para reduzir a turbulência e conseqüentemente a força de resistência aerodinâmica. Por se tratar de um dispositivo relativamente pequeno, não haverá grande adição de massa e o material não deverá ter alta resistência mecânica

Aqui foi feita uma relação de todos os componentes, considerando todos os pontos relevantes citados nesta seção.

Figura 10 - Engenharia Reversa



Componentes	Unidade	Gap Fairing	Suporte do Gap Fairing	Side Skirt	Suporte Side Skirt	Vortex Generator
Massa	Kg	35	8	80	40	1
Dimensoes Básicas	mm	3x - 1500x500x5	400x50x2	5000x1200x5	660x100x620 825x100x900	100x80x50
Material	#	Fibra de Vidro	Aço	Alumínio	Aço	Fibra de Vidro
Fornecedores	#	Juntec	Arcelor Mittal	Arcelor Mittal	New Tech	Juntec

Fonte: Autores, 2022.

4.4 FAST

O objetivo desta ferramenta é separar o produto em todas suas partes e analisá-las individualmente para descrever suas funções primárias e secundárias. Em uma segunda etapa, as funções serão classificadas em:

- a) importância: primária (P) ou secundária (S);
- b) relevância: relevante (+), irrelevante (0) ou não desejável (-);
- c) finalidade: uso (U) ou estética (E).

As duas tabelas a seguir mostram o resultado da aplicação do FAST para o objeto deste estudo.

Tabela 5 - Lista de Componentes e Funções

Componente		Função
1	Saia Lateral	Direcionar ar Absorver Impacto Aumentar Massa Gerar Vibração Valorizar Esteticamente
2	Gap Fairing	Alterar aerodinâmica Reduzir Gap Aumentar massa Gerar Vibração Valorizar Esteticamente
3	Suporte da Saia Lateral	Suportar Implemento Reduzir vibração Suportar esforços
4	Suporte do Gap Fairing	Suportar Implemento Reduzir vibração Aumentar massa
5	Vortex Generator	Direcionar Ar Alterar Aerodinâmica Valorizar Esteticamente

Fonte: Autores, 2022.

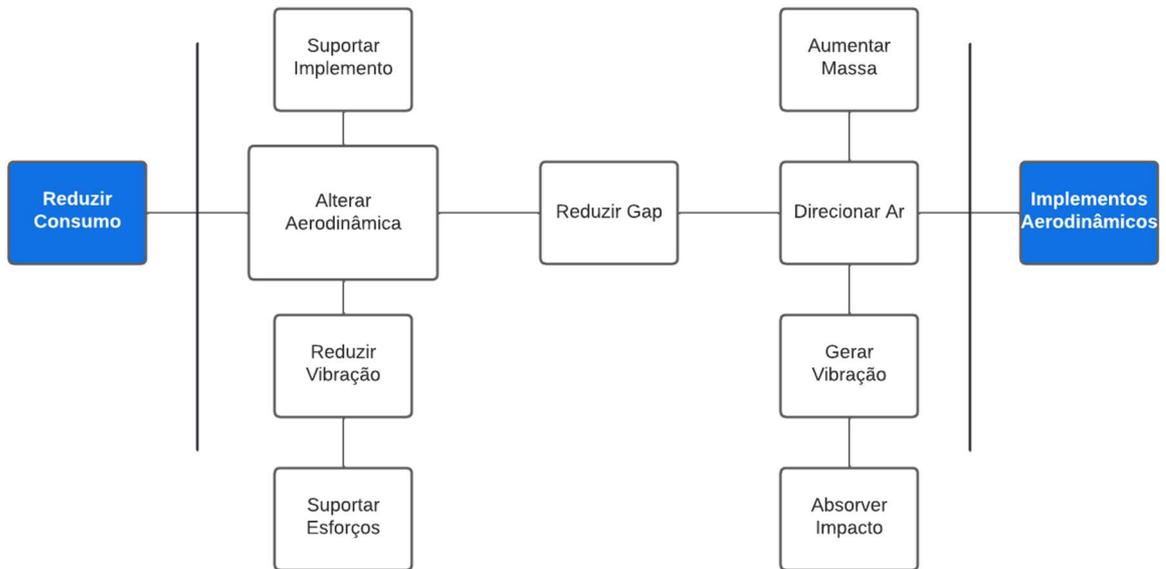
Tabela 6 - Classificação das funções dos componentes

Função	Classificação		
	B / S	+ / 0 / -	U / A
Direcionar ar	B	+	U
Alterar aerodinâmica	B	+	U
Suportar Implemento	B	+	U
Absorver Impacto	S	+	U
Aumentar Massa	S	0	U
Gerar Vibração	S	-	U
Valorizar Esteticamente	S	0	A
Reduzir Gap	S	+	U
Suportar Esforços	S	+	U
Reduzir vibração	S	+	U

Fonte: Autores, 2022.

Neste momento, foi utilizada as funções para criação de um diagrama FAST, representado na Figura 11.

Figura 11 - FAST Diagram



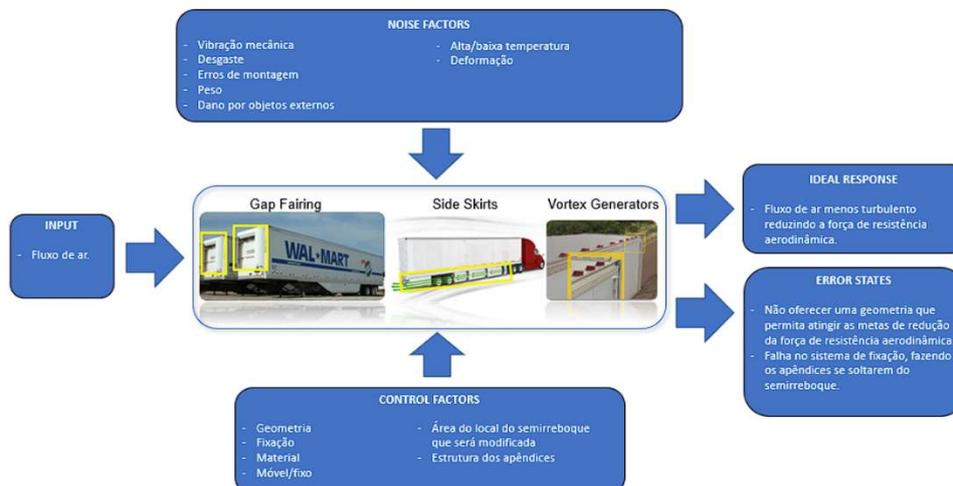
Fonte: Autores, 2022.

4.5 P-DIAGRAM

O diagrama de parâmetros, mais conhecido como P-Diagram, é uma etapa opcional que precede a criação do DFMEA. É uma ferramenta gráfica que descreve as entradas, saídas ruídos no sistema, fatores de controle e possíveis erros.

Na Figura 12, é apresentado o P-Diagram deste projeto.

Figura 12 - P-Diagram



Fonte: Autores, 2022.

4.6 MATRIZ DE CONFIRMAÇÃO

Após avançar no projeto e utilizando-se das ferramentas de engenharia, o grupo adquiriu um novo grau de maturidade que permitiu fazer uma nova matriz de decisão. Esta matriz de confirmação pretende afunilar mais as soluções de projeto e entender o resultado delas dentre suas possíveis combinações.

Abaixo está a matriz de confirmação feita, onde o resultado indica que a melhor solução a ser analisada é uma combinação entre Gerador de Vórtice e Gap Fairing.

Tabela 7 - Matriz de Confirmação

	Peso	Saia Lateral	Gap Fairing	VG	Saia Lateral + VG	Saia Lateral + Gap Fairing	VG + Gap Fairing	Solução completa
Redução do Força de Resistência Aerodinâmica	3	1	1	2	2	1	2	2
Massa	2	-2	-1	-1	-2	-2	-1	-2
Fabricação	1	2	1	2	1	1	2	1
Durabilidade	2	-1	2	2	-1	-1	2	1
Impacto no tempo de carga e descarga	1	0	0	0	0	0	0	0
Complexidade de Montagem	1	-2	0	0	-2	-2	0	-1
Usabilidade	1	2	2	2	2	2	2	2
Custo	2	-1	-2	-1	-1	-2	-1	-2
Total		-3	4	10	-1	-6	10	2

Fonte: Autores, 2022.

4.7 DFMEA

Derivação da Tecnologia FMEA, o DFMEA é uma utilizado para analisar os potenciais modos de falha que o design do projeto pode apresentar.

Segundo o manual de referência de FMEA:

O FMEA é uma metodologia analítica usada para assegurar que potenciais problemas tenham sido considerados e endereçados ao longo o processo de desenvolvimento do produto e do processo (APQP – Advanced Product Quality Planning). O resultado mais visível é a documentação do conhecimento coletivo dos times de diferentes funções.

Parte da avaliação e análise é a avaliação de risco. O ponto importante é que uma discussão seja conduzida a respeito do design (produto ou processo), revisão das funções e qualquer mudança na aplicação, e o resultando em risco de potencial falha. (REFERENCE MANUAL, 2008, p. 2)

A tabela abaixo é uma apresentação resumida do DFMEA do projeto Stream Truck. A tabela completa se encontra no Anexo A.

Figura 13 - DFMEA

Item	Function	Requirement	Potential Effect(s) of Failure	Severity	Potential Cause(s) of Failure	Occurrence	Detection	R	P	N	Recommended Action(s)
Gap Fairing	Aumentar Massa	Material adequado	Quebra do suporte	10	Excesso de carga	1	7	70			Cálculo Estrutural
Gap Fairing	Gerar Vibração	Dimensionamento correto	Quebra do componente	7	Fadiga	1	6	42			Cálculo de Fadiga
Gap Fairing	Reduzir Gap	Dimensionamento correto	Ineficiência na redução do arraste aerodinâmico		Extensa região de turbulência	1	6	42			CFD
Suporte do Gap Fairing	Reduzir vibração	Dimensionamento correto	Quebra do implemento	7	Fadiga	1	6	42			Cálculo de Fadiga
Vortex Generator	Direcionar ar	Dimensionamento correto	Ineficiência na redução do arraste aerodinâmico		Maior região de turbulência	1	6	42			CFD

Fonte: Autores, 2022.

4.8 TARGET

Diversos estudos realizados foram utilizados como referência para chegar em um valor percentual de redução da força de resistência aerodinâmica com uso dos implementos aerodinâmicos, objetos deste projeto, em semirreboques.

Segundo relatório da Freight Wing Second Generation Trailer Aerodynamics (2007), ao aplicar o Gap Fairing (Figura 5), a redução da força de resistência aerodinâmica pode chegar a 3,7%. Para o mesmo dispositivo, de acordo com a Review of Aerodynamic Drag Reduction Devices for Heavy Trucks and Buses (2012) os ganhos podem chegar até 7%.

Segundo a NACFE (2020) estimam que os geradores de vórtex (

Figura 7) possam gerar uma redução de até 3%.

