



# **Implementação de sistema VECTO em veículos em Portugal**

Mestrado em Engenharia Automóvel

Duarte Silva Vieira

Leiria, setembro de 2024





# **Implementação de sistema VECTO em veículos em Portugal**

Mestrado em Engenharia Automóvel

Duarte Silva Vieira

Projeto Automóvel de Mestrado realizado sob a orientação do Professor Doutor Luís Manuel  
Ventura Serrano da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Politécnico de Leiria

Leiria, setembro de 2024

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

# **Originalidade e Direitos de Autor**

O presente relatório de projeto é original, elaborado unicamente para este fim, tendo sido devidamente citados todos os autores cujos estudos e publicações contribuíram para o elaborar.

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição de que seja mencionado o Autor e feita referência ao ciclo de estudos no âmbito do qual o mesmo foi realizado, a saber, Curso de Mestrado em Engenharia Automóvel, no ano letivo 2023/2024, da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria, Portugal, e, bem assim, à data das provas públicas que visaram a avaliação destes trabalhos.

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

# Agradecimentos

Quero agradecer, em primeiro lugar, ao meu orientador Professor Doutor Luís Manuel Ventura Serrano pela sua disponibilidade, acompanhamento, ajuda e sugestões ao longo da realização do presente projeto.

À empresa VZ Trailer pela disponibilidade e visita às suas instalações e um especial agradecimento ao senhor Gabriel Vaz pelo conhecimento e experiência transmitida.

A todos os professores do mestrado de Engenharia Automóvel do Politécnico de Leiria pelo acompanhamento e formação ao longo do meu percurso académico.

Um agradecimento muito especial à minha família, em especial aos meus pais e irmão, por acreditarem em mim, me apoiarem e me transmitirem importantes valores que tornaram possível a realização deste projeto e conclusão do curso.

A todos os meus colegas de curso e aos meus amigos por todo o companheirismo, diversão e momentos proporcionados ao longo do meu percurso académico.

Um especial obrigado ao meu colega Diogo Silva pela disponibilidade e troca de informação necessária para a realização deste projeto.

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

# Resumo

O presente projeto tem como objetivo implementar a ferramenta VECTO em veículos em Portugal e analisar a ferramenta e todos os seus parâmetros de simulação, de forma a numa fase final simular um veículo real para fins de homologação e de otimização.

A VECTO, ou *Vehicle Energy Consumption calculation Tool*, é uma ferramenta de simulação desenvolvida pela Comissão Europeia utilizada para o cálculo do consumo de combustível e de emissões de CO<sub>2</sub> de veículos pesados para fins de homologação. Antes de ser efetuada a matrícula de qualquer veículo pesado é necessário efetuar uma simulação nesta ferramenta, que tem como objetivo garantir a existência de um método de simulação normalizado para calcular o consumo de combustível e de emissões de CO<sub>2</sub>.

Inicialmente neste projeto são apresentados alguns dados referentes aos gases de efeito de estufa e quais os setores que mais contribuem para as emissões destes gases. De seguida é resumida a legislação relacionada com a ferramenta VECTO e quais os limites de emissões de CO<sub>2</sub> que os veículos necessitam de cumprir, assim como as coimas aplicadas caso não haja cumprimento. Após esta introdução ao tema analisou-se a ferramenta VECTO e todos os parâmetros necessários para efetuar uma simulação. Relacionado a esta análise verificou-se qual a influência que certos parâmetros têm no consumo de combustível e nas emissões de CO<sub>2</sub> concluindo-se que a resistência aerodinâmica, a carga transportada pelo veículo e a resistência ao rolamento são os parâmetros que mais influenciam o consumo de combustível e conseqüentemente as emissões de CO<sub>2</sub>. Devido à pouca fabricação de veículos trator em Portugal e à maior fabricação de reboques em Portugal decidiu-se analisar a ferramenta VECTO Trailer, uma ferramenta especializada no cálculo da influência do reboque no consumo de combustível e emissões de CO<sub>2</sub> de um veículo pesado. Também se observou qual o impacto de certos parâmetros no consumo de combustível e nas emissões de CO<sub>2</sub>.

Para finalizar este projeto decidiu-se simular dois casos reais e utilizou-se a ferramenta VECTO Trailer para simular a homologação de um semirreboque e utilizou-se a ferramenta VECTO para simular o consumo de um camião rígido conhecido num percurso conhecido e assim verificar qual a precisão da ferramenta. Também se otimizou o camião rígido com a colocação de pneus mais eficientes e com a introdução de dispositivos aerodinâmicos, ambos com o objetivo de reduzir o consumo de combustível e obter retorno financeiro.

**Palavras-chave:** VECTO, VECTO Trailer, consumo de combustível, emissões de CO<sub>2</sub>, homologação.

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

# Abstract

The aim of this project is to implement the VECTO tool in vehicles in Portugal and to analyse the tool and all its simulation parameters, so that in the final phase a real vehicle can be simulated for homologation and optimisation purposes.

VECTO, or Vehicle Energy Consumption calculation Tool, is a simulation tool developed by the European Commission used to calculate the fuel consumption and CO<sub>2</sub> emissions of heavy vehicles for type-approval purposes. Before any heavy goods vehicle can be registered, a simulation must be carried out using this tool, which aims to ensure that there is a standardised simulation method for calculating fuel consumption and CO<sub>2</sub> emissions.

Firstly in this project some data is presented on greenhouse gases and which sectors contribute most to emissions of these gases. This is followed by a summary of the legislation related to the VECTO tool and the CO<sub>2</sub> emission limits that vehicles need to comply with, as well as the fines applied in the event of non-compliance. After this introduction to the subject, the VECTO tool and all the parameters needed to carry out a simulation were analysed. Related to this analysis, the influence of certain parameters on fuel consumption and CO<sub>2</sub> emissions was analysed and it was concluded that aerodynamic resistance, the load carried by the vehicle and the rolling resistance are the parameters that most influence fuel consumption and consequently CO<sub>2</sub> emissions. Due to the low number of tractor units manufactured in Portugal and the higher number of trailers manufactured in Portugal, it was decided to analyse the VECTO Trailer tool, a tool specialised in calculating the influence of the trailer on the fuel consumption and CO<sub>2</sub> emissions of a heavy vehicle. The influence of certain parameters on fuel consumption and CO<sub>2</sub> emissions was also analysed.

To finalise this project, it was decided to simulate two real cases and use the VECTO Trailer tool to simulate the homologation of a semi-trailer and the VECTO tool to simulate the consumption of a known rigid truck on a known route and thus check the accuracy of the tool. The rigid truck was also optimised by fitting more efficient tyres and by introducing aerodynamic devices, both with the aim of reducing fuel consumption and obtaining a financial return.

**Keywords:** VECTO, VECTO Trailer, fuel consumption, CO<sub>2</sub> emissions, homologation

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

# Índice

<b>Originalidade e Direitos de Autor</b> .....	<b>iii</b>
<b>Agradecimentos</b> .....	<b>v</b>
<b>Resumo</b> .....	<b>vii</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>ix</b>
<b>Lista de Figuras</b> .....	<b>xiii</b>
<b>Lista de Tabelas</b> .....	<b>xvii</b>
<b>Lista de Siglas e Acrónimos</b> .....	<b>xix</b>
<b>1 Introdução</b> .....	<b>1</b>
1.1. Enquadramento e motivação .....	1
1.2. Estrutura do projeto .....	2
1.3. Objetivos .....	3
<b>2 Gases de efeito de estufa</b> .....	<b>5</b>
2.1. Emissões nacionais de gases de efeito de estufa .....	7
<b>3 Legislação referente a emissões de CO<sub>2</sub></b> .....	<b>11</b>
3.1. Subgrupo de veículos .....	12
3.2. Emissões Específicas Médias de CO <sub>2</sub> por Fabricante e Objetivo Específico Anual .....	13
3.3. Cumprimento do Objetivo Específico Anual .....	15
3.4. Comunicação das emissões de CO <sub>2</sub> .....	17
<b>4 Ferramenta VECTO</b> .....	<b>19</b>
4.1. Dados de entrada .....	21
4.1.1. Categoria General .....	22
4.1.2. Categoria Auxiliaries .....	34
4.1.3. Categoria Cycles .....	36
4.1.4. Categoria Driver Model .....	40
4.1.5. Categoria ADAS Parameters .....	42
4.2. Simulação na ferramenta VECTO .....	45
4.3. Dados de saída da ferramenta VECTO .....	48
<b>5 Influência dos parâmetros na ferramenta VECTO</b> .....	<b>51</b>
5.1. Influência dos parâmetros na opção Vehicle .....	52
5.1.1. Influência da carga .....	52
5.1.2. Influência do parâmetro Cd x A .....	55
5.1.3. Influência do parâmetro Wind Correction .....	58
5.1.4. Influência da distribuição da carga .....	59
5.1.5. Influência da dimensão da roda e de utilização de twin tyre .....	61

5.1.6. Influência da resistência do pneu ao rolamento .....	63
5.2. Influência dos parâmetros na opção Engine .....	65
5.3. Influência dos parâmetros na opção Gearbox .....	67
5.3.1. Influência do tipo de transmissão .....	67
5.3.2. Influência da eficiência das engrenagens e do eixo .....	68
5.3.3. Influência dos parâmetros da caixa de velocidades .....	71
5.4. Influência dos parâmetros na categoria Auxliaries.....	72
5.5. Influência dos parâmetros na categoria Driver Model .....	74
5.5.1. Influência do parâmetro Overspeed .....	74
5.5.2. Influência do mapa de aceleração .....	75
5.5.3. Influência do parâmetro Look-Ahead Coasting .....	77
5.6. Influência dos parâmetros na categoria ADAS .....	78
5.7. Conclusões da análise da influência dos parâmetros na ferramenta VECTO .....	80
<b>6 Ferramenta VECTO Trailer .....</b>	<b>87</b>
6.1. Dados de entrada da ferramenta VECTO Trailer .....	88
6.2. Simulação na ferramenta VECTO Trailer.....	92
6.3. Dados de saída da ferramenta VECTO Trailer .....	98
<b>7 Influência dos parâmetros na VECTO Trailer.....</b>	<b>101</b>
7.1. Influência dos parâmetros na opção Dimensions.....	102
7.2. Influência dos dispositivos aerodinâmicos .....	104
7.3. Influência da massa do semirreboque .....	105
7.4. Influência dos parâmetros na opção Axle and Tyre .....	107
<b>8 Implementação da ferramenta VECTO em casos reais .....</b>	<b>111</b>
8.1. Homologação através da VECTO Trailer.....	112
8.2. Otimização de um veículo através da VECTO.....	116
8.2.1. Caraterização do camião rígido .....	117
8.2.2. Caraterização do percurso realizado.....	118
8.2.3. Validação dos resultados obtidos.....	120
8.2.4. Otimização através da alteração de pneus .....	121
8.2.5. Otimização através de dispositivos aerodinâmicos .....	124
<b>9 Conclusão .....</b>	<b>127</b>
<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>131</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>137</b>

# Lista de Figuras

Figura 1 - Setores com maior contribuição para as emissões de gases de efeito de estufa [2].....	6
Figura 2 - Emissões de gases de efeito de estufa para o setor da energia [2].....	6
Figura 3 - Emissões de gases de efeito de estufa para o setor dos transportes [2] .....	7
Figura 4 - Setores nacionais com maior contribuição para emissões de gases de efeito de estufa [4] .....	7
Figura 5 - Evolução das emissões de CO <sub>2</sub> nacionais [4].....	8
Figura 6 - Evolução das emissões de CO <sub>2</sub> nacionais para o setor dos transportes [4].....	8
Figura 7 - Interface dos dados de entrada na ferramenta VECTO [13].....	21
Figura 8 - Interface da opção "Vehicle" na ferramenta VECTO [13].....	22
Figura 9 - Correção do valor de CdxA em função da velocidade na ferramenta VECTO [14].....	24
Figura 10 - Configuração do eixo do veículo na ferramenta VECTO [13].....	25
Figura 11 - Definição das características do powertrain na opção "Vehicle" [13] .....	26
Figura 12 - Consumo de potência por cada tipo de PTO [15].....	27
Figura 13 - Definição das características do PTO na opção "Vehicle" [13] .....	27
Figura 14 - Interface da opção "Engine" na ferramenta VECTO [13] .....	28
Figura 15 - Exemplo do mapa do motor na ferramenta VECTO [13] .....	28
Figura 16 - Exemplo da composição do mapa do motor na ferramenta VECTO [13].....	29
Figura 17 - Exemplo da composição do mapa de consumo na ferramenta VECTO [13].....	29
Figura 18 - Definição do sistema WHR na ferramenta VECTO [13].....	31
Figura 19 - Interface da opção "Gearbox" na ferramenta VECTO [13].....	32
Figura 20 - Exemplo da composição do mapa de eficiência na ferramenta VECTO [13].....	33
Figura 21 - Exemplo de um algoritmo de Shift Polygons [14] .....	33
Figura 22 - Interface da categoria "Auxiliaries" na ferramenta VECTO [13] .....	35
Figura 23 - Percentagem de utilização do sistema de ar condicionado num veículo pesado .....	36
Figura 24 - Exemplo de um perfil de exploração "Regional Delivery" [20].....	38
Figura 25 - Camião rígido com reboque [15].....	40
Figura 26 - Interface da categoria "Driver Model" na ferramenta VECTO [13] .....	40
Figura 27 - Exemplo de mapa de aceleração na ferramenta VECTO [12] .....	42
Figura 28 - Interface da categoria "ADAS Parameters" na ferramenta VECTO [13].....	43
Figura 29 - Definição das características do "Predictive Cruise Control" na ferramenta VECTO [13] .....	44
Figura 30 - Estruturação de uma simulação na ferramenta VECTO [14] .....	46
Figura 31 - Esquema de uma simulação na ferramenta VECTO .....	47
Figura 32 - Quantidade de CO <sub>2</sub> presente em cada combustível disponível na ferramenta VECTO [15] .....	48
Figura 33 - Exemplo do ficheiro "Manufacturer Report" obtida na ferramenta VECTO [13].....	48
Figura 34 - Tara média dos tipos de veículos pesados [25].....	53
Figura 35 - Consumo de combustível e emissões de CO <sub>2</sub> variando os valores de carga .....	54
Figura 36 - Gráfico do consumo de combustível e emissões de CO <sub>2</sub> variando os valores de carga .....	54
Figura 37 - Consumo de combustível por tonelada quilómetro e emissões de CO <sub>2</sub> variando os valores de carga .....	55
Figura 38 - Valores de Cd de referência de veículos [28].....	56
Figura 39 - Valores de CdxA de referência para veículos pesados [11] .....	57
Figura 40 - Consumo de combustível e emissões de CO <sub>2</sub> variando os valores de CdxA.....	57
Figura 41 - Gráfico do consumo de combustível e emissões de CO <sub>2</sub> variando os valores de Cd x A .....	58
Figura 42 - Consumo de combustível e emissões de CO <sub>2</sub> variando o parâmetro de correção para ventos laterais.....	59
Figura 43 - Exemplificação dos eixos do veículo pesado [13] .....	60
Figura 44 - Consumo de combustível e emissões de CO <sub>2</sub> variando a distribuição da carga .....	60
Figura 45 - Consumo de combustível e emissões de CO <sub>2</sub> variando as dimensões da roda .....	61