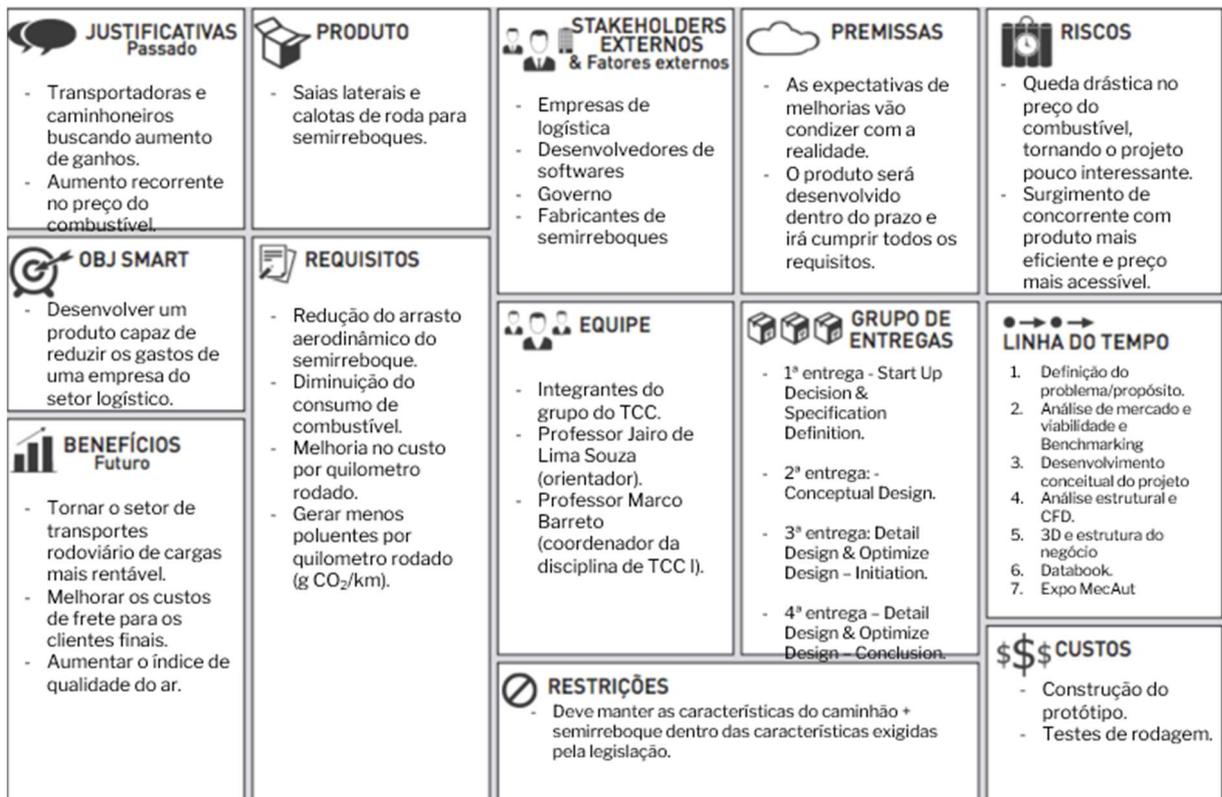
Levando em conta os estudos e dados citados, ficou estipulado uma redução da força de resistência aerodinâmica de 5%.

4.9 CANVAS DE PROJETO

O canvas de projeto é uma ferramenta que organiza toda a estrutura do projeto em diversos quadros, a fim de se ter uma visão macro do projeto, com fácil visualização dos pontos cruciais que o tangem.

O canvas é comumente estruturado utilizando os seguintes tópicos: justificativas, objetivo, benefícios, produto, requisitos, stakeholders, equipe, premissas, grupo de entregas, restrições, riscos, linha do tempo e custos.

Figura 14 - Canvas de Projeto



Fonte: Autores, 2022.

5 DESENVOLVIMENTO DE PROJETO

Este capítulo será dedicado ao desenvolvimento da solução que alcance o target proposto.

5.1 REQUISITOS DE ENGENHARIA A MELHORAR

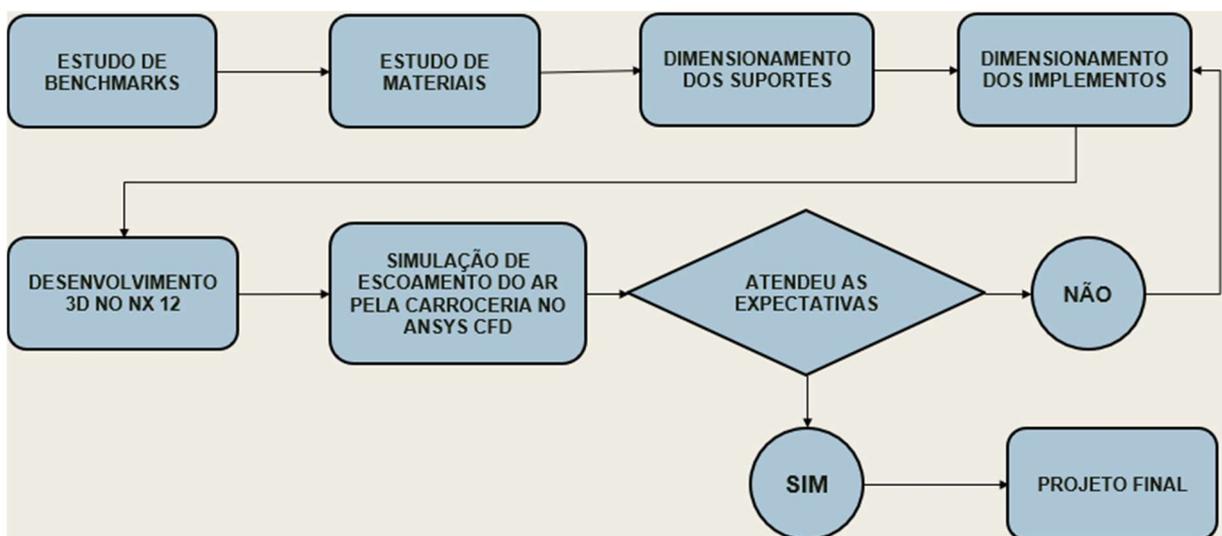
Para elaborar o melhor design e interpretar os resultados de simulações é preciso ter de forma palpável os requisitos a serem melhorados. Foi definido os seguintes requisitos:

- a) Força de Resistência Aerodinâmica - F_{AER} (N);
- b) Consumo de combustível (km/l);
- c) Custo por quilômetro rodado (R\$/km);
- d) Massa de poluentes por quilômetro rodado (g CO₂/km).

5.2 FLUXOGRAMA DO CÁLCULO DE MELHORIA

Fluxograma é um diagrama que detalha o funcionamento de um processo, projeto ou sistema. Foi elaborado um fluxograma de cálculo de melhoria para definição das principais etapas do desenvolvimento do projeto, incluindo a validação. A seguir está um esquema representativo do fluxo:

Figura 15 - Fluxograma do Cálculo de Melhoria



Fonte: Autores, 2022.

5.3 CÁLCULO DA MELHORIA

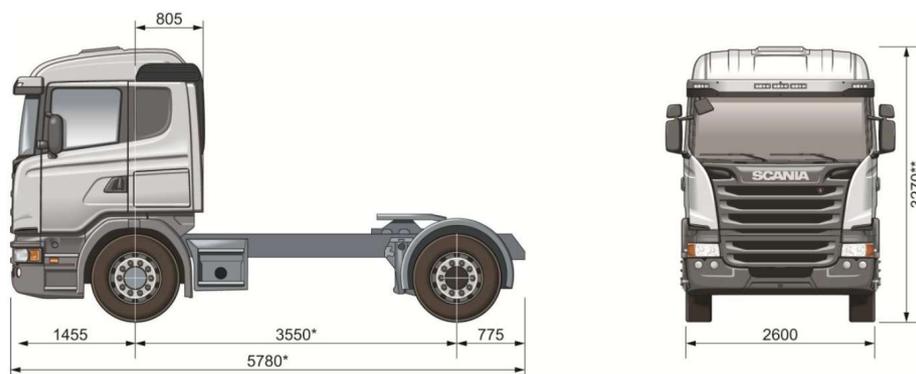
Nesta seção, será desenvolvido todo o processo de cálculo para os requisitos de engenharia definidos previamente.

5.3.1 Desenvolvimento Teórico

Para seguir com o desenvolvimento do projeto, cálculos e análises são primordiais. Para isto, é necessário levantar os dados iniciais do veículo utilizado neste projeto, além das hipóteses simplificadoras a serem consideradas.

Primeiro foi definido um veículo base de estudo, o Scania G400 LA 4x2.

Figura 16 - Dimensões Scania G400 LA4x2



Fonte: Ficha Técnica Scania, 2014.

Motor

Motor 13 litros – Proconve Fase 7 DC13 113 400 cv

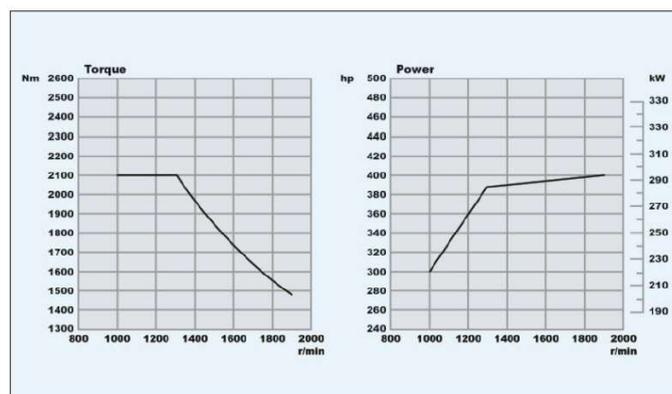
Motor diesel de 6 cilindros em linha com injeção direta de combustível em conformidade com níveis de emissões Proconve Fase P7. Equipado com o sistema de injeção PDE com unidades injetoras, cabeçotes individuais, 4 válvulas por cilindro, turbo compressor, intercooler e sistema de tratamento de gases SCR.

Tomada de ar

- ▶ Traseira
- Frontal

Filtro de ar de segurança

- ▶ Sem
- Com



Cilindrada (litros).....	12.7
Potência Máxima.....	400 hp (294) kW a 1900 rpm
Torque Máximo.....	2100 Nm entre 1000 a 1300 rpm
Capacidade de Óleo.....	36 dm ³
Freio Motor.....	261 kW a 2400 rpm

Fonte: Ficha Técnica Scania, 2014.

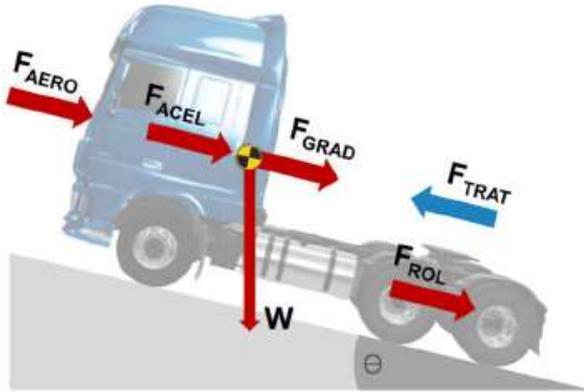
Na sequência definiu-se algumas hipóteses simplificadoras:

- a) em rodovias, segundo estudos da Autotrac (2017), a velocidade média dos caminhões é de 80 km/h. Diante disto, é considerado este valor de velocidade constante como hipótese para fins de cálculos do projeto;
- b) É considerado um grau de inclinação da rodovia de 0%, uma pista plana;
- c) Densidade do ar de 1,2754 kg/m³, segundo a União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC);
- d) temperatura média adotada de 25°C;
- e) Veículo atuando no limite de seu PBT técnico de 19700 kg;

5.3.2 Dinâmica Veicular

Quando se trata do comportamento de um veículo, seja pesado ou de passeio, conhecer as forças que envolvem seu desempenho é fundamental.

Figura 17 - Forças atuantes em um veículo



Fonte: Autores, 2022.

Neste estudo, o foco está na dinâmica longitudinal. Segundo Gillespie (1992) a equação da dinâmica longitudinal de um veículo é:

$$F_{TRAT} = F_{AER} + F_{ACEL} + F_{GRAD} + F_{ROL}$$

5.3.2.1 Força de resistência aerodinâmica

A resistência aerodinâmica provém pela força resistiva ao movimento imposta pelo ar na trajetória do veículo. Conforme o veículo ou o corpo passa a aumentar sua velocidade, esta força ganha cada vez mais influência. Segundo Gillespie (1992) a equação desta força resistiva pode ser descrita através da seguinte equação:

$$F_{AER} = \frac{1}{2} \rho v^2 C_D A$$

5.3.2.2 Força de aceleração

Segundo Gillespie (1992), para que o veículo varie sua velocidade, a segunda Lei de Newton deve ser considerada:

$$F_{ACEL} = m a_x$$

5.3.2.3 Força de Gradiente

A força de gradiente é uma força paralela e contrária ao movimento, agindo no centro de gravidade do veículo e surge durante a subida de um aclave, sendo caracterizada por ser uma componente da força peso. Essa força é denominada resistência ao gradiente ou aclave. A força de gradiente é descrita, segundo Gillespie (1992), como:

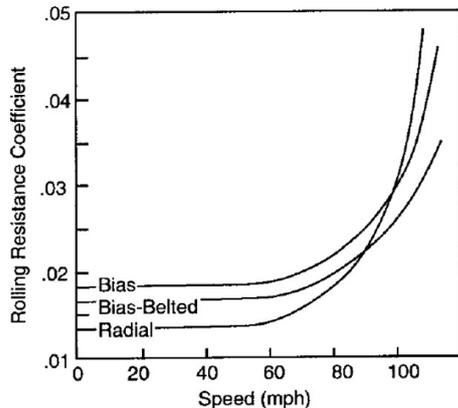
$$F_{GRAD} = m g \sin \theta$$

5.3.2.4 Força de Resistência ao rolamento

A força de resistência ao rolamento é a principal força contrária ao movimento de um veículo ou corpo (Gillespie, 1992), devido às deformações sofridas pelo pneu em contato com o asfalto ou obstáculos. O valor do coeficiente de resistência ao rolamento (f_R) depende do tipo de superfície e pode variar função do tipo de pneu e velocidade do veículo.

Para o cálculo da força de resistência ao rolamento, considerando o pneu padrão de fábrica do veículo em questão, 295/80 R22.5 Radial, obtém-se um coeficiente de resistência à rolagem de 0,014, conforme diagrama proposto pelo Gillespie (1992):

Figura 18 - Diagrama de coeficiente de resistência ao rolamento



Fonte: Gillespie, 1992.

A equação da força de resistência ao rolamento, segundo Gillespie (1992):

$$F_{ROL} = f_R \times W$$

5.3.3 Simulação

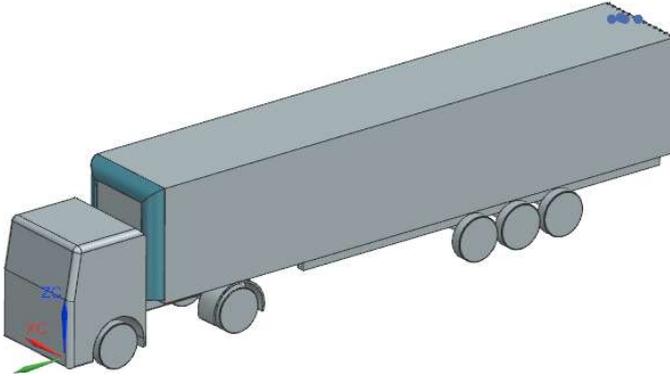
Para desenvolver o projeto optou-se por utilizar o recurso da simulação computacional. Através dela, consegue-se visualizar o comportamento dos implementos nas condições pré-estabelecidas de funcionamento e aperfeiçoar os conceitos, conforme necessidade. Isso tornou possível produzir de forma minuciosa e otimizada.

O software escolhido nesta etapa foi o Ansys. O Ansys é um software de simulação computacional que permite o estudo de projetos em muitas áreas da engenharia. Sua capacidade de resolver simulações com hipóteses diversas, contribui no processo de estudo do projeto, podendo prever, solucionar e corrigir falhas, diminuindo o tempo de desenvolvimento e reduzindo os custos. A versão do software utilizada foi “ANSYS WorkBench Student 2022 R1”.

Fez-se um modelo 3D dos implementos, bem como do cavalo mecânico e o semirreboque, conforme Figura 19 - Modelo 3D. Este modelo foi introduzido no software de simulação e executou-se as operações a fim de obter dados que descrevessem o desempenho das geometrias. Informações essenciais como a força resistiva ao movimento, a força exercida sobre componentes estruturais e o

direcionamento do fluxo de ar sobre o semirreboque foram obtidos através da simulação.

Figura 19 - Modelo 3D



Fonte: Autores, 2022.

As condições de contorno adotadas foram:

- a) velocidade constante de 80 km/h;
- b) densidade do ar $1,2 \text{ kg/m}^3$;
- c) temperatura ambiente $25 \text{ }^\circ\text{C}$;
- d) pressão dinâmica igual a zero;
- e) solo com rugosidade de 1 mm;
- f) malha: tamanho de elemento mínimo de 0,1m e máximo de 0,4m. Tamanho 0,1m na aresta do elemento.

Serão simulados dois cenários: Baseline e Stream truck. O Baseline trata-se de uma simulação sem nenhum implemento incluso no modelo 3D, com o objetivo de se estabelecer valores de referência para comparação com a solução proposta. O cenário Stream Truck será uma simulação onde no modelo 3D está incluso os implementos rodoviários escolhidos como solução neste estudo: Vortex Generator e Gap Fairing.

A simulação irá fornecer imagens e valores que tornarão possível a análise do impacto dos implementos adicionados ao modelo.

5.3.3.1 Simulação baseline

A primeira simulação executada foi a do cenário baseline. A tabela abaixo apresenta os resultados observados.

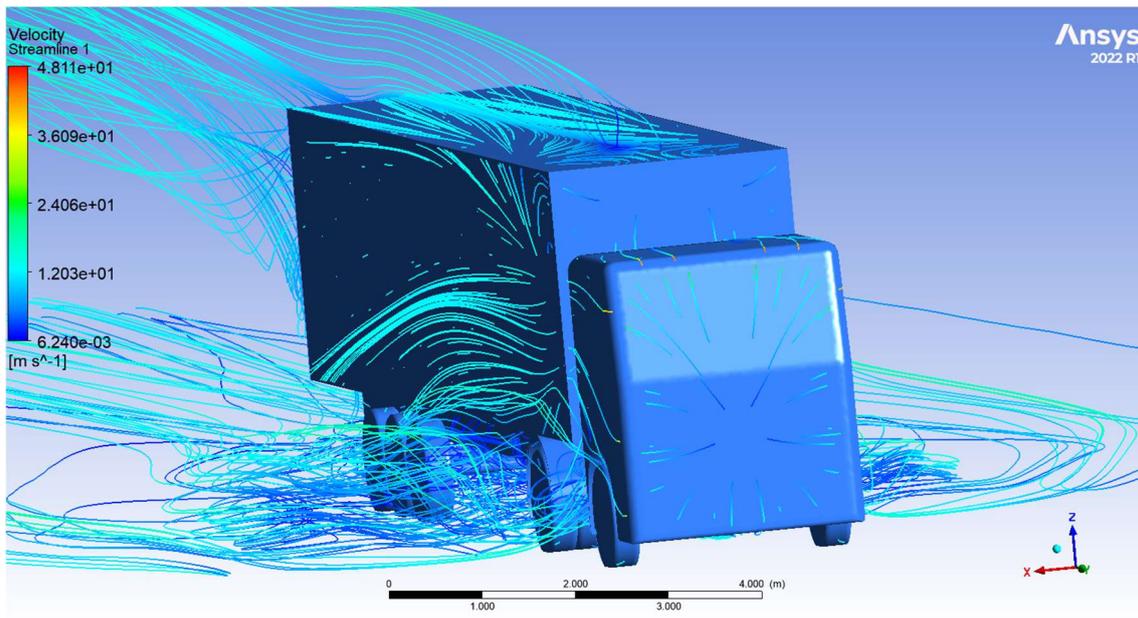
Tabela 8 – Resultados da simulação Baseline

		Baseline
Resultado	Força Arrasto [N]	2.130,40
Resultado	Força Sustentação [N]	497,78

Fonte: Autores, 2022.

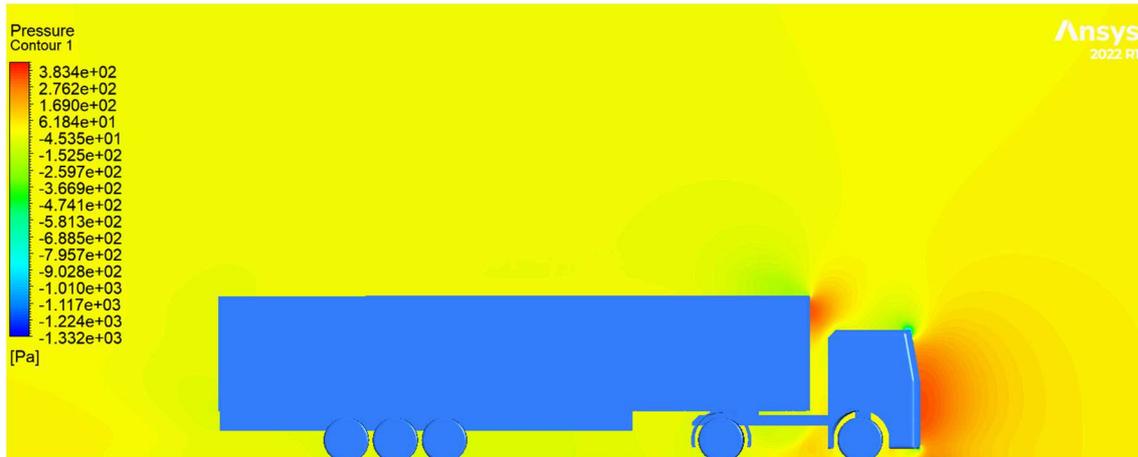
As imagens a seguir foram obtidas através da simulação executada. É possível enxergar as linhas de fluxo de ar, e suas respectivas velocidades, identificar os principais pontos de turbulência e alta pressão.