Figura 46 - Gráfico do consumo de combustível e emissões de CO2 variando as dimensões da roda .....	62
Figura 47 - Consumo de combustível e emissões de CO2 de acordo com a utilização de twin tyre .....	62
Figura 48 - Número de pneus à venda das várias classes de eficiência energética [32].....	64
Figura 49 - Consumo de combustível e emissões de CO2 variando o valor do coeficiente de resistência ao rolamento .....	64
Figura 50 - Gráfico do consumo de combustível e emissões de CO2 variando o valor do CRR ....	65
Figura 51 - Consumo de combustível e emissões de CO2 variando o valor do Motoring Torque ...	66
Figura 52 - Tempo de Coasting variando o valor do Motoring Torque .....	67
Figura 53 - Consumo de combustível e emissões de CO2 variando o tipo de caixa de velocidades .....	68
Figura 54 - Eficiência da transmissão dos vários subgrupos de veículos [11].....	69
Figura 55 - Consumo de combustível e emissões de CO2 variando a eficiência da transmissão...	69
Figura 56 - Gráfico do consumo de combustível e emissões de CO2 variando a eficiência da transmissão .....	70
Figura 57 - Consumo de combustível e emissões de CO2 variando a eficiência do eixo .....	70
Figura 58 - Consumo de combustível e emissões de CO2 variando os parâmetros da caixa de velocidades.....	71
Figura 59 - Potência consumida pelos auxiliares de um veículo pesado [34] .....	72
Figura 60 - Consumo de combustível e emissões de CO2 variando a potência dos auxiliares .....	73
Figura 61 - Gráfico do consumo de combustível e emissões de CO2 variando a potência dos auxiliares .....	74
Figura 62 - Consumo de combustível e emissões de CO2 variando os parâmetros de Overspeed	75
Figura 63 - Valores comuns de aceleração máxima e média de um veículo pesado [35].....	76
Figura 64 - Consumo de combustível e emissões de CO2 variando os valores do mapa de aceleração.....	76
Figura 65 - Consumo de combustível e emissões de CO2 variando o parâmetro de Look-Ahead Coasting .....	77
Figura 66 - Consumo de combustível e emissões de CO2 variando o parâmetro de Stop/Start ....	78
Figura 67 - Consumo de combustível e emissões de CO2 variando o parâmetro de Eco-Roll.....	79
Figura 68 - Consumo de combustível e emissões de CO2 variando o parâmetro do Predictive Cruise Control.....	80
Figura 69 - Consumo de combustível e emissões de CO2 variando os valores de carga para um conjunto trator-semirreboque .....	82
Figura 70 - Consumo de combustível e emissões de CO2 variando os valores de CdxA para um conjunto trator-semirreboque .....	83
Figura 71 - Consumo de combustível e emissões de CO2 variando a potência dos auxiliares para um conjunto trator-semirreboque.....	84
Figura 72 - Consumo de combustível e emissões de CO2 variando o tipo de retarder para um conjunto trator-semirreboque .....	84
Figura 73 - Representação da interface da ferramenta VECTO Trailer [37].....	88
Figura 74 - Representação dos reboques considerados na ferramenta VECTO Trailer [39] .....	89
Figura 75 - Dispositivos aerodinâmicos admitidos na ferramenta VECTO Trailer [37].....	90
Figura 76 - Representação dos dispositivos aerodinâmicos admitidos na ferramenta VECTO Trailer [36] .....	90
Figura 77 - Redução do valor de CdxA em função dos dispositivos aerodinâmicos [41] .....	91
Figura 78 - Definição dos eixos na ferramenta VECTO Trailer [37] .....	91
Figura 79 - Diagrama dos veículos utilizados na ferramenta VECTO e VECTO Trailer.....	93
Figura 80 - Utilização do fator de correção no cálculo do consumo final de combustível .....	95
Figura 81 - Fator de redução de um eixo elevável na ferramenta VECTO Trailer [39] .....	96
Figura 82 - Fator de redução de um eixo direcional na ferramenta VECTO Trailer [39] .....	97
Figura 83 - Representação de um excerto de um ficheiro CIF [41].....	99
Figura 84 - Consumo de combustível e emissões de CO2 variando o comprimento na ferramenta VECTO Trailer.....	102

Figura 85 - Consumo de combustível e emissões de CO2 variando a largura na ferramenta VECTO Trailer.....	103
Figura 86 - Consumo de combustível e emissões de CO2 variando a altura na ferramenta VECTO Trailer .....	104
Figura 87 - Consumo de combustível e emissões de CO2 variando os dispositivos aerodinâmicos na ferramenta VECTO Trailer .....	105
Figura 88 - Massa do semirreboque e percentagem de vendas no mercado alemão [44].....	106
Figura 89 - Consumo de combustível e emissões de CO2 variando a massa na ferramenta VECTO Trailer .....	106
Figura 90 - Consumo de combustível e emissões de CO2 variando o eixo de pneu duplo na ferramenta VECTO Trailer.....	108
Figura 91 - Consumo de combustível e emissões de CO2 variando o eixo elevável na ferramenta VECTO Trailer.....	108
Figura 92 - Consumo de combustível e emissões de CO2 variando o eixo direcional na ferramenta VECTO Trailer.....	109
Figura 93 - Consumo de combustível e emissões de CO2 variando o valor de CRR na ferramenta VECTO Trailer.....	110
Figura 94 - Representação do semirreboque utilizado na simulação [46].....	112
Figura 95 - Introdução das características do semirreboque na VECTO Trailer.....	113
Figura 96 - Dados do veículo no "Customer's Information file" .....	113
Figura 97 - Dimensões do veículo no "Customer's Information file".....	114
Figura 98 - Dispositivos aerodinâmicos do veículo no "Customer's Information file" .....	114
Figura 99 - Características dos eixos e dos pneus do veículo no "Customer's Information file" ...	115
Figura 100 - Resultados da simulação do veículo no "Customer's Information file" .....	115
Figura 101 - Informação sobre o software no "Customer's Information file" .....	116
Figura 102 - Representação do camião rígido utilizado na simulação [47] .....	117
Figura 103 - Trajeto efetuado pelo veículo utilizado na simulação [48].....	119
Figura 104 - Altitude do percurso utilizado na simulação.....	120
Figura 105 - Poupança total e variação de consumo de combustível dependendo dos pneus utilizados.....	124
Figura 106 - Poupança total e variação de consumo de combustível dependendo dos dispositivos aerodinâmicos .....	126

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

## Lista de Tabelas

Tabela 1 - Subgrupos de veículos pesados aplicáveis no regulamento 2019/1242.....	12
Tabela 2 - Extensão dos ficheiros utilizados na ferramenta VECTO .....	20
Tabela 3 - Perfis de exploração presentes na ferramenta VECTO .....	37
Tabela 4 - Perfis de exploração para cada subgrupo de veículo.....	38
Tabela 5 - Cargas úteis em quilogramas aplicadas a cada subgrupo de veículos.....	39
Tabela 6 - Classe de eficiência energética e o respetivo valor do coeficiente de resistência ao rolamento para pneus da classe C3 .....	64
Tabela 7 - Comparação do consumo real do veículo com o consumo simulado .....	120
Tabela 8 - Custos dos pneus utilizados na simulação para a otimização do consumo de combustível.....	122
Tabela 9 - Poupança total com a introdução de pneus mais eficientes.....	123
Tabela 10 - Valores de CdxA, peso adicional e custo de dispositivos aerodinâmicos para otimização do consumo de combustível .....	125
Tabela 11 - Poupança total com a introdução de dispositivos aerodinâmicos .....	125
Tabela A1 - Quilometragem anual dos veículos pesados para cada subgrupo .....	138
Tabela A2 - Valores em toneladas para a carga útil do veículo, dependendo do subgrupo e do perfil de exploração .....	139
Tabela A3 - Peso do perfil de exploração dependendo do subgrupo do veículo .....	139

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

## Lista de Siglas e Acrónimos

ADAS	<i>Advanced Driver Assistance Systems</i>
AMS	<i>Air Management System</i>
Cd	Coeficiente de arrasto
CdxA	Coeficiente de arrasto vezes Área
CIF	<i>Customer's Information file</i>
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
CO <sub>2</sub> /kWh	Dióxido de carbono por Quilowatt hora
EMS	<i>European Modular System</i>
EPREL	Registo Europeu de Produtos para a Etiquetagem Energética
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
ESS	<i>Energy Storage System</i>
g	Gramas
GPS	<i>Global Positioning System</i>
g/km	Gramas por quilómetro
g/tkm	Gramas por tonelada quilómetro
IMTT	Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres
INRETS	<i>Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité</i>
kg	Quilograma
kgm <sup>2</sup>	Quilograma metro quadrado
km	Quilómetro
km/h	Quilómetro por hora
kW	Quilowatt
l/tkm	Litros por tonelada quilómetro
l/100km	Litros por 100 quilómetros
l/100tkm	Litros por 100 tonelada quilómetro
LH	Distribuição de Longo Curso
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
LULUCF	Emissões de uso do solo e florestas
m	Metro
m <sup>2</sup>	Metro quadrado
m <sup>3</sup> -km	Metro cúbico quilómetro
l/m <sup>3</sup> -km	Litro por metro cúbico quilómetro
m/s	Metro por segundo
m/s <sup>2</sup>	Metro por segundo quadrado
MRF	<i>Manufacturer's Records file</i>
PCC	<i>Predictive Cruise Control</i>
PIAC	Painel Intergovernamental sobre as Alterações Climáticas
PTO	Tomada de força
RD	Distribuição Regional
RRC	Coeficiente de resistência ao rolamento
UD	Distribuição Urbana
VECTO	<i>Vehicle Energy Consumption calculation Tool</i>

W	Watt
WHR	<i>Waste Heat Recovery</i>
WHTC	<i>World Harmonized Transient Cycle</i>
XML	<i>Extensible Markup Language</i>

## Simbologia

$A$	Área da secção do veículo
$avgCO_{2sg}$	Emissões específicas médias de CO <sub>2</sub>
$C_d A(\beta)$	Produto do coeficiente de arrasto pela área em função do ângulo de direção
$C_{d,v} A(V_{veh})$	Coeficiente de arrasto vezes área corrigido em função da velocidade
$CO_{2r-gen}$	Emissões de CO <sub>2</sub> de um camião genérico com um reboque genérico
$CO_{2r-ref}$	Emissões de CO <sub>2</sub> de um camião genérico com um reboque de referência
$CO_{2r-spec}$	Emissões de CO <sub>2</sub> de um camião genérico com um reboque específico
$EUR/gCO_2/tkm$	Euros por gramas de dióxido de carbono por tonelada quilómetro
$F_d$	Força de arrasto
$h$	Altura em relação à estrada
$h_{veh}$	Altura do veículo
$MPW_{sg}$	Fator de ponderação da quilometragem e da carga útil
$rCO_{2sg}$	Emissões de referência de CO <sub>2</sub>
$rf$	Objetivo de redução das emissões de CO <sub>2</sub> em percentagem aplicável ao ano de referência em causa
$share_{sg}$	Percentagem de veículos pesados novos de um fabricante do subgrupo de veículos
$v_{air}$	Velocidade resultante entre a velocidade do vento e a velocidade do veículo
$v_{veh}$	Velocidade do veículo
$ZLEV$	Fator com nível nulo ou baixo de emissões
$\sum_{sg}$	Somatório de todos os subgrupos de veículos
$\alpha$	Direção do vento em relação ao veículo
$\rho$	Densidade do ar

# 1

## Introdução

### 1.1. Enquadramento e motivação

As alterações climáticas representam um dos maiores desafios da atualidade. Uma das principais causas destas alterações climáticas é a acumulação dos gases de efeito de estufa na atmosfera, como o caso do dióxido de carbono, que aumentam a temperatura global do planeta, causando o degelo dos polos e aumentando a frequência de fenómenos meteorológicos graves. De forma a reduzir o aumento de temperatura global entrou em vigor em 2016 o acordo de Paris com o principal objetivo de limitar o aumento da temperatura média global. Para limitar este aumento de temperatura é imperativo reduzir as emissões de dióxido de carbono em todos os setores, sendo um deles o setor dos transportes. Ao longo dos anos tem existido um aumento do tráfego de veículos e devido a isto e à estagnação da eficiência dos veículos pesados as emissões de CO<sub>2</sub> no setor dos transportes está com uma tendência crescente.

Assim é essencial aplicar medidas que incentivam a indústria dos transportes, nomeadamente a indústria dos veículos pesados, a fabricarem veículos mais eficientes e até com um nível zero de emissões. Deste modo a Comissão Europeia estabeleceu normas de desempenho em matéria de emissões de CO<sub>2</sub> dos veículos pesados novos, obrigando todos os fabricantes a apresentar ao cliente e à Comissão os valores de consumo de combustível e emissões de dióxido de carbono do veículo pesado novo. Desta forma um cliente ao adquirir um veículo pode tomar uma decisão muito mais consciente, uma vez que conhece qual o consumo de combustível do veículo que está a adquirir.

Para a determinação dos valores de consumo de combustível e emissões de dióxido de carbono do veículo pesado foi excluído a opção de testes em laboratório, uma vez que existe uma grande variedade de configurações de veículos, tornando os testes experimentais pouco viáveis em termos práticos e monetários. Deste modo, a Comissão Europeia decidiu que a opção mais prática para o cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> e de consumo de combustível de forma normalizada era através de uma simulação do veículo recorrendo a um software.

A VECTO, ou *Vehicle Energy Consumption calculation Tool*, foi a ferramenta de simulação desenvolvida pela Comissão Europeia utilizada para o cálculo do consumo de combustível e de emissões de CO<sub>2</sub> de veículos pesados. Foi através desta ferramenta que foi estabelecido o tema para este projeto, que tem como principal objetivo analisar esta ferramenta desenvolvida pela Comissão Europeia para fins de homologação do veículo e de otimização do próprio veículo.

## **1.2. Estrutura do projeto**

O presente projeto está dividido em nove principais capítulos, onde são tratadas e apresentadas todas as considerações relevantes para a análise e implementação da ferramenta VECTO em veículos em Portugal.

No capítulo 1 é feita uma breve introdução e enquadramento do projeto, referindo qual o principal objetivo e qual a motivação.

No 2º capítulo é feita uma análise aos gases de efeito de estufa e quais os setores com maior impacto, tanto globalmente como em território nacional.

O capítulo 3 sumaria as principais medidas e legislação que a União Europeia estabeleceu para as emissões de dióxido de carbono emitidas pelos veículos pesados. Também são referidos quais os tipos de veículos que estão abrangidos pela legislação estabelecida.

No capítulo 4 é apresentada uma explicação da ferramenta VECTO, ferramenta definida pela EU como obrigatória no processo de homologação de veículos pesados. São apresentados todos os parâmetros necessários de definir em relação às características do veículo, aos perfis de exploração e aos parâmetros de simulação. É esclarecido como funciona o processo e esquema de simulação e quais os dados de saída após feita a simulação.

No 5º capítulo é realizado um teste de influência de certos parâmetros no consumo de combustível e emissões de CO<sub>2</sub>, verificando qual o impacto que certos parâmetros, como a resistência ao rolamento, a carga útil transportada pelo veículo entre outros, têm no consumo de combustível e emissões de CO<sub>2</sub>.

O capítulo 6 consiste na análise da ferramenta VECTO Trailer, ferramenta definida pela EU como obrigatória no processo de homologação de reboques. São também apresentados todos os parâmetros necessários de definir em relação às características do reboque, algumas considerações no processo de simulação e quais os dados de saída após feita a simulação.

O capítulo 7 reúne todas as simulações da influência de certos parâmetros do reboque no consumo de combustível e emissões de CO<sub>2</sub>, como a resistência ao rolamento, a carga útil transportada, a utilização de dispositivos aerodinâmicos, entre outros.

No 8º capítulo são apresentados dois casos de estudo, sendo um deles a simulação de um semirreboque na ferramenta VECTO Trailer para fins de homologação e o segundo caso simula um camião rígido conhecido num percurso conhecido de forma a validar os resultados obtidos pela ferramenta VECTO. É também realizada uma simulação de forma a otimizar o camião rígido com a introdução de pneus mais eficientes e com dispositivos aerodinâmicos.

No 9º e último capítulo são apresentadas as conclusões da implementação da ferramenta VECTO em veículos em Portugal.