Figura 20 - Vista isométrica linhas de fluxo de ar na simulação baseline



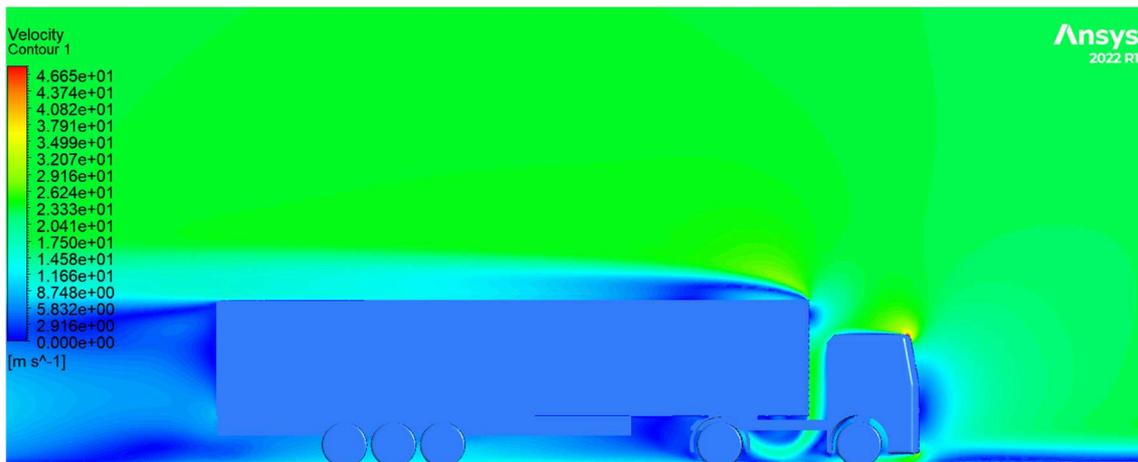
Fonte: Autores, 2022.

Figura 21 - Zonas de pressão na simulação baseline



Fonte: Autores, 2022.

Figura 22 - Perfil de velocidades na simulação baseline



Fonte: Autores, 2022.

5.3.3.2 Simulação Stream Truck

A segunda simulação executada foi a do cenário Stream Truck. A tabela abaixo apresenta os resultados observados nesta simulação, acompanhado de uma comparação com o cenário baseline.

Tabela 9 - Resultados da simulação Stream Truck

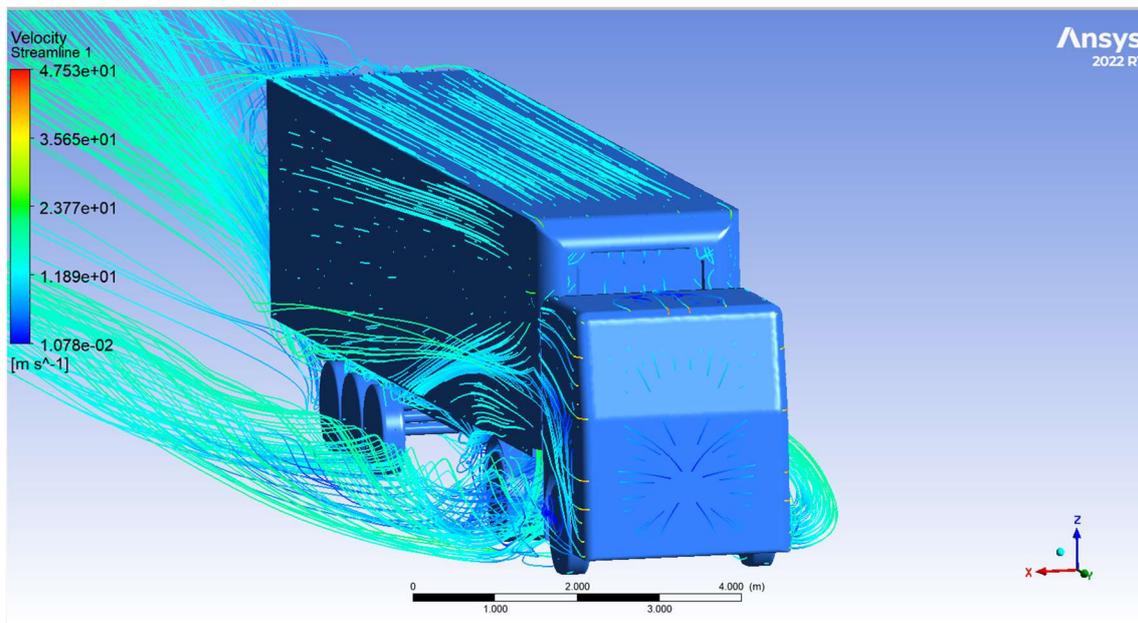
		Baseline	Stream Truck	Delta
Resultado	Força Arrasto [N]	2.130,40	1.976,68	-7,22%
Resultado	Força Sustentação [N]	497,78	456,90	-8,21%

Fonte: Autores, 2022.

É observado uma redução na força de resistência aerodinâmica, indicando que a solução funciona.

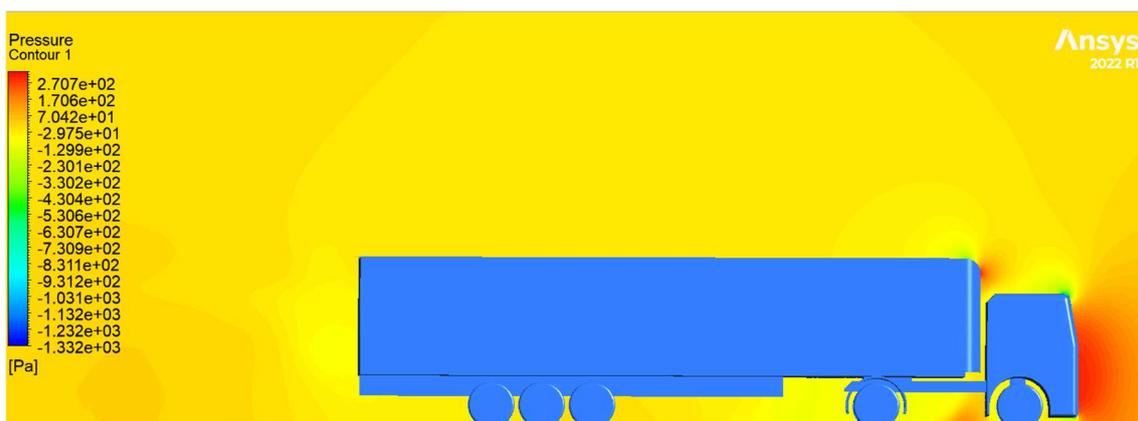
As imagens a seguir foram obtidas através da simulação executada. É possível enxergar as linhas de fluxo de ar, e suas respectivas velocidades, identificar os principais pontos de turbulência e alta pressão.

Figura 23 - Vista isométrica das linhas de fluxo de ar na simulação Stream Truck



Fonte: Autores, 2022.

Figura 24 - Zonas de pressão na solução Stream Truck



Fonte: Autores, 2022.

Figura 25 - Perfil de velocidade na solução Stream Truck



Fonte: Autores, 2022.

5.3.4 Equacionamento do sistema proposto

O objetivo deste projeto é a redução da força de arrasto aerodinâmico, obtida através de simulações em CFD no software Ansys. Fazendo uma análise das condições estabelecidas para o veículo de estudo, conclui-se que a força de aceleração e a força de gradiente são desconsideradas nos cálculos. Portanto:

$$F_{TRAT} = F_{ROL} + F_{AER}$$

Uma vez calculada a força trativa, calcula-se o torque e a potência efetiva necessária para o cenário em estudo.

$$F_{TRAT} = \frac{T_e N_{ft} \eta_{ft}}{r}$$

$$N_e = \frac{T_e n}{9549,5}$$

A ficha técnica do veículo fornece as relações de transmissão, diferencial e a eficiência do conjunto.

Figura 26 - Relações de Transmissão Scania G400 LA4x2

Eixo Traseiro

RBP835+RP835 - Diferencial duplo bogie com redução nos cubos. É projetado para as condições operacionais mais difíceis, como acontece com os veículos de construção utilizados exclusivamente fora da estrada. Força, desempenho e resistência, para enfrentar maior desgaste em relação aos transportes de estrada são fatores prioritários. É indicação para aplicações rodoviária de alto PBTC e aplicação Off Road.

Relação de diferencial

► 3,96:1

GRS0905 – 14 Velocidades (2 superlentas e 1 overdriver)	
R	11,95:1
CL	13,28:1
CH	10,63:1
1ª = 1L	9,16:1
2ª = 1H	7,33:1
3ª = 2L	5,82:1
4ª = 2H	4,66:1
5ª = 3L	3,75:1
6ª = 3H	3,00:1
7ª = 4L	2,44:1
8ª = 4H	1,96:1
9ª = 5L	1,55:1
10ª = 5H	1,24:1
11ª = 6L	1,00:1
12ª = 6H	0,80:1

Fonte: Ficha Técnica Scania, 2014 (adaptado).

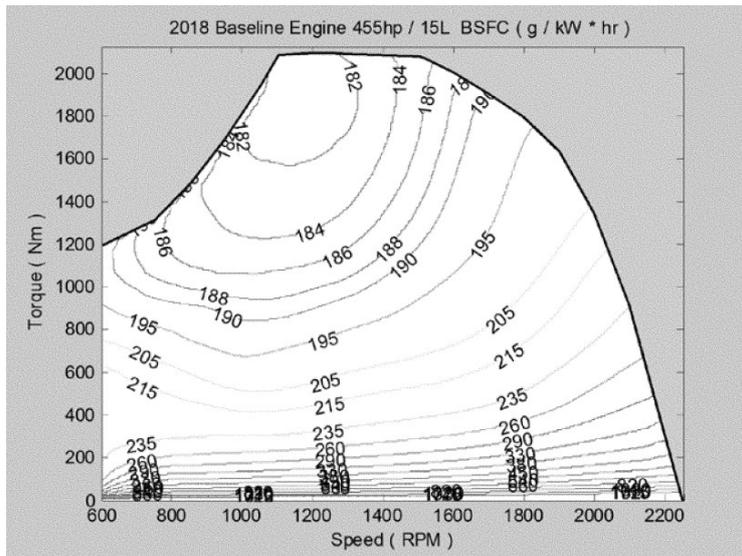
$$N_{ft} = 3,96 \times 0,80 = 3,168$$

$$\eta_{ft} = 0,81$$

5.3.5 Cálculo de consumo

Com a rotação e o torque determinados, é possível encontrar o consumo de combustível a partir do mapa “Break Specific Fuel Consumption – BSFC” de um motor diesel. É obtido a ilha de eficiência, também chamada de ilha de consumo específico, do motor a combustão interna.

Figura 27 - Break Specific Fuel Consumption – BSFC



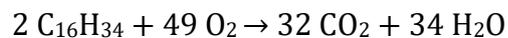
Fonte: Authenticated U.S. Government Information / Federal register, Vol. 81, No. 206.

Conforme o equacionamento abaixo, obtém-se o consumo em unidade de volume de combustível por distância percorrida.

$$b_s = \frac{b_e P_{motor}}{\rho_c v}$$

5.3.6 Cálculo de Emissão de Carbono

Para o cálculo da massa de CO₂ emitida, balanceia-se a equação da combustão do diesel:



Tem-se as seguintes massas molares de cada elemento da equação acima:

- a) H = 1 g/mol;
- b) C = 12 g/mol;
- c) O = 16 g/mol.

Portanto:

$$2 \times (16 \times 12 + 34 \times 1) = 452 \text{ gramas de diesel}$$

$$32 \times (12 + 2 \times 16) = 1408 \text{ gramas de CO}_2$$

A partir do balanço de massa é possível definir uma relação em que a proporção de massa de CO₂ produzida para cada quilograma de diesel consumido é de 3,11. Portanto a seguinte equação é definida:

$$m_{CO_2} = \frac{3,11 \rho_c}{b_s^{-1}}$$

5.3.6 Custo por quilômetro rodado

Para o cálculo do custo por quilometro rodado, temos a seguinte equação:

$$Custo = \frac{Consumo}{Preço\ Médio\ do\ Diesel}$$

O preço médio do Diesel no Brasil no período de 25/09/22 a 01/10/22 é R\$ 6,73, segundo a Petrobras.

5.3.7 Resultados

Após o detalhamento dos cálculos, são realizadas análises da solução proposta. É destacado, na Tabela 10 - Resultados de simulação da Força de resistência aerodinâmica, a comparação entre o baseline e o StreamTruck dos resultados para a força de resistência aerodinâmica.

Tabela 10 - Resultados de simulação da Força de resistência aerodinâmica

	Baseline	Stream Truck
Força de Resistência Aerodinâmica [kN]	2,130	1,976
	-	-7,23%

Fonte: Autores, 2022.

Foi obtido uma redução de 7,23% na força de resistência aerodinâmica, superior ao target de 5% estipulado neste estudo.

Na Tabela 11 - Comparação de Consumo, é feito o comparativo do consumo entre o baseline e o StreamTruck.

Tabela 11 - Comparação de Consumo

	Baseline	Stream Truck
Consumo [l/km]	0,357	0,345
	-	-3,44%

Fonte: Autores, 2022.

O comparativo da emissão de CO₂, entre o baseline e o StreamTruck, é mostrado na Tabela 12 - Comparação de emissão de gás carbônico.

Tabela 12 - Comparação de emissão de gás carbônico

	Baseline	Stream Truck
Emissão de CO ₂ [kg CO ₂ /km]	0,934	0,902
	-	-3,44%

Fonte: Autores, 2022.

Na tabela seguinte, é apresentado o comparativo do custo por quilômetro rodado entre o baseline e o Stream Truck.

Tabela 13 - Comparação de custo por quilômetro rodado

	Baseline	Stream Truck
Custo por quilômetro rodado (R\$/km)	2,435	2,351
	-	-3,44%

Fonte: Autores, 2022.

5.4 DESIGN FINAL DO PRODUTO

5.4.1 Design do Vortex Generator

O design dos pares de vórtex generator foi baseado nos estudos de Fouatih e Medale (2015) e Gao e Zhang (2014), onde se tem duas peças com um ângulo pré-definido entre elas. A geometria base de cada peça é um triângulo.

A altura do triângulo, a distância entre as peças e o ângulo entre elas são os principais pontos de influência na eficiência da solução.

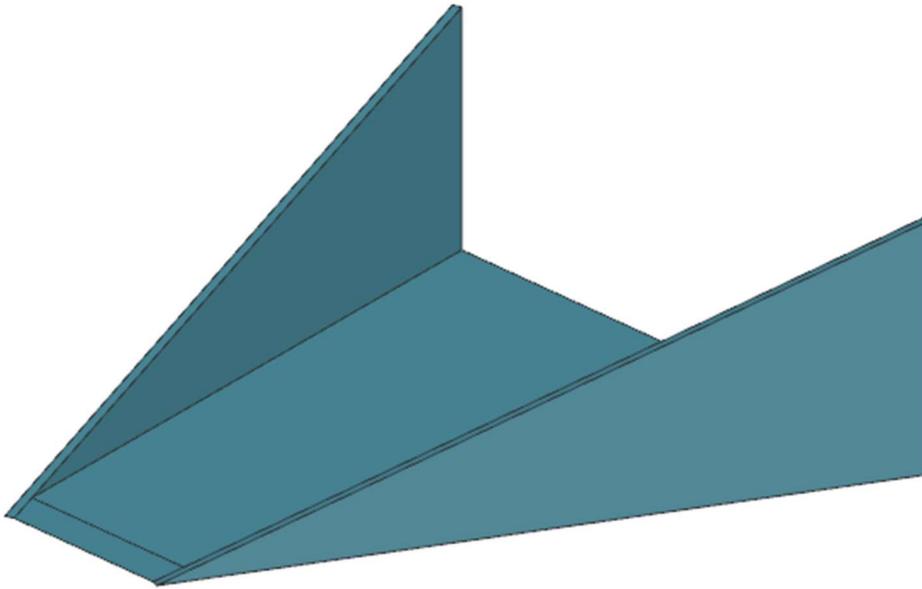
Por serem peças de dimensões pequenas, se comparadas ao semirreboque, optou-se por impressão 3D como processo produtivo do Vortex Generator. Para tal, o material escolhido foi a Acrilonitrila Estireno Acrilato (ASA). ASA é um polímero

comumente usado em impressão 3D por filamento, com boas propriedades de resistência mecânica e a intempéries.

Criou-se uma base entre as duas peças de um par, visando criar uma boa área de contato para fixação.

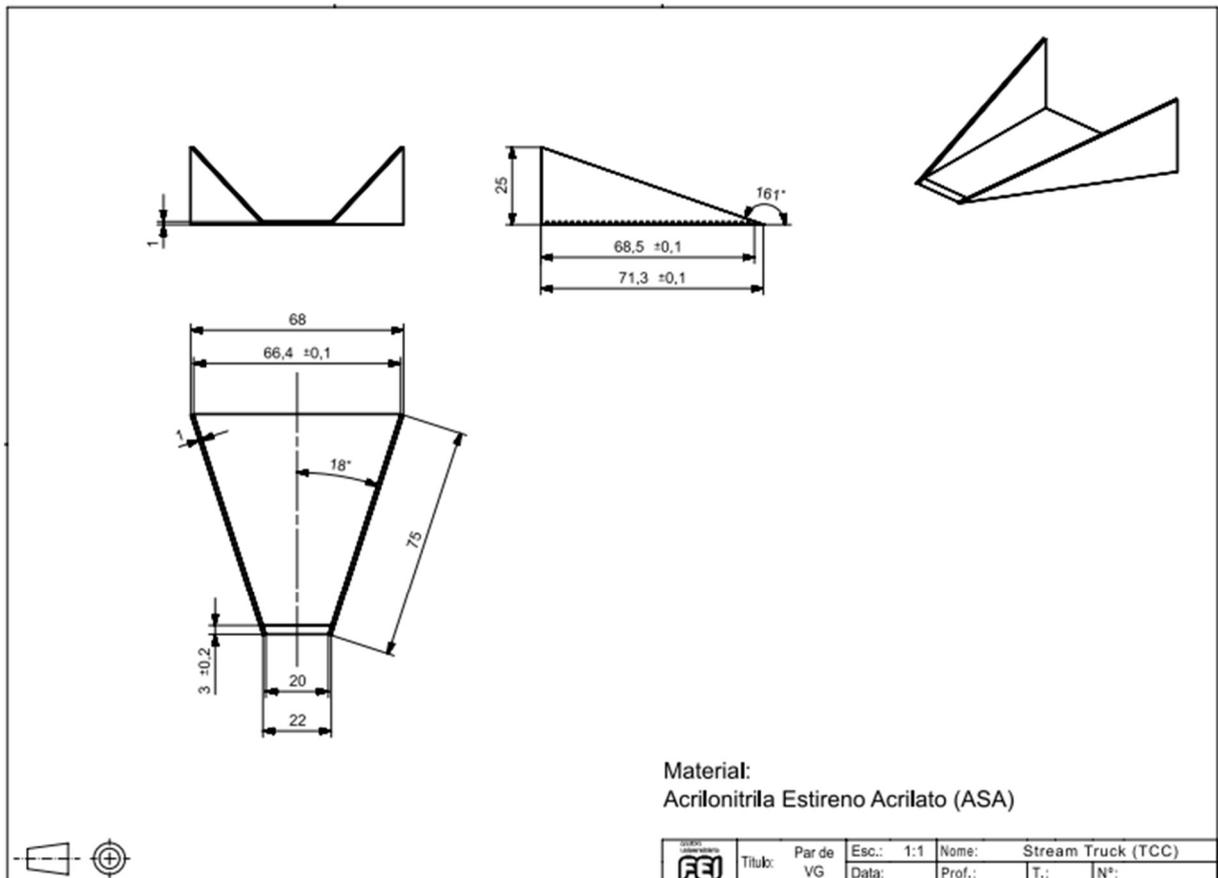
O design final pode ser observado nas imagens abaixo.

Figura 28 - Isométrica do Vortex Generator



Fonte: Autores, 2022.

Figura 29 - 2D do Vortex Generator



Fonte: Autores, 2022.

5.4.2 Design final do Gap Fairing

O gap fairing foi baseado no benchmarking feito anteriormente neste estudo, onde o conceito são 3 aletas iguais que diminuem o espaço entre cavalo mecânico e semirreboque. Além disso, precisam possuir uma curva que auxilie o escoamento do ar que vem de frente ao veículo.

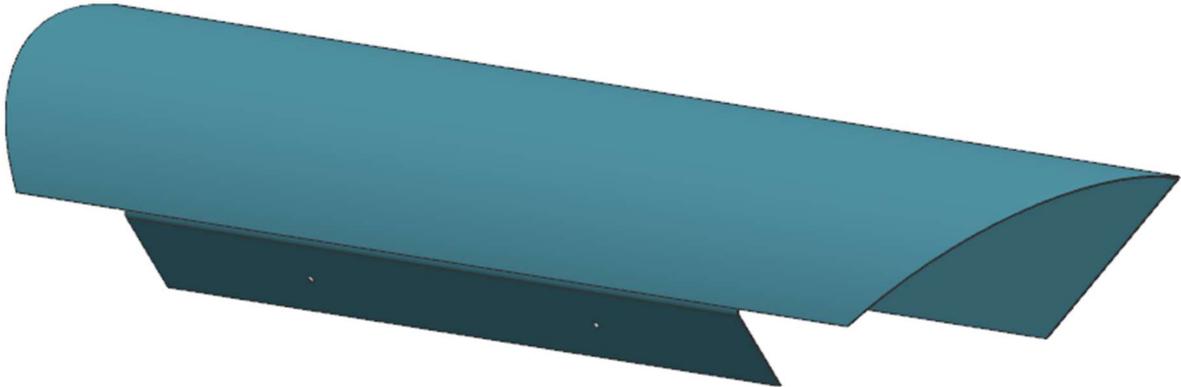
Para que o conceito acima seja aplicado, cada aleta será de grandes dimensões, cobrindo boa parte da área frontal do semirreboque.

Adotou-se o Alumínio 1050 como material, pensando em sua resistência mecânica e amplas possibilidades produtivas para peças de grandes dimensões.

Aqui, tomou-se um cuidado para que a peça não impedisse a articulação do cavalo mecânico em nenhum momento.