No final do projeto são ainda reunidos anexos relativos a equações utilizadas na fase de legislação e anexos relativos a características dos veículos utilizados.

### **1.3. Objetivos**

O presente projeto tem como principal objetivo implementar a ferramenta VECTO em veículos em Portugal, e assim analisar a ferramenta e todos os seus parâmetros de simulação, de forma a numa fase final simular um veículo real para fins de homologação e de otimização.

Para cumprir com o principal objetivo foi necessário primeiro entender toda a legislação referente a emissões de CO<sub>2</sub> por detrás da ferramenta sendo um dos objetivos explorar o sistema de débitos e créditos de emissões que um fabricante necessita de respeitar.

Um outro objetivo passou por entender todos os parâmetros necessários para efetuar uma simulação na ferramenta VECTO, desde a caracterização do veículo, a caracterização dos auxiliares, a definição dos perfis de exploração e de todos os parâmetros de simulação. Também se pretendeu analisar o esquema e a estrutura de simulação e todos os dados de saída da ferramenta. Outro objetivo relacionado com os parâmetros da ferramenta foi o estudo da sua influência. Pretendeu-se definir como objetivo o teste da influência de vários parâmetros da ferramenta no consumo de combustível e emissões de CO<sub>2</sub>, e assim verificar quais os parâmetros que têm maior impacto no consumo de combustível e emissões de CO<sub>2</sub>.

Um importante objetivo deste projeto foi analisar a ferramenta VECTO Trailer, uma ferramenta especializada no cálculo da influência do semirreboque no consumo de combustível e emissões de CO<sub>2</sub> de um veículo pesado, uma vez que a fabricação de semirreboques é muito mais elevada em Portugal do que a fabricação de veículos trator. Complementar a este objetivo também se testou a influencia dos vários parâmetros da ferramenta no consumo de combustível e emissões de CO<sub>2</sub>.

O objetivo final deste projeto e indo ao encontro do objetivo principal foi a simulação e a otimização de um veículo real, utilizando a ferramenta VECTO e a ferramenta VECTO Trailer. Pretendeu-se verificar se a utilização da ferramenta VECTO Trailer, para um processo de homologação, era um processo direto e simples e também se pretendeu verificar se era possível utilizar a ferramenta VECTO para otimizar um veículo pesado, e se sim que ganhos monetários é que se poderiam obter com simples alterações.

# 2

## Gases de efeito de estufa

As alterações climáticas são uma das maiores problemáticas dos nossos tempos. Cada vez mais é evidente que a atividade humana está a alterar o clima do nosso planeta, e isto é comprovado pelo aumento da temperatura da atmosfera e dos oceanos, o aumento do nível médio do mar, do enorme declínio dos gelos no ártico e pelas ondas de calor. Uma das razões para estas alterações climáticas é a acumulação dos gases de efeito de estufa na atmosfera. O gás de efeito de estufa mais abundante é o dióxido de carbono, CO<sub>2</sub>, que é libertado a partir da queima de combustíveis fósseis, como carvão, petróleo e gás natural. Para evitar um aumento descontrolado das alterações climáticas, entrou em vigor em novembro de 2016 o acordo de Paris que estabeleceu como principal objetivo limitar o aumento da temperatura média global a níveis abaixo dos 2 graus centígrados acima dos níveis pré-industriais. Este acordo também estabeleceu que fossem feitos todos os esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5 graus centígrados, já que consoante o Painel Intergovernamental sobre as Alterações Climáticas (PIAC), um aumento de temperatura superior a 1,5 graus centígrados tem um grande impacto ambiental. De forma a serem cumpridos os objetivos do acordo de Paris é necessário reduzir as emissões de gases de efeito de estufa, nomeadamente o CO<sub>2</sub>, em todas as fontes. [1]

A fonte principal das emissões de gases de efeito de estufa é o setor da energia com 75,6% das emissões. Outra fonte com um papel relevante nas emissões de gases de efeito de estufa é a agricultura, uma vez que outro gás que contribui para o efeito de estufa é o

metano, assim a fonte da agricultura tem uma percentagem global de emissões de 11,6%, como se verifica pela Figura 1.

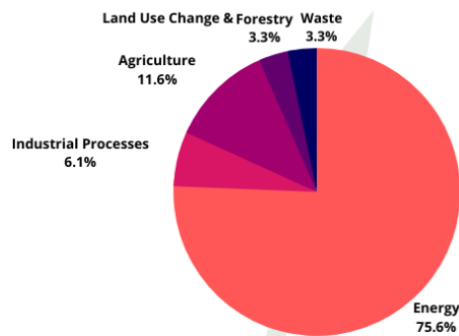


Figura 1 - Setores com maior contribuição para as emissões de gases de efeito de estufa [2]

O âmbito da energia é um setor muito abrangente, logo é necessário dividi-lo em subsectores, para se entender melhor quais os maiores fatores de emissão de gases de efeito de estufa. Como representa a Figura 2 o setor da energia que contribui com as maiores emissões de gases de efeito de estufa é o setor da eletricidade e aquecimento. Este setor é responsável por 42,1% das emissões que corresponde, de acordo com valores de 2023, a 15,83 Giga toneladas de CO<sub>2</sub>.

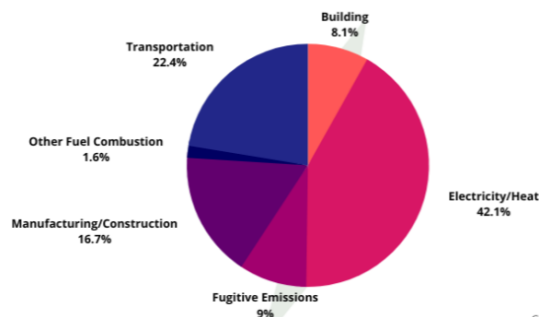


Figura 2 - Emissões de gases de efeito de estufa para o setor da energia [2]

O setor dos transportes traduz mais de um quinto das emissões globais de gases de efeito de estufa no domínio da energia, o que corresponde a cerca de 16,93% das emissões globais de gases de efeito de estufa. Destes 22,4% de emissões os maiores responsáveis são os veículos de passageiros que correspondem a 44,4% das emissões, como representa a Figura 3.

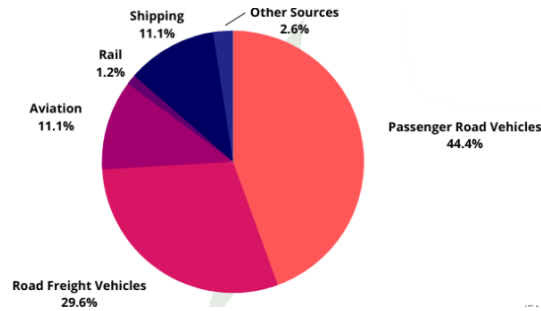


Figura 3 - Emissões de gases de efeito de estufa para o setor dos transportes [2]

Verifica-se que outro grande causador das emissões de gases de efeito de estufa são os veículos pesados, como os camiões e autocarros, com 29,6%. Com o aumento do tráfego de veículos pesados e com a estagnação da eficiência dos veículos é estimado que a proporção das emissões de CO<sub>2</sub> dos veículos pesados aumente 9% entre 2010 e 2030, como refere a Comissão Europeia no regulamento 2017/2400. [3]

## 2.1. Emissões nacionais de gases de efeito de estufa

Analisando as emissões de CO<sub>2</sub> de Portugal, percebe-se que o país segue a tendência dos valores globais. De acordo com o Inventário Nacional de Emissões 2023, o setor da energia representa cerca de 66% das emissões nacionais, enquanto o setor da agricultura é o segundo setor com maiores emissões, como está representado na Figura 4.

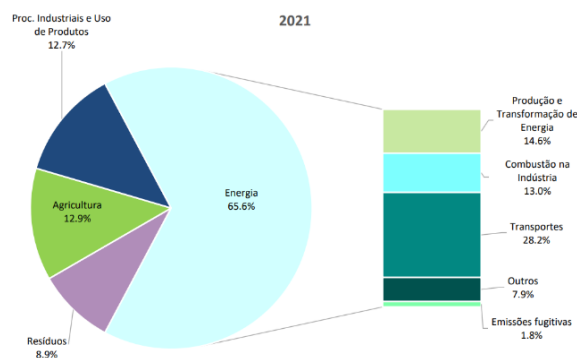


Figura 4 - Setores nacionais com maior contribuição para emissões de gases de efeito de estufa [4]

Como se verifica pela Figura 4, os maiores contribuintes das emissões de CO<sub>2</sub> para o setor da energia são os transportes e a produção e transformação de energia, representando cerca de 28% e 15% respetivamente.

Analisando a evolução das emissões de CO<sub>2</sub> nacionais desde o ano de 1990 observa-se uma redução de cerca de 5,1% face a 1990 e de 34,8% face a 2005, como está ilustrado na Figura 5. É de notar que nestes valores não estão contabilizadas as emissões de uso do solo e florestas (LULUCF).

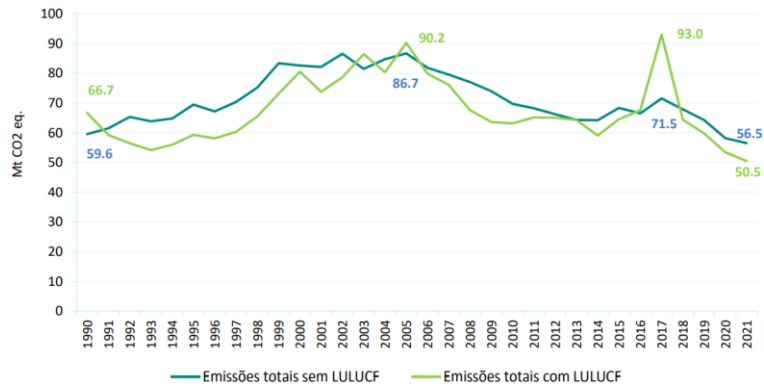


Figura 5 - Evolução das emissões de CO<sub>2</sub> nacionais [4]

O aumento das emissões de CO<sub>2</sub> a partir do ano de 1990 deveu-se ao aumento da procura de energia e da mobilidade da década de 1990. A partir de 2005 iniciou-se um processo de redução das emissões, proporcionado pela aposta em combustíveis menos poluentes, pelo crescimento das fontes de energia renovável e pela implementação de medidas de eficiência energética, como pode ser consultado no Inventário Nacional de Emissões 2023. O aumento verificado nos anos de 2015 a 2017 está associado a anos de seca, o que favoreceu ao aumento dos níveis de emissões.

Observando a evolução das emissões nacionais para o setor dos transportes percebemos que houve um aumento das emissões de CO<sub>2</sub> no período entre 1990 e 2021 de cerca de 47%. A Figura 6 traduz a evolução das emissões de CO<sub>2</sub> neste período.

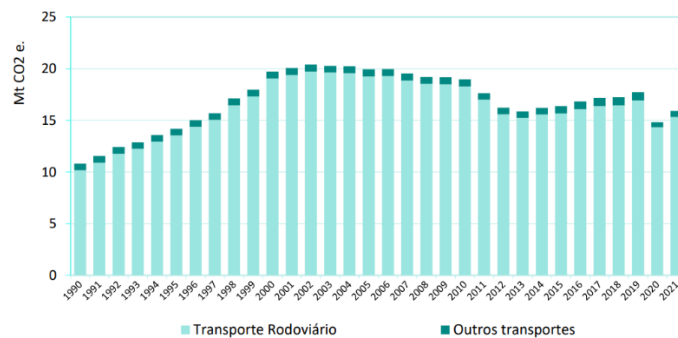


Figura 6 - Evolução das emissões de CO<sub>2</sub> nacionais para o setor dos transportes [4]

Até ao início dos anos 2000 houve um aumento constante das emissões de CO<sub>2</sub>, ao qual se seguiu um período de estabilização. A partir de 2010 começou a registar-se uma pequena diminuição das emissões, mas após 2013 esta tendência foi revertida com o aumento das emissões. A significativa redução das emissões no ano de 2020 deveu-se ao grande impacto que o COVID19 teve no setor dos transportes. [4]

Como se verificou pela análise das emissões de CO<sub>2</sub> a nível global e nacional existe uma tendência para o aumento das emissões no setor dos transportes. Este aumento das emissões no setor dos transportes anula todas as reduções de emissões conseguidas noutros setores, obtidas através da aposta em fontes de energia renovável e de medidas de eficiência energética.

De forma a diminuir as emissões de CO<sub>2</sub> e cumprir com o acordo de Paris, a Comissão Europeia anunciou em dezembro de 2019 o *European Green Deal*. O *European Green Deal* é um conjunto de iniciativas que têm como objetivo atingir emissões zero em 2050. De forma a atingir este objetivo o Parlamento Europeu decidiu instituir a *European Climate Law*, que converte a ambição de atingir emissões zero em 2050 numa obrigação legal. Os países ao adotarem esta lei, também se encarregam de diminuir as emissões em 55% até ao ano de 2030, comparando com os valores de 1990. [5]

Como o setor dos transportes representa cerca de 16,93% das emissões globais de gases de efeito de estufa foi necessário aplicar medidas para reduzir as emissões dos veículos. Os veículos pesados não tinham qualquer requisito de diminuição das emissões de CO<sub>2</sub>, logo representavam um setor onde era imperativo tomar medidas específicas para a diminuição das emissões. Para cumprir com o acordo do *European Green Deal*, foi instituído o regulamento 2019/1242 que estabelece normas de desempenho em matéria de emissões de CO<sub>2</sub>. O regulamento estipula que os veículos pesados novos tenham uma redução das emissões específicas de CO<sub>2</sub> de 15% a partir de 2025, comparando com as emissões de referência de CO<sub>2</sub>. A partir de 2030, a diminuição das emissões deve ser de 30%, também comparando com as emissões de referência de CO<sub>2</sub>. [3]

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

# 3

## Legislação referente a emissões de CO<sub>2</sub>

Para se cumprir com os objetivos do Acordo de Paris é imperativo que se comece a diminuir as emissões de CO<sub>2</sub>. O Acordo de Paris foi ratificado por todos os Estados-Membros da União Europeia, por isso para manter o bom funcionamento do setor dos transportes e para evitar a fragmentação do mercado é necessário estabelecer normas de desempenho de emissões de CO<sub>2</sub> em todos os Estado-Membros da União Europeia.

Assim em agosto de 2019 entrou em vigor o Regulamento 2019/1242 que estabelece normas de desempenho em matéria de emissões de CO<sub>2</sub> dos veículos pesados novos. Para se assegurar uma transição suave na diminuição de emissões de CO<sub>2</sub>, numa primeira fase apenas se incluiu no regulamento os veículos pesados novos pertencentes à categoria N2 e N3, que correspondem a camiões rígidos e tratores, com configuração de eixos de 4x2 e 6x2, já que estes representam cerca de 65% a 70% das emissões de CO<sub>2</sub> dos veículos pesados. [6]

Este regulamento estipula que para os períodos de referência a partir de 2025, as emissões de CO<sub>2</sub> dos veículos pesados novos destas duas categorias devem diminuir em 15%, comparando com as emissões de referência de CO<sub>2</sub>. Para os períodos de referência após 2030, as emissões de CO<sub>2</sub> devem diminuir em 30%, comparando com os valores de referência de CO<sub>2</sub>. O período de referência é considerado um ano entre 1 de julho e 30 de junho. Para definir os valores de referência de CO<sub>2</sub> para uma categoria de veículos é elaborada a média das emissões específicas de CO<sub>2</sub> de todos os veículos pesados novos

daquela categoria. Para determinar as emissões específicas de CO<sub>2</sub> de um veículo pesado novo utiliza-se a ferramenta de simulação VECTO, que permite determinar as emissões de CO<sub>2</sub> de um veículo pesado. As emissões de CO<sub>2</sub> são expressas em gramas de CO<sub>2</sub> por tonelada-quilómetro.