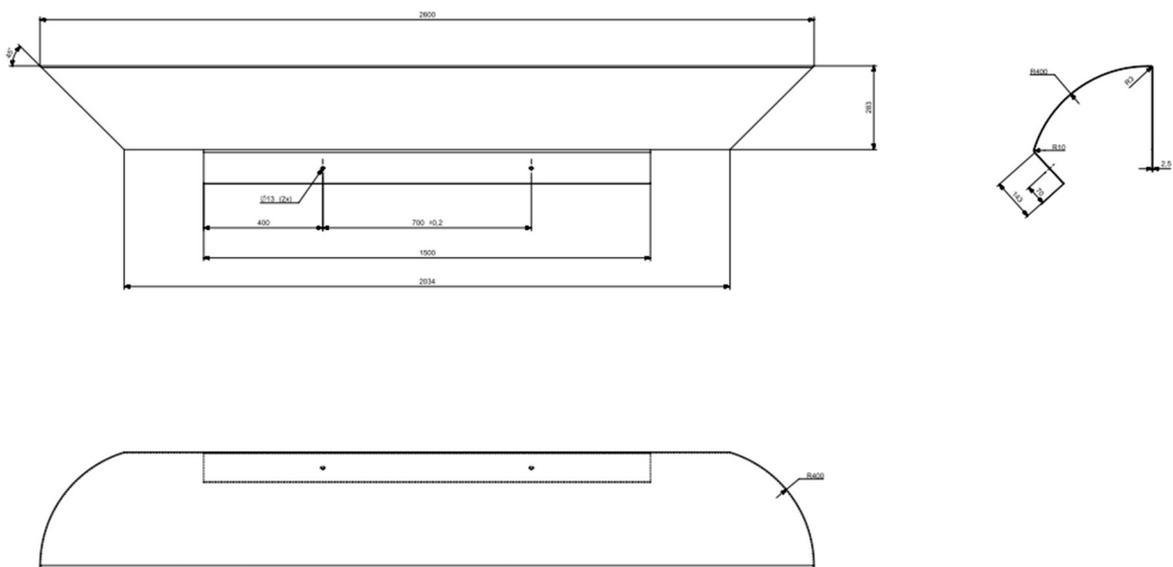
O design final pode ser observado nas imagens abaixo.

Figura 30 - Isométrica do Gap Fairing



Fonte: Autores, 2022.

Figura 31 - 2D do Gap Fairing



Fonte: Autores, 2022.

5.4.3 Fixação do Vortex Generator

Por tratar-se de uma união entre metal e polímero, a escolha foi por usar uma fita adesivo própria para este modelo de aplicação.

Cada vez mais comum na indústria automotiva, fixação via adesivos é uma boa solução para peças de pequeno porte e pouca solicitação mecânica, devido a baixos esforços envolvidos. Outra vantagem é um custo baixo.

Foi escolhido o adesivo VHB™ LSE-060WF da empresa 3M™. Segundo a 3M, a fita possui excelentes propriedades de fixação para o ambiente tratado, uso externo,

exposição aos raios solares e diversas condições climáticas. Em dias com elevada incidência solar, a temperatura da parte superior do veículo pode chegar em torno de 60 graus Celsius, o que está devidamente assegurado pela especificação do produto.

A fita não necessita de uma preparação inicial da superfície com produtos químicos, o que leva a um aumento da produtividade e facilidade no momento de fixação dos componentes aerodinâmicos.

Figura 32 - Fita 3M™ VHB™ LSE-060WF



Fonte: Site 3M, 2022.

Figura 33 - Ficha Técnica Fita 3M™ VHB™ LSE-060WF

Família	Produto	Espessura (mm)	Cor	Adesão ao aço 90° (*)	Tensão perpendicular (**)	Cisalhamento estático (***)	Resistência a temperatura °C		
							100g/4h	250g/10000 min	
4910	4905	0,5	Transparente	2,7	34	500	150	93	
	4908	0,8	Transparente	3,4	20	500	150	93	
	4910	1,0	Transparente	3,4	34	500	150	93	
	4915	1,5	Transparente	3,5	23	500	150	93	
	4918	2,0	Transparente	4,0	23	500	150	93	
	4611	4646	0,6	Cinza	3,3	45	750	230	150
		4312	0,8	Cinza	2,8	15,7	500	230	150
		4611	1,1	Cinza	4,0	40	750	230	150
		4655	1,6	Cinza	4,0	35	750	230	150
	4950	4930	0,6	Branca	4,0	54	500	150	93
4950		1,1	Branca	4,8	45,4	500	150	93	
CV-150		1,5	Cinza	3,5	30	500	150	93	
4960		2,0	Branca	4,5	32	500	150	93	
ACM 160		1,6	Branca	3,5	15	500	150	93	
4970		2,4	Branca	3,7	17	500	150	93	
5952	5925	0,6	Preta	3,8	34	500	150	93	
	5952	1,1	Preta	4,5	34	500	150	93	
	5962	1,6	Preta	4,5	34	500	150	93	
GPH	GPH 060GF	0,6	Cinza	1,5	41	500	230	150	
	GPH 110GF	1,1	Cinza	2,5	45	500	230	150	
	GPH 160GF	1,6	Cinza	2,5	48	500	230	150	
LSE	LSE 060WF	0,6	Branco	1,6	36	500	150	90	
	LSE 110WF	1,1	Branco	2,8	31	500	150	90	
	LSE 160WF	1,6	Branco	2,8	29	500	150	90	

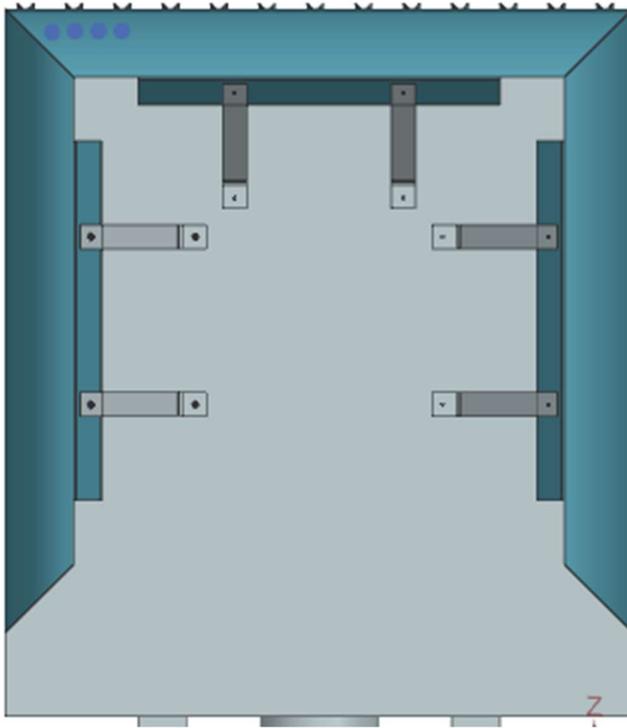
Fonte: Ficha Técnica 3M, 2020.

5.4.4 Fixação do Gap Fairing

O gap fairing será fixado em duas etapas: dois suportes e rebite. A parede do gap em contato com a parede frontal do semirreboque será rebitada para maior sustentação e redução dos graus de liberdade.

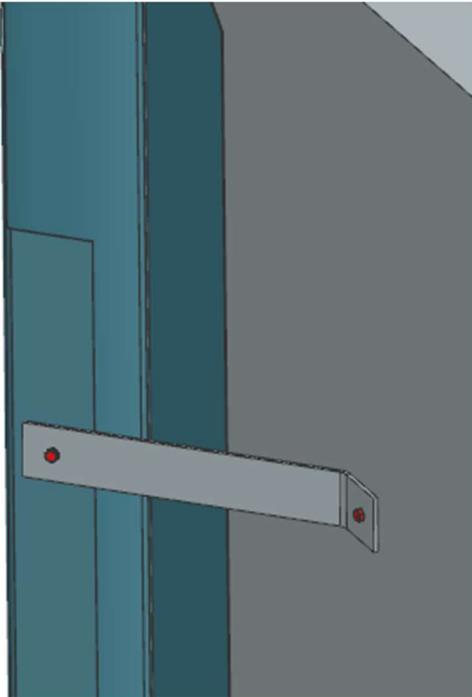
No gap fairing há uma aba furada, feita especificamente para acomodar dois suportes que farão sua sustentação, conforme imagens abaixo. O suporte é uma peça estampada de aço SAE 1020, conforme

Figura 34 - Vista Frontal do Gap Fairing



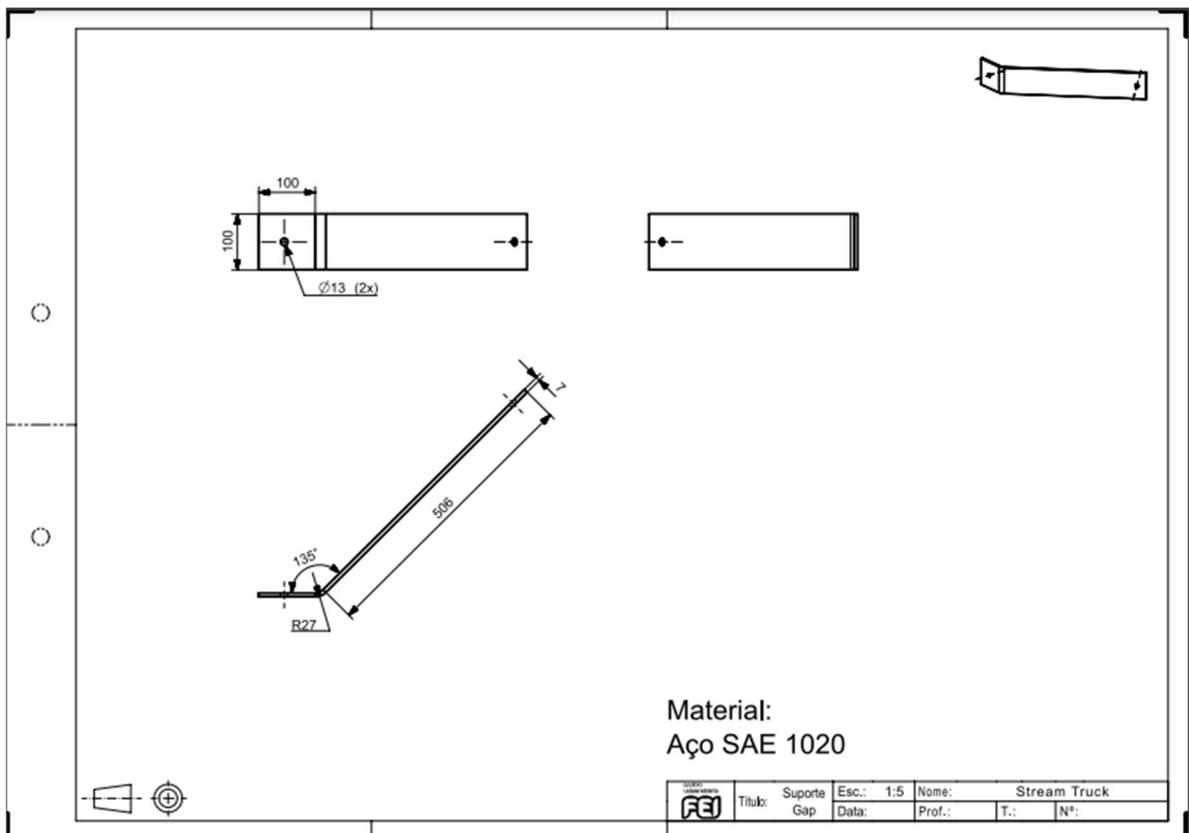
Fonte: Autores, 2022.

Figura 35 - Detalhe do suporte do gap fairing



Fonte: Autores, 2022.

Figura 36 - 2D do suporte do gap fairing



Fonte: Autores, 2022.

Para fixar o suporte ao gap fairing, definiu-se fixação via sistema parafuso e rosca. Serão 2 parafusos DIN 933 M12x1,75 de 25 mm de comprimento, feitos de aço classe de resistência 8.8 (DIN 267). As roscas serão DIN 934 M12.

Em prol de verificar que a escolha atende aos requisitos do sistema, foram analisados 4 critérios propostos por Budynas e Nisbett (2016):

- a) resistência mecânica;
- b) estanqueidade;
- c) resistência mecânica do parafuso;
- d) resistência à fadiga do parafuso;

Calculou-se a rigidez axial do parafuso, através do equacionamento proposto por Budynas e Nisbett (2016), sendo obtido um comprimento mínimo de 18 mm. Comprovou-se que o comprimento escolhido é adequado.

Para o cálculo de rigidez axial da chapa foi adotado o modelo do cone de influência.

Os coeficientes de segurança para os critérios em análise estão apresentados na tabela a seguir.

Tabela 14 - Coeficientes de Segurança dos parafusos

Coeficientes de Segurança			
Critério da Resistência Mecânica	Critério da Estanqueidade	Critério da Resistência Mecânica do Parafuso	Critério da Resistência à fadiga do Parafuso
2,14	536,97	1112,40	569,10

Fonte: Autores, 2022.

Como todos os coeficientes de segurança calculados são maiores que 1, entende-se que essa escolha de parafuso está aprovada para uso sob as condições propostas.

6 CUSTOS

6.1 CUSTOS DE MATERIAL E PRODUÇÃO

Com o dimensionamento e cálculos dos componentes realizados, foi definido o processo produtivo adequado ao material que cada implemento utilizará.

Os custos de fabricação foram cotados com empresas especialistas no respectivo processo produtivo e estão demonstrados na Tabela 15 - Custos de material.

Tabela 15 - Custos de material

Componentes	Unidade	Gap Fairing	Vortex Generator
Massa	kg	15,00	1,00
Dimensões Básicas	mm	3x - 2500x400x2,5	75x68x25
Material	#	Alumínio 1050	ASA
Processo Produtivo	#	Conformação Mecânica/ Calandragem	Impressão 3D
Fornecedores	#	Casarini	DeProtec
Custos	R\$	R\$ 6.720,00	R\$ 728,00

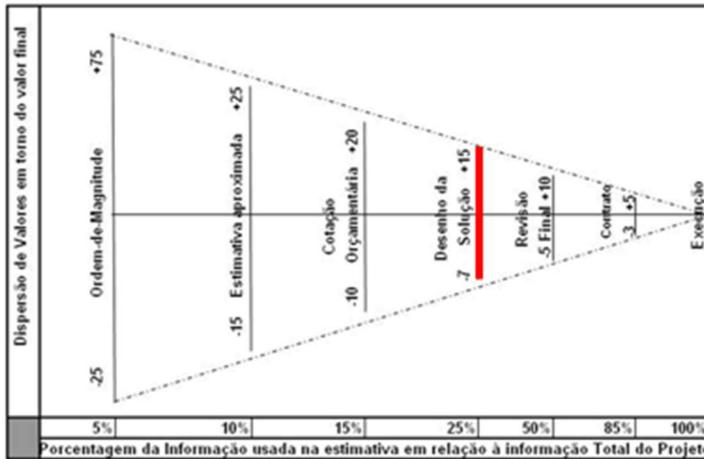
Fonte: Autores, 2022.

6.2 CONE DA INCERTEZA

O cone da incerteza permite definir uma dispersão para os valores que foram obtidos, baseado nos procedimentos que foram realizados para chegar nestes valores.

Para o projeto foi realizado o desenho da solução e cotação orçamentária, obtendo uma variação de -7% a +15%, conforme a Figura 37 - Resultados do cone da incerteza.

Figura 37 - Resultados do cone da incerteza



	Custo (R\$) -7%	Custo (R\$) +15%
Vortex Generator	677,04	837,20
Gap Fairing	6249,60	7728,00
VG + Gap	6926,64	8565,20

Fonte: Autores, 2022.

Baseado no cone da incerteza, conclui-se que o custo total do produto pode variar entre R\$ 6900 e R\$ 8600.

6.3 RETORNO SOBRE INVESTIMENTO

Os dados da Tabela 13 - Comparação de custo por quilômetro rodado, demonstram uma redução de 3,44% do valor gasto por quilometro com a utilização dos implementos. Segundo a CNT, os motoristas rodam em média 9561,3 quilômetros por mês, sendo que os autônomos rodam menos que os motoristas de frota.

Com isso, relacionando a distância média mensal percorrida por um caminhoneiro com a economia no consumo, conforme equacionamento abaixo foi obtido o resultado de economia mensal demonstrado na Tabela 16.

$$Economia_{mensal} = (Consumo_{baseline} - Consumo_{implemento}) \times Dist. percorrida$$

Tabela 16 - Economia mensal ao cliente

	Stream Truck
Economia (R\$/mês)	803,15

Fonte: Autores, 2022.

ROI é a abreviação do inglês return on investment ou retorno sobre investimento. É um indicador usado para medir a eficácia e lucratividade de um investimento.

Ele pode ser calculado através da equação abaixo e o valor obtido para o projeto está na Tabela 17.

$$ROI(meses) = \left(\frac{Custo_{implemento}}{Economia_{mensal}} \right)$$

Tabela 17 - ROI

	VG + Gap
ROI (meses)	10

Fonte: Autores, 2022.

7 BUSINESS MODEL CANVAS

Segundo Osterwalder e Pigneur (2018) “um modelo de negócio descreve a racionalidade de como uma organização cria, entrega e captura valor”. Para auxiliar a criar tal modelo desenvolveu-se o canvas de negócio. Este é dividido em 9 blocos gráficos, sendo eles: segmento de clientes, oferta de valor, canais de distribuição, relacionamento, fontes de receita, recursos-chave, atividades-chave, parcerias e estrutura de custos.

O canvas de negócio que demonstra a estrutura do Stream Truck encontra-se abaixo.

Figura 38 - Canvas de Negócios

PARCEIROS CHAVES  <ul style="list-style-type: none"> Vtech – Parceiro em scan 3D Fornecedores de matéria prima Empresas terceirizadas para a fabricação de peças e partes do produto Empresas logísticas para testes 	ATIVIDADES CHAVES  <ul style="list-style-type: none"> Produção Venda Compras Engenharia e desenvolvimento Assistência Técnica 	PREPOSIÇÕES DE VALORES  <ul style="list-style-type: none"> Redução da força resistiva aerodinâmica para redução do consumo de combustível e emissões de poluentes 	RELACIONAMENTO COM CLIENTES  <ul style="list-style-type: none"> Assistência Pessoal 	SEGMENTOS DE CLIENTES  <ul style="list-style-type: none"> Empresas Logísticas Proprietários de frotas
RECURSOS CHAVES  <ul style="list-style-type: none"> Softwares e equipamentos eletrônicos Prédio Industrial Maquinário Funcionários capacitados Patentes Linha de crédito 		CANAIS  <ul style="list-style-type: none"> Self-service Site da empresa Email marketing Google Ads Feiras e eventos 		
CUSTOS  <ul style="list-style-type: none"> Fixos: <ul style="list-style-type: none"> Administrativo Matéria Prima Homem-hora e Hora-Máquina Logística Variáveis: <ul style="list-style-type: none"> Testes e homologação Treinamentos 			RECEITAS  <ul style="list-style-type: none"> Venda de produtos Propagandas Peças de reposição 	

Fonte: Autores, 2022.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo como referência a meta estabelecida durante este estudo, que almejava uma redução de 5% na força de resistência aerodinâmica através da instalação de apêndices aerodinâmicos no semirreboque, atingiu-se aproximadamente 7%, sendo esse um resultado extremamente positivo. Com uma redução no consumo de combustível de mais de 3%, o estudo apresentou uma solução valiosa a uma indústria que constantemente luta para reduções até menores.

Há uma margem de erro dentro do modelo, que adota diversas hipóteses simplificadoras, porém as simulações e cálculos executados pelo grupo buscaram reproduzir condições o mais próximas da realidade. Entretanto, os resultados estão sujeitos a variáveis complexas de se adicionar a um modelo teórico, tais como: variações climáticas, motorista, tráfego intenso, dentre outras. Neste ponto, o grupo ressalta a importância de uma validação feita por testes em condições reais, e deixa essa sugestão para continuação em estudos futuros.

O mercado busca hoje soluções que reduzam o consumo de combustível através de melhorias aerodinâmicas, porém muitas são complexas e com custos elevados. O grupo trouxe de simples aplicação, entretanto eficaz e com um ROI de curto a médio prazo, além da complexidade teórica por trás.

Conclui-se que o estudo foi satisfatório, podendo ser aprimorado por testes funcionais sob condições reais.

REFERÊNCIAS

GILLESPIE, Thomas D. **FUNDAMENTALS OF VEHICLE DYNAMICS**. 1. ed. Pensilvânia: Society of Automotive Engineers, 1992.

PATTEN, Jeff. Review of Aerodynamic Drag Reduction Devices for Heavy Trucks and Buses. **National Research Council Canada**, Ottawa, 2012. 100f. Disponível em: <<https://tc.canada.ca/en/programs/non-funding-programs/ecotechnology-vehicles-program/review-aerodynamic-drag-reduction-devices-heavy-trucks-buses>>. Acesso em: 26 maio 2022.

NEVES, Cícero Janderson Tavares. O uso do defletor de ar em caminhões pesados na economia de combustível: uma análise de viabilidade econômica e ambiental. **Brazilian journal of development**, Curitiba, out. 2019. v. 5, n. 10, p. 19658-19669.

BRUNETTI, Franco. **Mecânica dos fluidos**. 2. ed. rev. São Paulo: Pearson Education do Brasil: Prentice-Hall, 2013.

MICHALKO, M. T.. **A HANDBOOK OF CREATIVE-THINKING TECHNIQUES**. Berkeley: Tem Speed Press, 2006.

ANUÁRIO CNT do Transporte 2021. Brasília: CNT, 2022. Disponível em: <<https://anuariodotransporte.cnt.org.br/2021/>>. Acesso em: 29 mar. 2022.

ANFIR. **Dados do setor**. 2022. Disponível em: <<https://www.anfir.org.br/dados-do-setor.php?selAno=2021>>. Acesso em: 05 abr. 2022.

NORTH AMERICAN COUNCIL FOR FREIGHT EFFICIENCY. **Confidence report: trailer aerodynamic devices**. 2016. 113 f. [S.l.]. Disponível em: <https://nacfe.org/wp-content/uploads/2018/02/TE_Trailer_Aero_CR_FINALFINAL.pdf>. Acesso em: 14 maio 2022.

NORTH AMERICAN COUNCIL FOR FREIGHT EFFICIENCY. Confidence report: determining efficiency. 2016. 65 f. [S.l.]. Disponível em: <<https://nacfe.org/wp-content/uploads/2018/07/determining-efficiency-confidence-report.pdf>>. Acesso em: 9 jul. 2022.

FENABRAVE. **Emplacamentos**. 2022. Disponível em: <<http://www.fenabrave.org.br/portaiv2/Conteudo/emplacamentos>>. Acesso em: 05 abr. 2022.