### 3.1. Subgrupo de veículos

De acordo com o IMTT a classificação europeia de automóveis e dos seus reboques para efeitos de homologação é feita através de três categorias. A categoria M que corresponde a veículos a motor concebidos e construídos para o transporte de passageiros com, pelo menos, quatro rodas. A categoria N que consiste em veículos a motor concebidos e construídos para o transporte de mercadorias com, pelo menos, quatro rodas e a categoria O que corresponde aos reboques e aos semirreboques. [7]

O regulamento 2019/1242 apenas é aplicável a veículos pesados construídos para o transporte de mercadorias pertencentes à categoria N2, que reflete os veículos concebidos e construídos para o transporte de mercadorias com massa máxima superior a 3,5 toneladas, mas não superior a 12 toneladas e a categoria N3, que corresponde aos veículos concebidos e construídos para o transporte de mercadorias com massa máxima superior a 12 toneladas.

Como há uma enorme diversidade de veículos pesados no que diz respeito à conceção, ao perfil de circulação, à quilometragem anual, à carga útil e à configuração dos reboques, justificou-se distinguir os veículos pesados em subgrupos de veículos que reflitam o padrão de utilização mais habitual. Os subgrupos de veículos estão representados na Tabela 1.

**Tabela 1 - Subgrupos de veículos pesados aplicáveis no regulamento 2019/1242 [6]**

Veículos pesados	Tipo de cabina	Potência do motor	Subgrupo de veículos
Camiões rígidos com configuração de eixos 4x2 e massa máxima em carga tecnicamente admissível > 16 toneladas	Todos	< 170 kW	4-UD
	Cabina curta	≥ 170 kW	4-RD
	Cabina-cama	≥ 170 kW e < 265 kW	
	Cabina-cama	≥ 265 kW	4-LH
Camiões rígidos com configuração de eixos 6x2	Cabina curta	Todos	9-RD
	Cabina-cama		9-LH
Tratores com configuração de eixos 4x2 e massa máxima em carga tecnicamente admissível > 16 toneladas	Cabina curta	Todos	5-RD
	Cabina-cama	< 265 kW	
	Cabina-cama	≥ 265 kW	5-LH

Tratores com configuração de eixos 6x2	Cabina curta	Todos	10-RD
	Cabina-cama		10-LH

Como se verifica pela Tabela 1 os subgrupos de veículos pesados são definidos pela potência do motor e pela configuração de eixos. Outro fator determinante para o subgrupo é se o veículo pesado é considerado um camião rígido ou um trator. É de notar que um camião rígido é um camião não concebido nem construído para rebocar semirreboques, enquanto um trator é uma unidade de tração concebida e construída exclusiva para rebocar semirreboques.

### 3.2. Emissões Específicas Médias de CO<sub>2</sub> por Fabricante e Objetivo Específico Anual

Para se atingir o objetivo de redução de 15% em 2025 e de 30% em 2030 das emissões de CO<sub>2</sub> é necessário reduzir as emissões de todos os veículos pesados da frota de um fabricante. Assim por cada ano de referência é necessário determinar um objetivo específico de emissões de CO<sub>2</sub> por fabricante.

O objetivo específico anual de emissões de CO<sub>2</sub> por fabricante pode ser calculado utilizando a Equação 1. [6]

$$T = \sum_{sg} share_{sg} \times MPW_{sg} \times (1 - rf) \times rCO2_{sg} \quad (1)$$

Em que  $\sum_{sg}$  corresponde ao somatório de todos os subgrupos de veículos,  $share_{sg}$  representa a percentagem de veículos pesados novos de um fabricante do subgrupo de veículos,  $MPW_{sg}$  corresponde ao fator de ponderação da quilometragem e da carga útil,  $rf$  retrata o objetivo de redução das emissões de CO<sub>2</sub> em percentagem aplicável ao ano de referência em causa e  $rCO2_{sg}$  simboliza as emissões de referência de CO<sub>2</sub>.

A percentagem de veículos pesados novos de um fabricante,  $share_{sg}$  é calculada tendo em conta o número de veículos pesados novos do fabricante no subgrupo e o número de veículos pesados novos do fabricante. O fator de ponderação da quilometragem e da carga útil,  $MPW_{sg}$ , tem em conta a quilometragem anual e a carga útil dos veículos pesados de cada subgrupo. As emissões de referência de CO<sub>2</sub>,  $rCO2_{sg}$  tem em consideração as emissões específicas de CO<sub>2</sub> de um veículo pesado, a carga útil do veículo e o número de

veículos pesados novos matriculados no período de referência. As equações utilizadas para o cálculo destas variáveis podem ser consultadas no ANEXO A. [6]

Através da Equação 1 é possível determinar o objetivo específico de emissões de CO<sub>2</sub> por fabricante. Para verificar se um fabricante cumpre com o objetivo específico de emissões de CO<sub>2</sub> é necessário avaliar as emissões específicas médias de CO<sub>2</sub> de um fabricante. Estas emissões específicas médias de CO<sub>2</sub> são baseadas nas emissões de cada subgrupo, e assim é possível compensar certos subdesempenhos em determinados subgrupos de veículos com sobredesempenhos noutros subgrupos. As emissões específicas médias de CO<sub>2</sub> por fabricante são calculadas a partir da Equação 2. [6]

$$CO_2 = ZLEV \times \sum sg \ share_{sg} \times MPW_{sg} \times avgCO2_{sg} \quad (2)$$

Em que  $\sum sg$  é o somatório de todos os subgrupos de veículos,  $ZLEV$  representa o fator com nível nulo ou baixo de emissões,  $share_{sg}$  é a percentagem de veículos pesados novos de um fabricante,  $MPW_{sg}$  é o fator de ponderação da quilometragem e da carga útil e  $avgCO2_{sg}$  representa as emissões específicas médias de CO<sub>2</sub>. As equações utilizadas para o cálculo destas variáveis podem ser consultadas no ANEXO B.

De forma a promover a aposta em veículos com nível nulo ou baixo de emissões, foram criados fatores de nível nulo ou baixo de emissões. Assim se um fabricante apostar em veículos com nível nulo ou baixo de emissões, os seus valores de emissões específicas médias de CO<sub>2</sub> não só serão mais baixas devido a terem veículos com poucas emissões, como também irá diminuir devido ao fator de nível nulo ou baixo de emissões. É de notar que um veículo pesado com nível nulo de emissões é um veículo pesado sem motor de combustão interna ou cujo motor de combustão interna emita menos de 1g de CO<sub>2</sub>/kWh. Um veículo pesado é considerado um veículo com baixo nível de emissões quando as emissões específicas desse veículo forem inferiores a metade das emissões de referência de CO<sub>2</sub> de todos os veículos do respetivo subgrupo.

O fator com nível nulo ou baixo de emissões,  $ZLEV$ , tem em conta o número e as emissões de CO<sub>2</sub> dos veículos pesados novos com nível nulo ou baixo de emissões. Este fator está dividido em duas fases. A primeira fase corresponde ao período de referência de 2019 a 2024 e cada veículo pesado com nível nulo de emissões é contado como dois veículos, de forma a incentivar a aposta neste tipo de veículos. A segunda fase corresponde ao período de referência a partir de 2025. O fator com nível nulo ou baixo de emissões

apenas pode reduzir as emissões médias de CO<sub>2</sub> de um fabricante num máximo de 3%. [6]

### 3.3. Cumprimento do Objetivo Específico Anual

Através das emissões específicas médias de CO<sub>2</sub> é possível determinar as emissões de CO<sub>2</sub> que um fabricante emite. Para cumprir com o regulamento 2019/1242, é necessário que estas emissões específicas médias sejam inferiores ao objetivo específico anual de emissões de CO<sub>2</sub> por fabricante. Para incentivar a antecipação de reduções de emissões de CO<sub>2</sub> de um fabricante, foi adotada uma estratégia de trajetória de redução das emissões de CO<sub>2</sub>. Por cada ano de referência é definido o objetivo específico anual de emissões de CO<sub>2</sub> por fabricante e por cada ano seguinte, este objetivo é reduzido de forma linear, até se atingir, em 2025, os 15% de redução de emissões de CO<sub>2</sub>. Para os anos entre 2025 e 2030, o objetivo continua a ser reduzido de forma linear até se atingir a redução de 30% em emissões de CO<sub>2</sub>. Esta redução apresenta uma trajetória que os fabricantes necessitam de cumprir. Esta trajetória de redução das emissões de CO<sub>2</sub> é calculada utilizando a Equação 3. [6]

$$ET_Y = \sum sg \ share_{sg} \times MPW_{sg} \times R - ET_Y \times rCO2_{sg} \quad (3)$$

Em que  $\sum sg$  é o somatório de todos os subgrupos,  $share_{sg}$  é a percentagem de veículos pesados novos de um fabricante do subgrupo,  $MPW_{sg}$  corresponde ao fator de ponderação da quilometragem e da carga útil,  $rCO2_{sg}$  é o valor das emissões de referência de CO<sub>2</sub> e  $R - ET_Y$  é definido de acordo com os períodos de referência e a sua forma de calcular está expressa no ANEXO C. [6]

Um fabricante que apresente emissões específicas médias de CO<sub>2</sub> inferiores à trajetória acumula créditos de emissões. Se as emissões específicas médias de CO<sub>2</sub> forem superiores à trajetória, o fabricante acumula débito de emissões, uma vez que não está a cumprir com a redução exigida. Este crédito e débito de emissões permite que um fabricante compense subdesempenhos de redução de emissões num ano com sobredesempenhos noutros anos.

Os fabricantes podem acumular créditos de emissões nos períodos de referência entre 2019 e 2029. No entanto os créditos de emissões obtidos até ao ano de 2024 apenas

podem ser tidos em conta para determinar a conformidade com o objetivo de emissões do ano de 2025.

Os débitos de emissões apenas são acumuláveis a partir de 2025. No entanto existe um limite de débito para o ano de 2025, ou seja, um fabricante não pode apresentar um débito de emissões superior a 5% do objetivo específico de emissões para o ano de 2025. Se um fabricante apresentar um débito de emissões constituído no período de referência do ano de 2025, é aplicada uma redução de acordo com os créditos de emissões acumulados antes do ano de 2025. O cálculo dos débitos e créditos de emissões, assim como o cálculo para o limite de débito, estão exemplificados no ANEXO C. [6]

Nos anos de referência entre 2025 e 2029 os créditos e débitos transitam de ano para ano. Para se verificar o cumprimento dos objetivos específicos deve-se comparar os créditos e débitos do fabricante. Se os débitos forem superiores aos créditos indica que o fabricante não cumpriu com os objetivos de redução de emissões, e apresenta emissões excedentárias.

Considera-se que um fabricante apresenta emissões excedentárias se:

-Entre os anos de 2025 a 2028 a diferença entre os débitos e os créditos exceder o limite de débito de 5% em relação ao objetivo;

-No ano de referência de 2029 os débitos forem superiores aos créditos. Se existir débito de emissões, este deve ser eliminado no ano de 2029.

-A partir do ano de referência de 2030 as emissões específicas médias de CO<sub>2</sub> forem superiores ao objetivo de emissões de CO<sub>2</sub>.

Se a partir do ano de 2025 um fabricante apresentar emissões excedentárias de CO<sub>2</sub> indica que este não cumpriu com o regulamento 2019/1242, logo é necessário aplicar uma sanção. Esta sanção é administrada na forma de uma taxa. Para estimular os fabricantes a adotarem medidas para a redução das emissões de CO<sub>2</sub> é importante que a taxa aplicada tenha um custo superior à tecnologia necessária para a redução das emissões. Assim a taxa aplicada para os períodos de referência entre 2025 e 2029 pode ser calculada através da Equação 4. [6]

$$(Taxa sobre as emissões de CO_2 excedentárias) = (Emissões de CO_2 excedentárias \times 4250 \text{ EUR/gCO}_2/\text{tkm}) \quad (4)$$

A taxa aplicada para os períodos de referência a partir de 2030 pode ser calculada através da Equação 5.

$$(Taxa sobre as emissões de CO_2 excedentárias) = (Emissões de CO_2 excedentárias \times 6800 \text{ EUR/gCO}_2/\text{tkm}) \quad (5)$$

Sempre que um fabricante, após a análise dos créditos e débitos de emissões, apresente emissões excedentárias é aplicada esta taxa de forma a punir o fabricante pelo não cumprimento do regulamento 2019/1242. [6]

### 3.4. Comunicação das emissões de CO<sub>2</sub>

Para reduzir de forma eficaz as emissões de CO<sub>2</sub> é essencial que os fabricantes reduzam as emissões dos seus veículos pesados, mas também é importante que os compradores dos veículos apostem em veículos com menos emissões. Para isso é necessário que as informações relativas ao desempenho de emissões de CO<sub>2</sub> de cada veículo sejam tornadas públicas, o que permite a todos os compradores tomarem decisões de compra mais bem informadas. Com esta divulgação das emissões de CO<sub>2</sub>, os fabricantes também são capazes de comparar o seu desempenho com o desempenho de outras marcas, o que também aumenta a evolução em termos de redução de emissões.

Assim em julho de 2018 entrou em vigor o regulamento 2018/956 relativo à monitorização e comunicação das emissões de CO<sub>2</sub> e do consumo de combustível dos veículos pesados novos. Este regulamento estabelece que os fabricantes devem comunicar os valores de emissões de CO<sub>2</sub> e de consumo de combustível à Comissão Europeia. Se os fabricantes não comunicarem os dados, ou se estes se desviarem dos valores reais é aplicada uma coima. Os parâmetros a comunicar e a monitorizar são algumas características do veículo, como a potência do motor, cilindrada, tipo de combustível, tipo de transmissão e os valores de emissões de CO<sub>2</sub> em g/km, g/tkm e de consumo de combustível em g/km, g/tkm, l/100km e outras unidades de medida. [8]

Estes valores de emissões de CO<sub>2</sub> e de consumo de combustível a comunicar podem ser obtidos através de testes em laboratório, mas os veículos pesados apresentam uma enorme variedade de configurações possíveis, desde os tipos de motor, as relações de transmissão, as configurações aerodinâmicas, a quilometragem anual, a carga útil e configurações dos reboques. Esta grande variedade de configurações torna a quantificação de emissões de CO<sub>2</sub> e de consumo de combustível muito difícil, uma vez que testes em laboratório não é uma solução nada viável, em termos práticos e monetários, devido a esta variedade de configurações. Um método muito mais prático para o cálculo

das emissões de CO<sub>2</sub> e de consumo de combustível de forma normalizada é através de uma simulação do veículo.

O setor dos veículos pesados é muito diversificado, com um grande número de configurações possíveis para cada veículo, e assim a Comissão Europeia concluiu que para se obter a informação relativa às emissões de CO<sub>2</sub> e de consumo de combustível para cada veículo pesado com o menor custo possível deve ser utilizado um software de simulação.

De acordo com a Comissão Europeia este software deve ser disponibilizado ao público, ser de fonte aberta e simular o cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> e do consumo de combustível a partir de dados de entrada que refletem as características do veículo, como o motor, caixa de velocidades, eixos, pneus, aerodinâmica e auxiliares.

Antes da matrícula, da venda ou da entrada em circulação, o fabricante deve efetuar uma simulação do veículo para se determinar as emissões de CO<sub>2</sub> e o consumo de combustível do veículo pesado, utilizando a versão mais recente da ferramenta de simulação. [3]

# 4

## Ferramenta VECTO

Antes da comercialização ou da entrada em circulação de um veículo pesado novo, o fabricante tem de realizar uma simulação do veículo, através de um software, para se determinar as emissões de CO<sub>2</sub> e o consumo de combustível do veículo. Com esta simulação é disponibilizado aos compradores uma informação mais detalhada do consumo de energia do respetivo veículo pesado, e assim o comprador pode tomar uma decisão bem mais informada.

A VECTO, ou *Vehicle Energy Consumption calculation Tool*, é a ferramenta de simulação desenvolvida pela Comissão Europeia utilizada para o cálculo do consumo de energia, consumo de combustível e de emissões de CO<sub>2</sub> de veículos pesados. Esta ferramenta tem como objetivo garantir a existência de um método de simulação normalizado para calcular o consumo de combustível e de emissões de CO<sub>2</sub> durante um determinado perfil de exploração. Este perfil de exploração representa vários cenários de condução de um veículo pesado e são especificados de acordo com a velocidade, paragens, inclinação do percurso, tipo e carga do atrelado. O veículo pesado é modelado na ferramenta de acordo com as suas características, como por exemplo, a sua massa, resistência aerodinâmica, resistência de rolamento, relações de transmissão, potência e binário máximos e eficiência dos seus componentes e auxiliares. [9]

A ferramenta VECTO está disponível ao público, é de fonte aberta, descarregável e executável. Foi programada utilizando a linguagem C. [10]

A VECTO apresenta dois modos para a simulação do veículo pesado. O modo "Declaration mode" e o modo "Engineering mode".

No "Declaration mode" o tipo de veículo é escolhido e alguns parâmetros do veículo, como a distribuição de massa nos eixos, o raio dinâmico do pneu, a resistência aerodinâmica e outras características já estão predefinidas de acordo com especificações técnicas estabelecidas pela legislação europeia. Neste modo também são aplicados perfis de condução já predefinidos assim que a classe de veículo é estabelecida. A certificação dos veículos pesados novos é feita utilizando o "Declaration mode".

No "Engineering mode" o utilizador tem uma maior flexibilidade e há a possibilidade de alterar todos os parâmetros disponibilizados pela ferramenta VECTO, sendo possível fazer um estudo e validação de certas alterações ou configurações. [11]

Para ser realizada uma simulação através da ferramenta VECTO são necessários vários ficheiros auxiliares com a informação das várias características do veículo. Após a simulação também são criados ficheiros com a informação de toda a simulação e com os resultados. As extensões de todos os ficheiros utilizados para uma simulação na ferramenta VECTO estão refletidas na Tabela 2. [12]

Tabela 2 - Extensão dos ficheiros utilizados na ferramenta VECTO

Extensão dos ficheiros	Descrição
.vecto	Ficheiro principal que contém todo o conteúdo da simulação através dos ficheiros auxiliares.
.vdri	Ficheiro do ciclo de exploração que contém a informação do tempo, velocidade e gradiente da estrada.
.vveh	Ficheiro da definição do veículo. Contém as características do veículo.
.veng .vmap .vfld	Ficheiro da definição do motor. Contém as características do motor do veículo. Ainda tem referências ao mapa de consumo de combustível e curva de binário do motor.
.vgbx .vgbs	Ficheiro da definição da caixa de velocidades. Contém as características da caixa de velocidades, como o número de mudanças, as relações de transmissão e um ficheiro auxiliar que define a estratégia de troca de mudança.
.vaux	Definição dos auxiliares
.vmod, vres	Ficheiro que contém os resultados da simulação.

.vacc	Tabela com os valores instantâneos máximos de aceleração e desaceleração.
-------	---

A ferramenta VECTO é composta por 3 fases principais. A primeira fase representa a definição dos dados de entrada através de uma *interface*, como por exemplo as características do motor, as especificidades da transmissão, os perfis de exploração e as características dos auxiliares. Nesta fase existe também uma biblioteca com algumas predefinições de veículos pesados, já com valores para os mapas do motor, eficiências de componentes e alguns perfis de exploração [12]. Na Figura 7 é possível visualizar a *interface* dos dados de entrada.

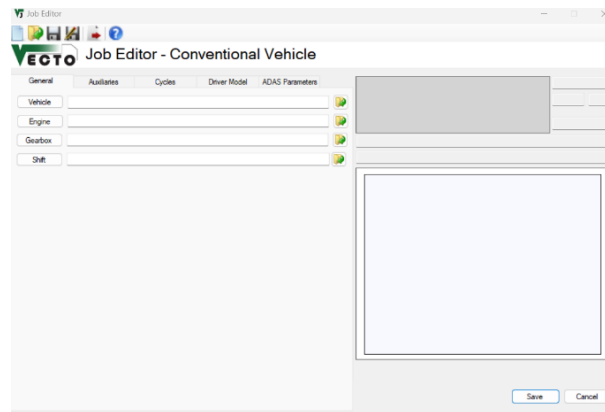


Figura 7 - Interface dos dados de entrada na ferramenta VECTO [13]

A segunda fase corresponde ao cálculo da simulação e à previsão do consumo de combustível e de emissões de CO<sub>2</sub> do veículo pesado. Por fim a terceira fase corresponde à geração e apresentação dos resultados.

#### 4.1. Dados de entrada

Os dados de entrada da ferramenta VECTO estão divididos em cinco categorias. A categoria “General”, onde se coloca todas as características do veículo pesado, desde a massa do veículo, a resistência aerodinâmica, tipo de pneu, especificações do motor e da transmissão. A segunda categoria corresponde aos auxiliares e define-se os tipos de auxiliares do veículo, como a ventoinha para refrigeração, ar-condicionado, sistema pneumático, entre outros. A terceira categoria representa os perfis de exploração e apenas se estabelece qual o perfil a utilizar na simulação. O *Driver Model* corresponde à quarta categoria onde é possível definir alguns comportamentos que simulam um condutor, como

a estratégia de mudança de velocidade. Por fim, a quinta categoria define alguns parâmetros do sistema ADAS, como o *Engine Stop/Start* e *Predictive Cruise Control*. Para cada categoria são definidos os vários parâmetros para ser possível estabelecer as várias equações matemáticas que simulam os consumos de combustível e emissões de CO<sub>2</sub> do veículo pesado.

#### 4.1.1. Categoria *General*

Na categoria “General” é possível definir as características do veículo, do motor e da caixa de velocidades. Na categoria “General” existe a opção “Vehicle” onde se define todas as propriedades do veículo pesado e está separado nos conjuntos de informação geral, massa, resistência aerodinâmica, raio dinâmico do pneu, correção do vento lateral e eixos e rodas, como representa a Figura 8.

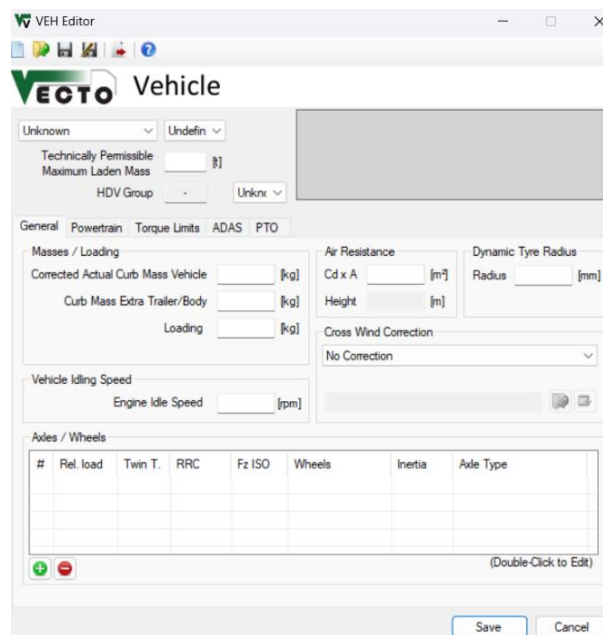


Figura 8 - Interface da opção “Vehicle” na ferramenta VECTO [13]

No conjunto de informação geral começa-se por indicar o tipo de veículo, se é um camião rígido, um autocarro, uma carrinha, entre outros e qual o tipo de eixo. É necessário especificar qual a massa máxima em carga tecnicamente admissível pelo veículo e em que subgrupo se insere o veículo, de acordo com a Tabela 1 do Capítulo 3.1.

Após se definir as propriedades gerais do veículo procede-se à designação da massa do veículo e da carga.

O *input* da massa e da carga é dividido em três parâmetros. A tara do veículo, que corresponde à massa do veículo sem carga e sem passageiros, a massa do semirreboque ou caixa e a carga útil, que corresponde ao peso das mercadorias que o veículo transporta. Utilizando o “Declaration Mode” apenas é necessário definir a tara do veículo, já que a massa do semirreboque e a carga útil são automaticamente estabelecidas através do subgrupo do veículo e do perfil de exploração.

A resistência aerodinâmica é definida através do coeficiente de arrasto, da área da secção frontal e da altura do veículo. O produto do coeficiente de arrasto e da área da secção é estimado através de testes realizados a velocidades constantes. A resistência aerodinâmica é proporcional ao quadrado da velocidade, logo os efeitos aerodinâmicos irão ser mais relevantes a velocidades mais altas. Como o consumo de combustível é bastante sensível à resistência aerodinâmica do veículo é necessário simular de forma detalhada as condições do vento, mais precisamente os ventos laterais.

Para ter em consideração os efeitos dos ventos laterais, a ferramenta VECTO recorre ao fator de correção de vento lateral. A correção para ventos laterais tem como objetivo tornar a simulação mais semelhante ao real. Num veículo pesado o efeito do vento lateral tem influência no consumo de combustível. Este vento aumenta a turbulência no espaço entre o reboque e o atrelado. Esta correção altera o coeficiente de arrasto do veículo, uma vez que com ventos laterais o valor de arrasto tem tendência a aumentar. [14]

A correção para ventos laterais é baseada em dois aspetos, condições de ambiente de referência, com uma velocidade do vento de 3 m/s e uma altura de referência de 4 m e a dependência do ângulo de direção, *yaw*, com o  $C_{dxA}$ . A equação que define a dependência do ângulo de direção com o produto do coeficiente de arrasto pela área pode ser consultada no Anexo D.

A ferramenta VECTO segue um modelo de dinâmica longitudinal, ou seja, simula o veículo através do seu eixo longitudinal. Assim a correção para ventos laterais não pode ser apresentada em função do ângulo de direção, mas sim em função da velocidade do veículo. A transformação da variação do  $C_{dxA}$  em função do *yaw* para em função da velocidade é conseguida através da integração de todos os ângulos possíveis de direção do vento desde o nível da estrada até ao topo do veículo, como demonstra a Equação 6. [15]

$$C_{d,v}A(V_{veh}) = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot v_{veh}^2 \cdot h_{veh}} \int_{\alpha=0^\circ}^{\alpha=360^\circ} \int_{h=0}^{h=h_{veh}} C_d A(\beta) \cdot v_{air}(h, \alpha)^2 dh d\alpha \quad (6)$$

Em que  $C_{d,v}A(V_{veh})$  corresponde ao  $C_{d,x}A$  corrigido em função da velocidade,  $v_{veh}$  representa a velocidade do veículo,  $h_{veh}$  traduz a altura do veículo,  $\alpha$  é a direção do vento em relação ao veículo,  $h$  corresponde à altura em relação à estrada,  $C_dA(\beta)$  é o produto do coeficiente de arrasto pela área em função do ângulo de direção e  $v_{air}$  corresponde à velocidade resultante entre a velocidade do vento e a velocidade do veículo.

Após aplicar esta correção para ventos laterais percebemos que quanto maior a velocidade do veículo menor irá ser o  $C_{d,x}A$ , como demonstra a Figura 9. A Figura 9 representa um exemplo de uma correção do produto entre o coeficiente de arrasto e a área frontal. [14]

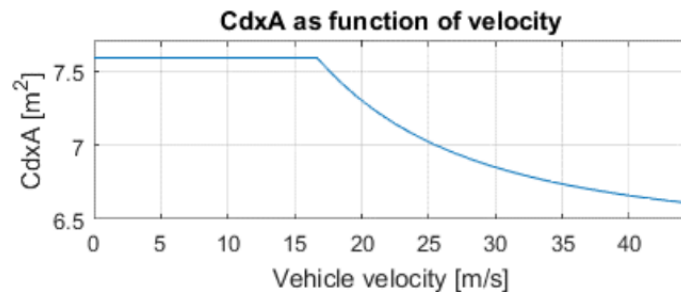


Figura 9 - Correção do valor de  $C_{d,x}A$  em função da velocidade na ferramenta VECTO [14]

Até uma velocidade de cerca de 16,6 m/s, que corresponde a 60 km/h, não existe correção para o vento lateral, e o  $C_{d,x}A$  mantém-se constante. Quando a velocidade é superior já é possível verificar a correção, uma vez que o valor de  $C_{d,x}A$  diminui.

Outro parâmetro necessário de definir é o raio dinâmico do pneu. Este raio dinâmico representa o raio do pneu quando este está em movimento e a rodar. Este raio pode ser calculado tendo em conta o raio geométrico do pneu e a altura do centro do pneu ao solo, quando o veículo está em repouso.

Para finalizar a caracterização do veículo é imprescindível indicar a velocidade de rotação ao ralenti e a informação relativamente aos eixos e rodas. A velocidade de rotação do ralenti pode ser aumentada nos veículos pesados. Esta funcionalidade pode ser necessária para o uso de certos auxiliares, ou para outras razões técnicas. Este valor para a rotação do ralenti apenas é tido em consideração se for maior que a rotação definida nas características do motor, que será abordada mais à frente. Na definição dos eixos é necessário definir o tamanho do pneu que equipa o veículo pesado. Associado ao tamanho

do pneu está a inércia da roda. A ferramenta VECTO assume uma inércia quando é escolhido o tamanho do pneu. Também é necessário indicar a distribuição de carga relativa a cada eixo. Na definição das rodas é estabelecida a carga aplicada ao pneu durante o ensaio de resistência ao rolamento, de acordo com a norma ISO 28580 e o coeficiente de resistência de rolamento, como representa a Figura 10.

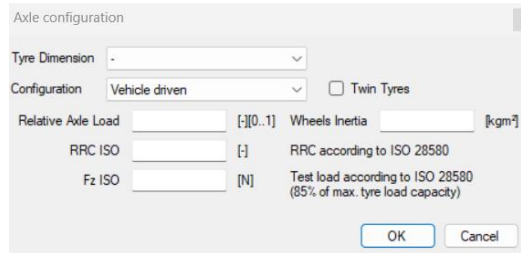


Figura 10 - Configuração do eixo do veículo na ferramenta VECTO [13]

A resistência de rolamento representa a energia perdida devido à deformação do pneu quando em contacto com a estrada. Esta resistência é expressa através do coeficiente de resistência de rolamento e o valor colocado na ferramenta VECTO é de acordo com a norma ISO 28580. É de notar que na utilização do “Engineering Mode” é necessário definir todos os eixos do conjunto. Se se tratar de um veículo trator com semirreboque é necessário definir os eixos do trator e do semirreboque. No caso de se utilizar o “Declaration Mode” apenas é necessário definir os eixos do trator ou camião rígido. A caracterização do semirreboque é feita automaticamente pela ferramenta VECTO, já que é utilizado um semirreboque genérico.

Ainda na opção *Vehicle* é possível definir as características do “Powertrain”. O “Powertrain” é determinado tendo em conta as perdas no *retarder*, o sistema de tanque de combustível e o “AngleDrive”, Figura 11. Para a definição do *retarder* é necessário estabelecer o tipo de *retarder* e o seu mapa de eficiência. O tipo de *retarder* é estipulado de acordo com a sua posição em relação à caixa de velocidades. A ferramenta VECTO permite as opções antes, ou depois da caixa de velocidades, integrado na caixa de velocidades ou integrado no motor. O mapa de eficiência do *retarder* é definido com base em testes realizados aos componentes e é estabelecido pelas perdas de binário em função da velocidade de rotação do *retarder*. [15]

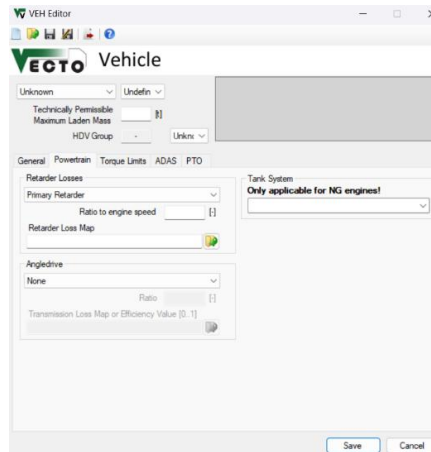


Figura 11 - Definição das características do powertrain na opção "Vehicle" [13]

O sistema de tanque de combustível é definido com a escolha entre um tanque comprimido ou liquefeito. No entanto a definição do tanque apenas é feita no caso de motores que utilizem gás natural.