O IMPACTO do custo de combustível na cadeia de distribuição. Florianópolis: IONICS, 2018. Disponível em: <<https://www.saaf.com.br/cadeia-de-distribuicao/#:~:text=De%20acordo%20com%20a%20Esalq,custos%20da%20cadeia%20de%20distribui%C3%A7%C3%A3o>>. Acesso em: 05 apr. 2022

ALVARENGA, Henrique. Matriz de transportes do Brasil à espera dos investimentos. **ILOS**. São Paulo, 2020. Disponível em: <<https://www.ilos.com.br/web/tag/matriz-de-transportes/>>. Acesso em: 12 apr. 2022.

LUNA, Denise. Diesel foi o combustível que mais subiu em 2021, diz ANP: O segundo maior aumento foi da gasolina, seguida do Gás Natural Veicular e gás de cozinha. **CNN Brasil**. São Paulo, 2022. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/business/diesel-foi-o-combustivel-que-mais-subiu-em-2021-diz-anp/>>. Acesso em: 12 apr. 2022.

Barnett, Lisa; Weems, Deborah; Cierpik, Kim. Freight Wing Second Generation Trailer Aerodynamics. 2007. 22 f. Disponível em: <<https://www.osti.gov/servlets/purl/918696>>. Acesso em: 17 jul. 2022.

Mihelic, Rick; Schaller, Dave; Roeth, Mike; Lee, Tessa. CONFIDENCE REPORT: Trailer Aerodynamic Reports. 2020. 106 f. Disponível em: <<https://nacfe.org/downloads/confidence-report-trailer-aerodynamics/>>. Acesso em: 25 ago. 2022.

BRASIL. CONTRAN. Resolução n. 882, de 13 de dezembro 2021. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 242. ed. p. 153. Disponível em: <<https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-denatran/resolucoes-contran>>. Acesso em: 07 abr. 2022

BRASIL. CONTRAN. Resolução n. 953, de 13 de dezembro 2021. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 242. ed. p. 153. Disponível em: <<https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-denatran/resolucoes-contran>>. Acesso em: 07 abr. 2022

BRASIL. CONTRAN. Resolução n. 916, de 13 de dezembro 2021. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 242. ed. p. 153. Disponível em: <<https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-denatran/resolucoes-contran>>. Acesso em: 07 abr. 2022

DEVESA, A. AND INDINGER, T., **Fuel Consumption Reduction by Geometry Variations on a Generic Tractor-Trailer Configuration**. SAE Int. J. Commer, 2012. v. 5, p. 18-28.

ROBINS CONSULTING. **AERODYNAMICS DEVICES AID TRAILER AIRFLOW, ENHANCE FUEL ECONOMY, CARRIER EXECS SAY**. Disponível em: <<https://www.robinsconsulting.com/aerodynamics-devices-aid-trailer-airflow-enhance-fuel-economy-carrier-execs-say/>>. Acesso em: 22 maio 2022.

BIANCHIN, Victor. Na contramão do mundo, carros elétricos serão só 10% das vendas do Brasil em 2030: Enquanto montadoras de todo o mundo estabelecem metas agressivas para vendas de VEs, falta de incentivo no país deve atrasar crescimento. **Automotive Business**. 2021. Disponível em: <<https://www.automotivebusiness.com.br/pt/posts/mobility-now/na-contramao-do-mundo-carros-eletricos-serao-so-10-das-vendas-do-brasil-em-2030/>>. Acesso em: 25 ago. 2022.

GONÇALVES, Adriana. **Canvas: Como estruturar seu modelo de negócios**: Descubra como preencher o Bussines Model Canvas da sua empresa. Brasil, 25 set. 2019. Disponível em: <<https://www.sebraepr.com.br/canvas-como-estruturar-seu-modelo-de-negocios/>>. Acesso em: 26 ago. 2022.

CANVAS: COMO E POR QUE UTILIZAR ESTA FERRAMENTA PARA CRIAR O SEU MODELO DE NEGÓCIO. Brasil, 10 abr. 2017. Disponível em: <<https://inovacaosebraeminas.com.br/canvas-como-e-por-que-utilizar-esta-ferramenta-para-criar-o-seu-modelo-de-negocio/>>. Acesso em: 26 ago. 2022.

REDAÇÃO DO SITE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA. Caminhões aerodinâmicos podem economizar bilhões em combustível. Disponível em: <<https://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=caminhoes-aerodinamicos&id=010170150106#.YnHo9f7MKMo>>. Acesso em 22 mar. 2022.

BLOG IDEAL SIMULATIONS. Trailer Skirts Aerodynamics. Disponível em: <<https://www.idealsimulations.com/blog/trailer-skirts-aerodynamics>>. Acesso em 03 abr. 2022.

OHIO SUPERCOMPUTER CENTER. Testing Greener Tractor Trailers. Disponível em: <https://www.osc.edu/press/testing_greener_tractor_trailers>. Acesso em 03 abr. 2022.

VORBLADE. Streamlines air, Compensates Cross Winds and Reduce Air Drag. Disponível em: <<https://vorblade.com/howitworks/>>. Acesso em 13 ago. 2022.

ÇENGEL, Yunus A.; BOLES, Michael A. **Termodinâmica**. 7. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2013.

Qual é a velocidade ideal para o tráfego dos caminhões? **Autotrak**, [S.1], 7 de abril. 2017. Disponível em: <<https://www.autotrak.com.br/noticias/qual-e-a-velocidade-ideal-para-o-trafego-dos-caminhoes/>>. Acesso em: 20 de nov. 2022.

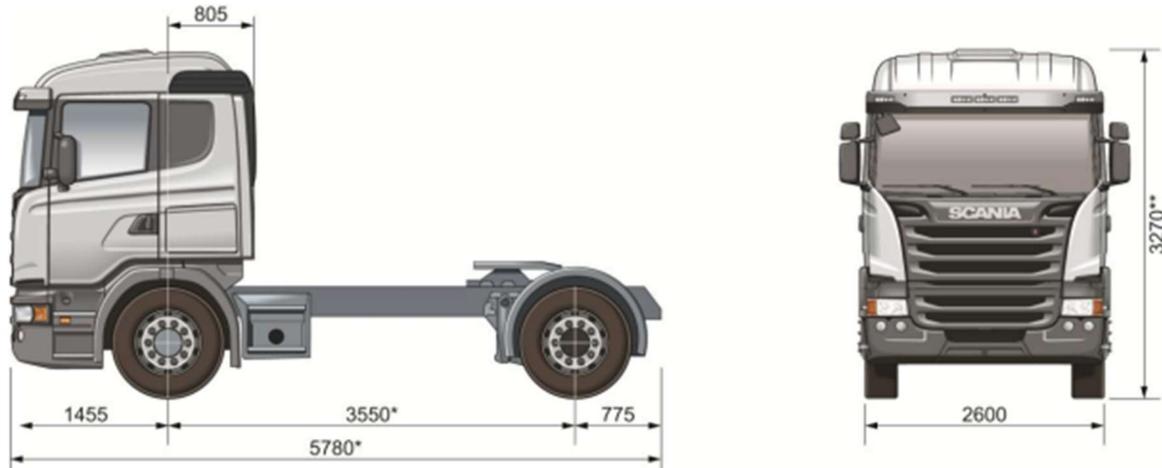
Authenticated U.S. Government Information, Federal Register, v. 81, n.206. 25 out. 2016.

Como são formados os preços. **Petrobras**, [S.1], 30 de set. 2022. Disponível em: <https://precos.petrobras.com.br/sele%C3%A7%C3%A3o-de-estados-diesel?gclid=EAlaIqobChMI05e5q569-wlVDdORCh1vywDjEAAYASAAEgJ3OfD_BwE>. Acesso em: 30 de set. 2022.

Pesquisa CNT perfil dos caminhoneiros 2019. **Confederação Nacional dos Transportes**. 2019. Disponível em: <<https://www.cnt.org.br/perfil-dos-caminhoneiros>>. Acesso em 19 nov. 2022.

BUDYNAS, Richard G.; NISBETT, Keith J. **ELEMENTOS DE MÁQUINAS DE SHIGLEY**. 10. ed. Brasil: AMGH, 2016.

ANEXO B – FICHA TÉCNICA: SCANIA G 400 LA4X2



Motor

Motor 13 litros – Proconve Fase 7
DC13 113 400 cv

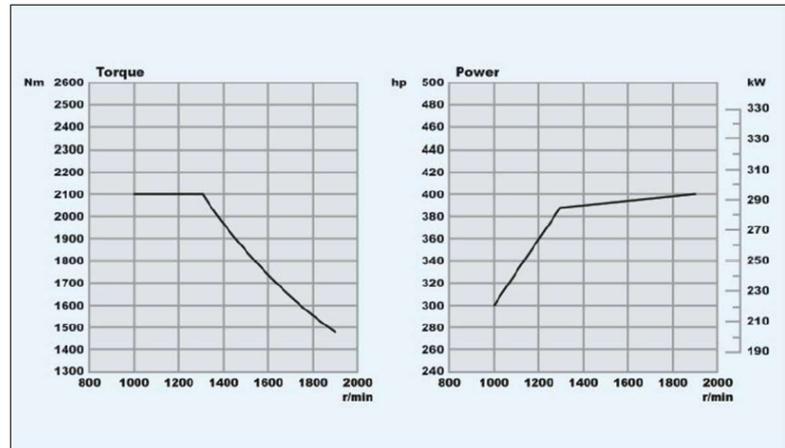
Motor diesel de 6 cilindros em linha com injeção direta de combustível em conformidade com níveis de emissões Proconve Fase P7. Equipado com o sistema de injeção PDE com unidades injetoras, cabeçotes individuais, 4 válvulas por cilindro, turbo compressor, intercooler e sistema de tratamento de gases SCR.

Tomada de ar

- ▶ Traseira
- Frontal

Filtro de ar de segurança

- ▶ Sem
- Com



Cilindrada (litros).....	12.7
Potência Máxima.....	400 hp (294) kW a 1900 rpm
Torque Máximo.....	2100 Nm entre 1000 a 1300 rpm
Capacidade de Óleo.....	36 dm ³
Freio Motor.....	261 kW a 2400 rpm

Pneus e Rodas

- ▶ Rodas em aço 8,25 x 22,5" e pneus radiais sem câmara 295/80R22,5.
- Rodas em alumínio 8,25 x 22,5" e pneus radiais sem câmara 295/80R22,5.

Pesos e Cargas

Pesos* (kg)	
Dianteiro	5179
Traseiro	2622
Total	7801

Veículo em ordem de marcha
(tanque cheio + líquido)

Capacidade técnica do eixo dianteiro

- ▶ 6.700 kg

Capacidade técnica do eixo traseiro

- ▶ 13.000 kg

PBT peso bruto total técnico

- ▶ 19.700 kg

Caixa de Câmbio

GRSO905 com Opticruise - Caixa de câmbio de 14 velocidades, duas 2 super lentas (crawler) e 1 overdrive. Caixa potente adaptada para condições de transporte exigentes como operações de construção pesada ou transportes de longo curso, em que o consumo de combustível deve ser otimizado.

GRSO905 – 14 Velocidades (2 superlentas e 1 overdriver)	
R	11,95:1
CL	13,28:1
CH	10,63:1
1ª = 1L	9,16:1
2ª = 1H	7,33:1
3ª = 2L	5,82:1
4ª = 2H	4,66:1
5ª = 3L	3,75:1
6ª = 3H	3,00:1
7ª = 4L	2,44:1
8ª = 4H	1,96:1
9ª = 5L	1,55:1
10ª = 5H	1,24:1
11ª = 6L	1,00:1
12ª = 6H	0,80:1