A ferramenta VECTO disponibiliza três definições para o *Angledrive*. Uma definição *Default*, em que o veículo não está equipado com este sistema, um *Angledrive* separado da transmissão, e neste caso deve ser incluído o mapa de perdas. Para este mapa é necessário definir a rotação do motor, o binário de input e as perdas de binário. A terceira definição é um *Angledrive* incluído na transmissão, e neste caso as perdas de binário já estão incluídas no mapa de eficiência da transmissão. [15]

Para completar a definição da opção "Vehicle" é necessário indicar alguns limites de binário máximo para cada mudança do motor. O binário do motor pode ser limitado para certas mudanças, como no caso de o binário produzido pelo motor ser superior ao binário máximo suportado pela transmissão. [15]

Também é necessário estipular quais os sistemas ADAS que equipam o veículo, como o sistema *Stop/Start*, *Eco-Roll* e *Predictive Cruise Control*. O sistema *Eco-Roll* pode ser definido para ter suporte do sistema *Stop/Start*.

Para finalizar a caracterização da opção "Engine" é fundamental definir o PTO, tomada de força. Esta tomada de força representa um dispositivo instalado numa transmissão ao qual se pode ligar um dispositivo de acionamento auxiliar. [3] Na ferramenta VECTO este dispositivo é considerado de consumo constante, logo o consumo de potência é adicionado em qualquer modo de operação do veículo, e apenas depende do tipo de PTO. O valor para o consumo de potência por cada tipo de PTO está refletido na Figura 12. [15]

Technology	Power Loss [W]
None	0
only the drive shaft of the PTO - shift claw, synchronizer, sliding gearwheel	50
only the drive shaft of the PTO - multi-disc clutch	1000
only the drive shaft of the PTO - multi-disc clutch, oil pump	2000
drive shaft and/or up to 2 gear wheels - shift claw, synchronizer, sliding gearwheel	300
drive shaft and/or up to 2 gear wheels - multi-disc clutch	1500
drive shaft and/or up to 2 gear wheels - multi-disc clutch, oil pump	3000
drive shaft and/or more than 2 gear wheels - shift claw, synchronizer, sliding gearwheel	600
drive shaft and/or more than 2 gear wheels - multi-disc clutch	2000
drive shaft and/or more than 2 gear wheels - multi-disc clutch, oil pump	4000

Figura 12 - Consumo de potência por cada tipo de PTO [15]

Ao definir um tipo de PTO é necessário designar o seu mapa de perdas. Este mapa de perdas é estabelecido em função da rotação do motor e do binário do PTO. Para complementar a caracterização do sistema PTO é necessário definir a potência solicitada durante a paragem e durante a operação do PTO. Isto é determinado pelo mapa “PTO Cycle”, que é estabelecido pelo tempo do ciclo do PTO, pela rotação do motor e pelo binário do PTO. Este ciclo do PTO apenas pode ser ativado durante paragens do ciclo de exploração. Para ativar o ciclo da tomada de potência durante a condução no perfil de exploração é necessário estipular um mapa baseado no tempo. Neste mapa define-se a potência consumida pelo PTO em função do tempo. Também é possível ativar o ciclo da tomada de potência durante a condução através de um valor fixo de rotação e uma mudança específica. A representação da definição destes inputs está ilustrada na Figura 13. [15]

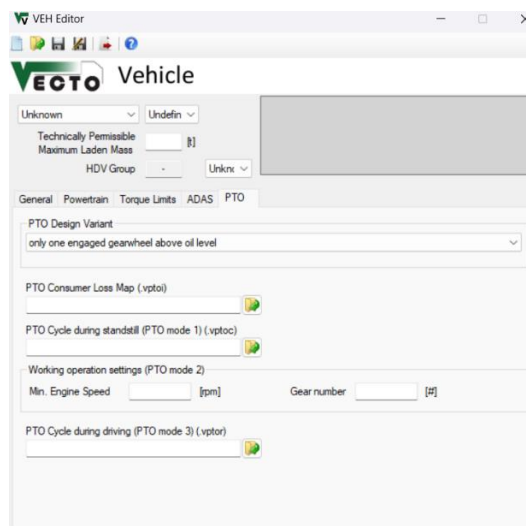


Figura 13 - Definição das características do PTO na opção "Vehicle" [13]

Com as características do veículo estipuladas passa-se para a opção do motor. Para o motor é necessário definir a designação do motor, a rotação ao ralenti, a cilindrada do motor, a rotação para a potência máxima, a potência máxima em kW e o binário máximo, como representa a Figura 14.

Figura 14 - Interface da opção "Engine" na ferramenta VECTO [13]

Dois aspetos muito importantes na definição das características do motor é o mapa do motor e o mapa de consumo de combustível. O mapa do motor é definido tendo em consideração as características técnicas do motor. O mapa é apresentado com a rotação e o binário nos eixos, como representa a Figura 15.

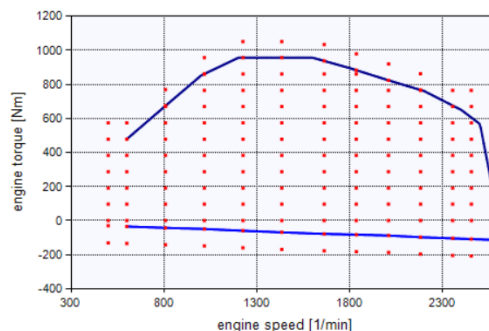


Figura 15 - Exemplo do mapa do motor na ferramenta VECTO [13]

Para definir o mapa do motor é necessário estabelecer o valor máximo de binário do motor em função da rotação. Este mapa do motor é também composto pelo *motoring torque*, que corresponde ao binário negativo necessário para levar o motor sem alimentação da velocidade máxima do mapeamento à velocidade mínima do mapeamento,

e que pode ser simplificado como o mínimo valor de perdas de binário em função da rotação, como está exemplificado na Figura 16. É de notar que na Figura 16 apenas está representada uma porção do mapa do motor e não o mapa por completo.

engine speed [1/min]	full load torque [Nm]	motoring torque [Nm]
600	478	-35
608	485.52	-35.31693
616	493.04	-35.63385
624	500.56	-35.95077
632	508.08	-36.26769
640	515.6	-36.58462
648	523.12	-36.90154
656	530.64	-37.21846
664	538.16	-37.53539
672	545.68	-37.85231
680	553.2	-38.16923
688	560.72	-38.48615
696	568.24	-38.80308

Figura 16 - Exemplo da composição do mapa do motor na ferramenta VECTO [13]

O mapa do motor limita o binário máximo produzido e o binário de perdas do motor. Este mapa deve detalhar toda a rotação do motor, desde a rotação ao ralenti até à rotação em que o binário é 70% inferior ao binário máximo do motor.

Para o mapa de consumo de combustível é indicado qual o tipo de combustível do veículo. A ferramenta VECTO tem a opção para motores a gasóleo, etanol com ignição por faísca ou compressão, gasolina, gás liquefeito de petróleo e gás natural com ignição por faísca ou compressão.

O mapa de consumo de combustível é utilizado para calcular o consumo do veículo. Este mapa é usado para interpolar o consumo de combustível antes de qualquer correção ser aplicada. Este mapa é composto pela rotação do motor, pelo binário do motor e pelo consumo em gramas por hora. Estes valores de consumo dependendo da rotação e do binário são obtidos através de testes reais. A Figura 17 exemplifica um mapa de consumo de combustível definido na ferramenta VECTO. Mais uma vez a Figura 17 não representa o mapa completo.

engine speed [rpm]	torque [Nm]	fuel consumption [g/h]
500	-131	0
500	-31	0
500	0	508
500	95.6	1814.959
500	191.2	3075.43
500	286.8	4327.79
500	382.4	6036.866
500	478	7983
500	573.6	9771.095
600	-135	0
600	-35	0
600	0	508
600	95.6	1814.959
600	191.2	3075.43
600	286.8	4327.79
600	382.4	6036.866

Figura 17 - Exemplo da composição do mapa de consumo na ferramenta VECTO [13]

Como se verifica pela Figura 17 é necessário definir os valores de consumo de combustível para os vários valores de binário para a mesma rotação. É de notar que para binários negativos o consumo de combustível é zero, e isto pode acontecer em casos em que o perfil de exploração apresente descidas, uma vez que o veículo trava com o motor.

A potência produzida pelo motor não só proporciona o movimento ao veículo, como também é utilizada em alguns auxiliares. De forma a simplificar a simulação de certos auxiliares, estes foram incluídos no mapa de consumo de combustível, para não se criar modelos adicionais. Assim a potência transmitida à bomba de óleo, bomba de combustível e bomba do líquido de refrigeração está incluída no mapa de consumo de combustível. Para outros auxiliares que necessitem de maior potência, como o ar-condicionado ou compressor de ar, têm um papel mais relevante nas emissões de CO<sub>2</sub>, foi criado um modelo adicional de forma a incentivar os fabricantes a melhorarem a eficiência destes componentes.

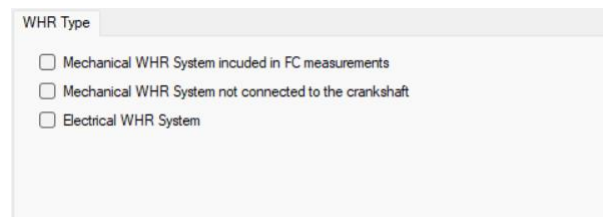
Este mapa de consumo é estacionário, ou seja, apenas indica valores para certas rotações do motor e certos valores de binário. Numa situação real o veículo poderá operar a rotações não estabelecidas no mapa de consumo, o que poderá provocar algumas divergências de resultados. Assim é necessário efetuar uma interpolação para se obter um consumo mais semelhante ao real. A ferramenta VECTO utiliza uma interpolação baseada na triangulação Delaunay. Através deste método é possível assemelhar um regime estacionário a um regime transiente, como é o caso de uma situação real.

Para finalizar a definição da opção “Engine” é necessário estabelecer os fatores de correção WHTC. Os motores dos veículos pesados são testados de acordo com o WHTC, *World Harmonized Transient Cycle* [17]. O WHTC é um teste com a duração de 1800 segundos que tem como objetivo certificar os veículos em relação às emissões de gases de escape. O teste está dividido em três etapas, urbano, rural e autoestrada e é realizado duas vezes, uma vez com um arranque a frio, e outra com um arranque já com o motor a uma certa temperatura. [18]

De forma a diminuir diferenças de valores entre o teste WHTC e a ferramenta VECTO são aplicados fatores de correção WHTC na VECTO. Na ferramenta VECTO existem três tipos de fatores de correção, que correspondem aos três segmentos no teste WHTC, “WHTC Urban”, “WHTC Rural” e “WHTC Motorway”. A VECTO simula o consumo de combustível para cada perfil de exploração. Este perfil de exploração está relacionado com

os segmentos do teste WHTC. Assim o valor do consumo simulado para cada segmento é dividido pela interpolação realizada no mapa de consumo. Com isto é obtido o valor para cada fator de correção WHTC. O fator “Cold/Hot Emission Balancing” visível na Figura 14 tem como objetivo otimizar o consumo de combustível para arranques com o motor já numa temperatura adequada. Estes fatores apenas podem ser definidos no “Declaration Mode”, já que no “Engineering Mode” apenas está disponível o fator “Engineering”. Este fator é multiplicado diretamente pelo consumo de combustível obtido pela simulação de forma a assemelhar os resultados com os valores reais. [15]

A ferramenta VECTO também considera a energia recuperada a partir do calor dissipado pelo motor, através de um sistema de *Waste Heat Recovery*, WHR. Este sistema pode ser elétrico ou mecânico. Para o sistema mecânico a sua simulação pode ser incluída na medição do consumo de combustível quando o sistema está acoplado à cambota. Se o sistema não estiver acoplado ou se se tratar de um sistema elétrico é aplicada uma correção no consumo final de combustível a partir da energia mecânica que o motor não necessita de solicitar. A definição do sistema WHR na ferramenta VECTO está exemplificada na Figura 18.



The image shows a software window titled "WHR Type" with three unchecked checkboxes:

- Mechanical WHR System included in FC measurements
- Mechanical WHR System not connected to the crankshaft
- Electrical WHR System

Figura 18 - Definição do sistema WHR na ferramenta VECTO [13]

Outro fator com um importante papel nas emissões de CO<sub>2</sub> e no consumo de combustível é a caixa de velocidades. Os parâmetros da caixa de velocidades contêm informação sobre o modelo de caixa e sobre o tipo de transmissão, se se trata de uma caixa manual ou automática. Nas caixas manuais ainda há opção de uma caixa manual automatizada. A diferenciação na ferramenta VECTO entre as caixas manuais e automáticas está na fase de troca de mudança. Numa caixa manual há uma interrupção de tração durante a mudança de velocidade, uma vez que a embraiagem é acionada. Durante esta fase o motor está desacoplado do veio de transmissão, logo não há transmissão do binário do motor para as rodas, e com isto a velocidade de rotação do motor não coincide com a velocidade do veículo. Para ultrapassar este problema de diferença de velocidades, a ferramenta VECTO estima a velocidade de rotação do motor para a

mudança seguinte, e assim quando é realizada a troca de mudança as velocidades já são semelhantes. As caixas de velocidades automáticas não apresentam uma interrupção na tração, logo não é necessário estimar a velocidade do motor na troca de mudança. Outra diferença no tipo de caixa de velocidade está no tempo de troca de mudança. A fase de troca de mudança causa um aumento de perdas na transmissão, devido ao acionamento da embraiagem. Quanto maior for o tempo de troca de mudanças, maior serão as perdas obtidas. A caixa manual tem um tempo de interrupção de 2 segundos, enquanto a caixa manual automatizada demora 1 segundo na troca de mudança. Para a caixa automática este tempo é reduzido para 0,8 segundos. [19]

Após se definir na ferramenta VECTO o tipo de caixa de velocidades é necessário estabelecer o número de mudanças e as relações de caixa, como representa a Figura 19.

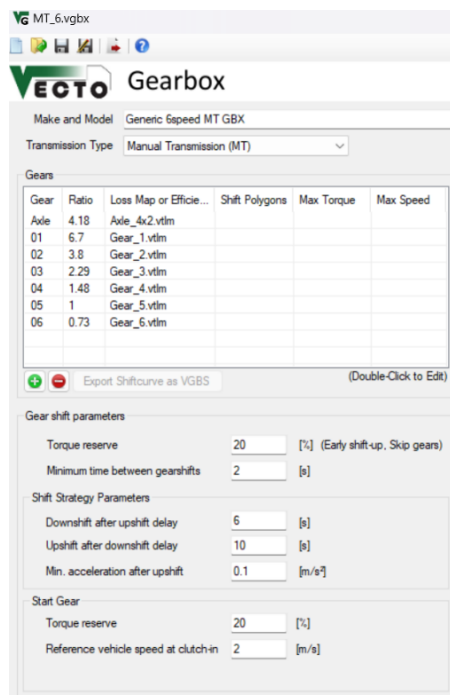


Figura 19 - Interface da opção "Gearbox" na ferramenta VECTO [13]

Para completar a definição da caixa de velocidades na ferramenta VECTO é necessário definir o mapa de eficiência da transmissão. São utilizados valores obtidos em testes experimentais de componentes para calcular as perdas. O mapa de eficiência é composto pela velocidade de rotação da transmissão, pelo binário de entrada e pelas perdas de binário. Na Figura 20 está a exemplificação do mapa de eficiência na ferramenta VECTO.

Input Speed [rpm]	Input Torque [Nm]	Torque Loss [Nm]
0	-1000	25
0	0	5
0	1000	25
0	2000	45
0	3000	65
0	4000	85
0	5000	105
0	6000	125
0	7000	145
0	8000	165
0	9000	185
0	10000	205
238	-1000	25.2
238	0	5.2
238	1000	25.2
238	2000	45.2
238	3000	65.2
238	4000	85.2
238	5000	105.2

Figura 20 - Exemplo da composição do mapa de eficiência na ferramenta VECTO [13]

Quando o binário de entrada definido no mapa tiver um valor superior a zero, significa que o motor está num estado de operação normal. Se o valor for inferior a zero, significa que está a ocorrer travagem com o motor. Para a definição do mapa de eficiência é necessário incluir valores negativos de binário. No “Engineering Mode” pode ser utilizado um mapa de eficiência, como também pode ser utilizado um valor de eficiência, de forma a simplificar a simulação. Este valor de eficiência varia de 1 a zero, representando 100% e 0% de eficiência. [14]

Para proporcionar trocas de mudança o mais realista possível implementou-se na ferramenta VECTO um algoritmo. Para simular uma troca de mudanças utilizando um algoritmo pode-se apenas ter em atenção ao binário e à potência do motor. É definido um limite de potência e binário máximo e mínimo, e sempre que o ponto de operação do motor desvia-se desses limites é colocada outra mudança. A ferramenta VECTO define estes limites utilizando um algoritmo de *Shift Polygons*. Sempre que o ponto de operação do motor baixa do limite mínimo há uma redução de mudança, e sempre que o ponto de operação do motor ultrapassa o limite máximo há um aumento de mudança. Na Figura 21 é possível verificar um exemplo de um algoritmo de *Shift Polygons*.

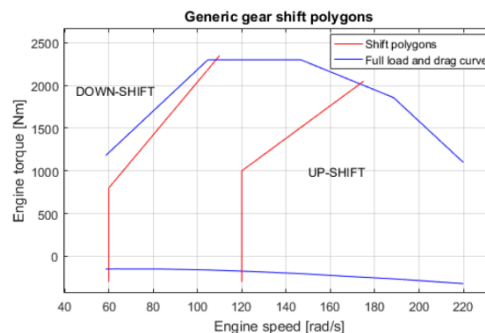


Figura 21 - Exemplo de um algoritmo de Shift Polygons [14]

Na Figura 21 é possível identificar os limites de troca de mudança a vermelho. Fora destes limites os valores de binário baixam, logo o motor não opera no seu ponto ideal, o que torna conveniente a troca de mudança.

Durante uma troca de mudança existe um pequeno intervalo de tempo em que há interrupção da tração do motor, logo há uma diminuição da velocidade do veículo. Devido a esta diminuição de velocidade pode acontecer que o algoritmo de *Shift Polygons* não seja capaz de escolher qual a mudança mais indicada, e pode ocorrer um fenómeno chamado de *Gear hunting*. Este fenómeno acontece quando o algoritmo não é capaz de escolher a mudança indicada e continua constantemente a trocar de mudança. Para combater o fenómeno de *Gear hunting*, a ferramenta VECTO define limites para as trocas de mudança. São criados limites de tempo para a redução de uma mudança após o aumento da mudança. Isto indica que se houve um aumento de mudança, esta mudança tem de se manter durante um determinado tempo, e só após esse tempo é que pode haver a redução de mudança. Também se pode definir limite de tempo para o aumento da mudança após a redução de uma mudança. Estes parâmetros estão definidos na ferramenta VECTO como “Downshift after upshift delay” e “Upshift after downshift delay”

Para finalizar a modelação da transmissão na ferramenta VECTO define-se a mudança apropriada para o arranque do veículo. Com cargas úteis mais reduzidas, ou para velocidades muito reduzidas, em que o veículo não para propriamente, é possível ao veículo arrancar em mudanças mais elevadas, logo a ferramenta VECTO permite estabelecer esta opção. Para se obter a mudança apropriada para o arranque do veículo é calculada uma carga ficcional a partir da velocidade de referência e do gradiente da estrada. Assim o arranque é independente da velocidade alvo. Para a escolha da mudança é tido em consideração o binário de reserva. Para o arranque do veículo é necessário um certo binário, e a VECTO seleciona a mudança mais alta que não só cumpre com o binário necessário, como ainda tem em consideração o binário de reserva. O binário de reserva permite que existam trocas de mudança dentro da área de *Polygons*, e assim a troca de mudança ocorre mais cedo. [15]

#### **4.1.2. Categoria *Auxiliaries***

Com a definição destes parâmetros concluiu-se a caracterização da categoria “General”. A categoria seguinte que é necessário completar é a “Auxiliaries”.

Os veículos pesados são equipados com componentes que não fazem parte do sistema que proporciona potência às rodas, mas estes componentes consomem potência ao motor.

Estes componentes são chamados de auxiliares e como consomem potência ao motor é necessário que sejam tidos em consideração na simulação. Na ferramenta VECTO é necessário definir os tipos de ventoinha, bomba de direção, ar condicionado, sistema elétrico e sistema pneumático que equipa o veículo pesado, Figura 22.

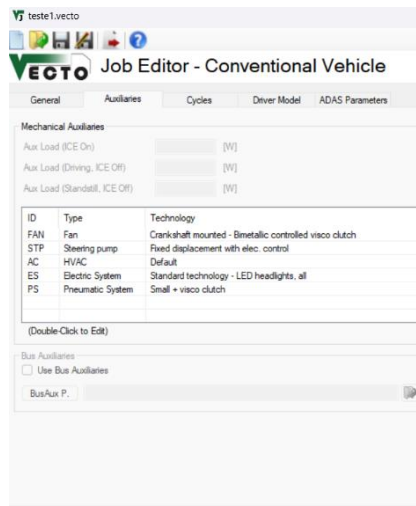


Figura 22 - Interface da categoria "Auxiliaries" na ferramenta VECTO [13]

Durante o funcionamento do veículo o motor aquece, e com cargas úteis elevadas este aquecimento ainda é mais pronunciado. Devido a isto, os veículos pesados são equipados com sistemas que auxiliam o arrefecimento do motor, sendo o principal a ventoinha. Como esta ventoinha está ligada ao motor retira alguma potência, aumentando os consumos de combustível. De forma a permitir o bom arrefecimento do motor, mas diminuindo ao máximo a potência usada pela ventoinha foram desenvolvidos vários tipos de acionamento. A ferramenta VECTO considera ventoinhas acionadas pela cambota, movidas por cinta ou transmissão, acionadas de forma hidráulica ou de forma elétrica. Para facilitar a rotação do volante do veículo pesado o sistema de direção é assistido através de uma bomba. Esta bomba está montada no motor, logo retira alguma potência a este. A ferramenta VECTO também dispõe de vários tipos de bomba de direção desde bombas elétricas a bombas de deslocamento fixo ou deslocamento variável. Um dos auxiliares que tem uma grande influência no consumo de combustível é o ar condicionado. Como se verifica pela Figura 23, 99,7% dos veículos pesados estão equipados com ar condicionado.

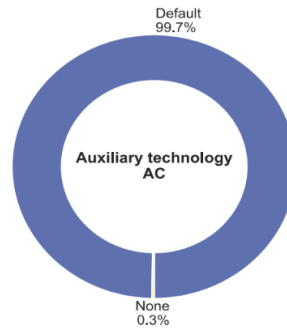


Figura 23 - Percentagem de utilização do sistema de ar condicionado num veículo pesado

Na ferramenta VECTO o tipo de ar condicionado não é tido em consideração, apenas é necessário indicar se o veículo está equipado ou não com ar condicionado. Na VECTO o sistema elétrico foca-se apenas no tipo de iluminação do veículo e existem duas opções. Uma tecnologia standard, ou uma tecnologia LED. Esta segunda opção é a que apresenta uma melhor eficiência. Os veículos pesados têm vários componentes que operam com ar comprimido, logo é necessário que tenham um sistema pneumático. O ar é comprimido através de compressores alimentados pelo motor, o que retira potência ao motor. O sistema pneumático na ferramenta VECTO é caracterizado pela capacidade de fornecimento de ar, pelas etapas de compressão e pelas várias tecnologias associadas. A capacidade de fornecimento de ar pode ser considerada pequena, média ou grande, e depende maioritariamente do tipo de veículo, já que veículos com maior massa necessitam de maiores pressões de ar. Em relação às etapas de compressão podem ser de primeira ou segunda etapa, e as tecnologias podem ser embraiagens viscosas, mecânicas ou sistemas AMS ou ESS. Para o “Engineering Mode” não é necessário definir todos os tipos de auxiliares, apenas é fundamental indicar qual a potência total consumida pelos auxiliares. Esta potência total é apresentada em Watts. [11]

#### 4.1.3. Categoria Cycles

Para efetuar uma simulação na ferramenta VECTO é necessário definir todas as características do veículo pesado e de seguida estabelecer um percurso para o veículo percorrer. Esse percurso, na ferramenta VECTO é chamado de perfil de exploração. O perfil de exploração consiste na simulação de um cenário típico de transporte que reflete a utilização do veículo pesado. Existem dois tipos de simulação dos ciclos de exploração. Os de *distance-based* e os *time-based*. Os ciclos baseados na distância definem uma distância final e é atribuída uma velocidade alvo para cada ponto do percurso. Os ciclos baseados no tempo definem um tempo final para o teste e definem uma velocidade alvo para cada

segundo do percurso. Isto significa que num ciclo *distance-based* todos os veículos percorrem a mesma distância, mas com tempos diferentes. Num ciclo *time-based* todos os veículos operam durante o mesmo tempo, mas percorrem distâncias diferentes. A ferramenta VECTO é capaz de simular ambos os ciclos. [12]

Estes ciclos representam cenários típicos dos modos de operação dos veículos pesados, logo é necessário existir vários ciclos para simular todos os modos de operação. Para camiões rígidos e tratores existem cinco perfis de exploração, como representa a Tabela 3.

Tabela 3 - Perfis de exploração presentes na ferramenta VECTO [11]

Perfil de Exploração	Descrição
<i>Urban Delivery</i>	Representa uma rota urbana com uma velocidade média de cerca de 60 km/h, com uma condução muito dinâmica devido a um grande número de acelerações e desacelerações. Apresenta no total 105 paragens.
<i>Regional Delivery</i>	Carateriza uma rota interurbana com parcelas de condução urbana e em autoestrada. Apresenta no total 12 paragens.
<i>Long Haul</i>	Reflete uma rota de longa distância em que grande parte da condução é feita em autoestrada, logo é menos dinâmica e tem uma velocidade média de cerca de 80 km/h. Apresenta no total 5 paragens.
<i>Construction</i>	Representa o perfil de condução de um veículo pesado que é colocado num local de construção. Apresenta no total 41 paragens.
<i>Municipal Utility</i>	Carateriza uma condução em cidade em que o número de paragens é muito elevado, logo a velocidade média é bastante baixa, cerca de 9 km/h. É normalmente utilizado para camiões de recolha de resíduos. Apresenta no total 103 paragens.

Os ciclos de exploração são compostos pelo tempo em segundos, ou pela distância em metros, dependendo de serem *time-based* ou *distance-based*, pela velocidade alvo e pelo gradiente da estrada. A distância ou o tempo podem ser apresentados com uma qualquer resolução. O gradiente representa a inclinação da estrada em cada intervalo de tempo. No perfil de exploração também é tido em consideração as paragens do veículo. No ciclo de exploração também podem ser colocadas informações sobre a mudança em que o veículo está para cada intervalo de tempo, a potência consumida pelos auxiliares, a velocidade do vento ou a potência à roda. Na Figura 24 está a representação de um exemplo de um perfil de exploração *Regional Delivery*.

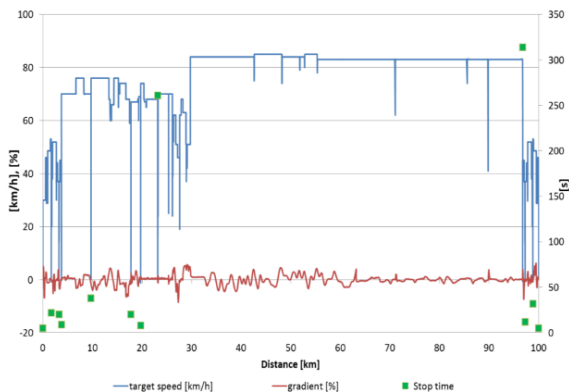


Figura 24 - Exemplo de um perfil de exploração "Regional Delivery" [20]

Na Figura 24 representado a azul está a velocidade alvo que o veículo tenta atingir, a vermelho está retratado o gradiente da estrada em percentagem e assinalados com pontos verdes estão as paragens efetuadas pelo veículo.

Para cada perfil de exploração é calculado um certo valor de emissões de CO<sub>2</sub> e de consumo de combustível, logo não é possível obter-se um valor único para as emissões de CO<sub>2</sub> e de consumo de combustível para o veículo pesado simulado. Para caracterizar a eficiência do veículo pesado é necessário apresentar as várias simulações para os diferentes perfis de exploração.

Na ferramenta VECTO, para o "Engineering Mode", os perfis de exploração podem ser alterados, permitindo diferentes velocidades-alvo, gradiente e outros parâmetros. No caso do "Declaration Mode", os perfis não podem ser alterados, sendo assim iguais para todas as simulações efetuadas por todos os fabricantes. Para se manter uma igualdade nas simulações efetuadas pelos fabricantes os perfis de exploração simulados dependem do veículo utilizado. Na Tabela 4 estão representados os perfis de exploração dependendo do subgrupo do veículo.

Tabela 4 - Perfis de exploração para cada subgrupo de veículo [15]

Subgrupo do Veículo	Perfis de exploração simulados
4	<i>Long Haul</i>
	<i>Regional Delivery</i>
	<i>Urban Delivery</i>
	<i>Municipal Utility</i>
9	<i>Long Haul</i>
	<i>Long Haul EMS</i>
	<i>Regional Delivery</i>
	<i>Regional Delivery EMS</i>
	<i>Municipal Utility</i>

5	<i>Long Haul</i>
	<i>Long Haul EMS</i>
	<i>Regional Delivery</i>
	<i>Regional Delivery EMS</i>
	<i>Urban Delivery</i>
10	<i>Long Haul</i>
	<i>Long Haul EMS</i>
	<i>Regional Delivery</i>
	<i>Regional Delivery EMS</i>

Como se verifica pela Tabela 4, utilizando o “Declaration Mode” um veículo do subgrupo 9 apenas pode ser simulado para um percurso *Long Haul*, *Regional Delivery* e *Municipal Utility*.

Também neste modo é definida automaticamente a carga que o veículo transporta, e esta carga depende do tipo de veículo e do perfil de exploração. Cada perfil tem dois tipos de carga, a carga reduzida, que representa uma carga útil com uma massa reduzida, e a carga representativa, que representa uma carga mais semelhante a uma utilização real daquele tipo de veículo. Na Tabela 5 estão representadas as cargas úteis dos veículos, dependendo do subgrupo e do perfil de exploração.

Tabela 5 - Cargas úteis em quilogramas aplicadas a cada subgrupo de veículos [15]

Subgrupo do Veículo	<i>Long Haul</i>		<i>Regional Delivery</i>		<i>Urban Delivery</i>		<i>Municipal Utility</i>	
	Red.	Rep.	Red.	Rep.	Red.	Rep.	Red.	Rep.
4	1900	14000	900	4400	900	4400	600	3000
9	2600	19300	1400	7100	-	-	1200	6000
5	2600	19300	2600	12900	2600	12900	-	-
10	2600	19300	2600	12900	-	-	-	-

Assim quando é feita uma simulação na ferramenta VECTO utilizando o “Declaration Mode”, esta automaticamente define as cargas úteis apresentadas na Tabela 5 de acordo com o subgrupo de veículo e o perfil de exploração.

Outro aspeto que pode estar relacionado com os perfis de exploração é a caracterização dos eixos do veículo. Como se verificou no Capítulo 4.1.1 no “Declaration Mode” apenas é necessário caracterizar os eixos do trator ou camião rígido, já que o semirreboque é caracterizado automaticamente. No entanto neste modo ao se simular um camião rígido num percurso *Long Haul* é automaticamente adicionado um reboque ao camião rígido,

ficando o veículo com a configuração representada na Figura 25. É devido a esta adição do reboque que a carga representativa para um veículo do subgrupo 9 num percurso *Long Haul* é tão elevada.

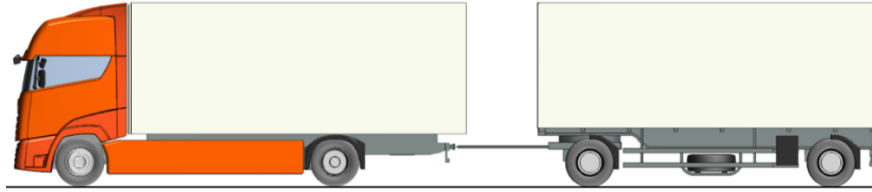


Figura 25 - Camião rígido com reboque [15]

Se se pretender simular o veículo sem o reboque é necessário utilizar o “Engineering Mode” e aí apenas é necessário caracterizar os eixos do camião rígido. Esta configuração de um reboque adicional é definida como EMS, *European Modular System*, e como se verifica pela Tabela 4 é utilizada em veículos do subgrupo 5, 9 e 10.

#### 4.1.4. Categoria *Driver Model*

De forma a replicar a simulação o mais realista possível a ferramenta VECTO dispõe da categoria *Driver Model*. O veículo pesado é simulado para cada perfil de exploração através de um *Driver Model* que converte a velocidade alvo do perfil de exploração para a velocidade do veículo. Nesta categoria são definidos alguns comportamentos que se podem assemelhar a um condutor, Figura 26, como o *Overspeed*, o *Look-Ahead Coasting* e o Mapa de aceleração.

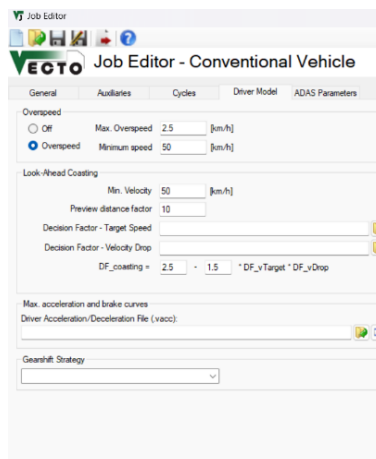


Figura 26 - Interface da categoria "Driver Model" na ferramenta VECTO [13]

O primeiro parâmetro a ser definido é o *Overspeed*. O *Overspeed* controla o veículo em situações em que a potência na roda é negativa. O sistema *Overspeed* é delineado para modelar o comportamento de um condutor quando o veículo não está equipado com sistemas de auxílio à condução. Devido a isto nas opções de definição do sistema ADAS se o sistema *Eco-Roll* estiver desativado é fundamental que o *Overspeed* seja definido, uma vez que o *Eco-Roll* corresponde a um auxiliar de condução. O sistema *Overspeed* é ativado quando a potência solicitada à roda é negativa, como por exemplo quando o veículo acelera numa descida. Neste caso não são aplicados os travões e a velocidade do veículo fica superior à velocidade alvo. Assim o veículo acelera até que a sua velocidade seja superior à velocidade alvo mais o valor definido para a opção “Max. Overspeed”. Assim que o veículo atinge essa velocidade são aplicados os travões. O sistema *Overspeed* apenas é acionado se a velocidade do veículo for superior à velocidade definida na opção “Minimum speed”. [15]

O parâmetro *Look-Ahead Coasting* simula o comportamento de antecipação do condutor. Sempre que existe uma diminuição da velocidade alvo o veículo desacelera com alguma antecedência, usando a travagem do motor e de seguida os travões. Se o parâmetro *Look-Ahead Coasting* estiver desativado a desaceleração é feita apenas através dos travões. Este parâmetro apenas é ativado quando a velocidade do veículo for superior ao valor da opção “Min. Speed”. A antecipação da desaceleração é definida pelo fator de decisão, que varia de acordo com a velocidade. Os fatores de decisão representados na Figura 26 podem tomar o valor de 1 ou zero. Por defeito sempre que a velocidade é superior a 48 km/h, o fator de decisão para a velocidade alvo é um. O fator de decisão da diminuição da velocidade toma o valor de 1 sempre que a diminuição de velocidade for menor que 9 km/h. Estes valores são considerados por defeito na ferramenta VECTO, mas no *Engineering Mode* é possível alterá-los. [15]

Para simular o comportamento do condutor de forma ainda mais real é designado um mapa de acelerações e desacelerações. Numa situação real um condutor não aciona os travões ou o acelerador a 100%, logo são definidos valores máximos de aceleração e desaceleração para respetivos valores de velocidade. Na Figura 27 está representado um exemplo dos valores máximos de aceleração e desaceleração.

Velocity [km/h]	Maximum acceleration [m/s <sup>2</sup> ]	Maximum deceleration [m/s <sup>2</sup> ]
0	1.75	-0.25
10	1.42	-0.74
...	...	...
100	0.22	-0.25

Figura 27 - Exemplo de mapa de aceleração na ferramenta VECTO [12]

Mesmo que o veículo necessite de uma grande aceleração para cumprir com o valor de velocidade alvo, este não irá acelerar mais do que o valor definido no mapa. Para o caso de uma travagem, os valores representados no mapa também são cumpridos. Mesmo que a velocidade alvo diminua bastante num intervalo de tempo a desaceleração do veículo seguirá os valores fixados no mapa.

#### 4.1.5. Categoria *ADAS Parameters*

Ao longo dos anos foram desenvolvidos vários sistemas nos veículos que tornassem a condução mais segura. Um desses sistemas é o ADAS, que significa *Advanced Driver Assistance Systems*, ou sistemas avançados de assistência ao condutor. [21]

A ferramenta VECTO apenas permite caracterizar três opções do sistema ADAS. O sistema *Stop/Start*, o *Eco-roll* e o *Predictive Cruise Control*, Figura 28. É de notar que estas opções já foram referidas na opção *Vehicle*, mas nesse caso apenas era necessário indicar se o veículo estava ou não equipado com os sistemas. Na categoria *ADAS Parameters* são definidas as características dos sistemas.

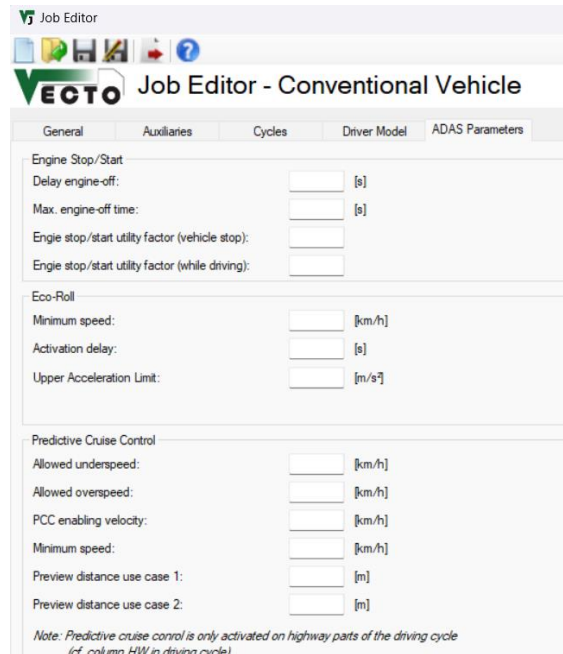


Figura 28 - Interface da categoria "ADAS Parameters" na ferramenta VECTO [13]

Na ferramenta VECTO é possível implementar um sistema simples de *Stop/Start*. Se o sistema de *Stop/Start* estiver acionado, sempre que o veículo para o motor é desligado para haver poupança de combustível. Durante esta paragem a energia solicitada para os auxiliares e para ligar o motor é acumulada. No fim da simulação há uma correção do consumo do combustível que considera esta energia solicitada para os auxiliares e para o acionamento do motor. Para definir o sistema *Stop/Start* na ferramenta VECTO é necessário estabelecer o "Delay engine-off" que no caso de uma paragem do veículo representa o tempo que o veículo é desligado após a paragem. O "Max. Engine-off time" representa o tempo que o veículo está desligado. Esta opção limita o tempo máximo que o motor está desligado. Para finalizar a caracterização do sistema *Stop/Start* é necessário decidir o fator de utilidade. Este fator limita o número de vezes que o motor desliga nas paragens. Numa situação real o motor não desliga em todas as paragens, e este fator considera esse aspeto. Se o valor for de 1, indica que o veículo desliga o motor em todas as paragens. [15]

O sistema *Eco-Roll* é um assistente que automaticamente desassocia o motor do veio de transmissão durante descidas. O objetivo é diminuir o consumo de combustível nestas fases de descida. O modo de *Eco-roll* é aplicado quando o veículo, numa situação de potência na roda negativa, ou seja, numa descida coloca a caixa de transmissão em neutro e aplica os travões. O sistema de *Eco-Roll* pode ser definido com e sem o suporte do sistema de *Stop/Start*. Com o suporte do sistema *Stop/Start* e durante a fase de *Eco-Roll*

o motor é desligado, diminuindo o consumo de combustível. Se o sistema *Stop/Start* não estiver ativado, durante a fase de *Eco-Roll* o motor funciona à velocidade de ralenti. Para definir o sistema de *Eco-Roll* na ferramenta VECTO é vital preencher os valores para a velocidade mínima em que o sistema é ativado, o *delay* entre o momento em que estão reunidas as condições para a ativação e a efetiva ativação do *Eco-Roll* e o limite máximo para a aceleração do sistema. [15]

O *Predictive Cruise Control* é um sistema que otimiza a operação do motor durante o ciclo de exploração ao basear-se numa visualização prévia do gradiente da estrada. Na ferramenta VECTO o sistema de PCC deve obter informação do gradiente da estrada para uma distância superior a 1000 metros. O PCC é utilizado em dois casos, sendo um deles o momento em que o gradiente da estrada está a aumentar e de seguida diminui, como o caso de um cume. A velocidade do veículo é reduzida ainda na fase de subida para que a travagem durante a descida seja reduzida. O segundo caso em que o PCC é utilizado é durante descidas com uma grande inclinação e em que a velocidade do veículo é baixa. Nestes casos a aceleração é feita sem o auxílio do motor para que a travagem seja reduzida. No entanto o *Predictive Cruise Control* apenas é utilizado em secções de autoestrada do perfil de exploração. Na Figura 29 está representada a definição das características do *Predictive Cruise Control* na ferramenta VECTO. [15]

Predictive Cruise Control		
Allowed underspeed:	<input type="text"/>	[km/h]
Allowed overspeed:	<input type="text"/>	[km/h]
PCC enabling velocity:	<input type="text"/>	[km/h]
Minimum speed:	<input type="text"/>	[km/h]
Preview distance use case 1:	<input type="text"/>	[m]
Preview distance use case 2:	<input type="text"/>	[m]

Note: Predictive cruise control is only activated on highway parts of the driving cycle  
(cf. column HW in driving cycle)

Figura 29 - Definição das características do "Predictive Cruise Control" na ferramenta VECTO [13]

O "Allowed underspeed" representa a diminuição de velocidade do veículo durante a operação do *Predictive Cruise Control*, tendo como referência a velocidade alvo. A opção "Allowed overspeed" traduz o aumento da velocidade máxima que o veículo pode atingir durante a operação do PCC, tendo também como referência a velocidade alvo. Se por exemplo a velocidade alvo for de 80 km/h e se se pretender que durante a operação do PCC o veículo atinja uma velocidade de 85 km/h, é necessário definir na ferramenta VECTO um valor de 5 km/h na opção "Allowed overspeed". A opção "PCC enabling velocity" estabelece a velocidade a que o PCC pode ser ativado. É de notar que o *Predictive Cruise*

*Control* apenas é ativado em autoestrada, logo mesmo que esta velocidade de ativação seja alcançada fora de autoestrada, o PCC não será ativado. A “Minimum speed” representa a velocidade mínima para o uso do PCC para o caso dois, referido anteriormente. Por fim as opções “Preview distance” referem-se à distância de visualização prévia do gradiente da estrada, existindo uma opção para cada um dos casos.

## 4.2. Simulação na ferramenta VECTO

Para um determinado perfil de exploração e para uma carga útil definida a ferramenta VECTO utiliza a informação dos dados de entrada sob a forma de valor único, como massa do veículo e resistência de rolamento, ou sob a forma de mapa, como o mapa do motor, do consumo de combustível e o mapa de perdas na transmissão, para simular a dinâmica longitudinal do veículo pesado. Os dados de entrada sob a forma de mapa representam valores dinâmicos, que variam dependendo da velocidade do veículo ou da velocidade de rotação do motor. A ferramenta VECTO segue um modelo de blocos da dinâmica longitudinal do veículo. Isto significa que a VECTO simula o comportamento dinâmico do veículo através do seu eixo longitudinal. Com este modelo as forças laterais que atuam no veículo são desprezadas. Esta simplificação é aceitável, uma vez que as forças longitudinais têm uma magnitude muito superior às forças laterais.

Existem dois métodos diferentes para operar uma simulação de um veículo. Existe o método *forward-looking* e o método *backward-looking*.

No modelo *forward-looking* é definida uma velocidade alvo que o veículo tenta atingir. Assim um modelo *forward-looking* pode ser caracterizado por um modelo acelerador para roda. O binário produzido pelo motor é enviado para a transmissão e passa pelas várias relações de caixa e é finalmente aplicado nas rodas. Como não existe uma velocidade imposta ao veículo, haverá uma pequena diferença entre a velocidade do veículo e a velocidade alvo. Cabe à simulação diminuir essa diferença, através da redução ou aumento de binário e rotação do motor.

No modelo *backward-looking* a velocidade alvo é definida e o veículo segue rigorosamente essa velocidade. Assim um modelo *backward-looking* pode ser caracterizado por um modelo roda para motor. O binário necessário a aplicar na roda para cumprir a velocidade alvo é enviado para a transmissão, onde são tidas em conta as relações de caixa, e de seguida o binário é enviado para o motor. Assim é definido o binário que o motor

necessita de produzir. Este modelo necessita de mapas de eficiência e de consumo, normalmente obtidos através de testes reais.

Para se calcular o consumo de combustível e emissões de CO<sub>2</sub> do veículo pesado é necessário converter a informação do ciclo de exploração em pontos de operação no mapa do motor, tendo em atenção as respetivas características do veículo. Na ferramenta VECTO é utilizado o método *backward-looking* para efetuar esta operação. O *Driver Model* converte a informação do ciclo de exploração, como a velocidade alvo e o gradiente da estrada, numa aceleração solicitada. Esta aceleração é transferida para o módulo *Vehicle*, que através da informação da massa do veículo, da resistência aerodinâmica e do raio dinâmico do pneu converte a aceleração solicitada numa força solicitada. Através da inércia da roda, esta força é convertida num binário desejado, Figura 30. [14]

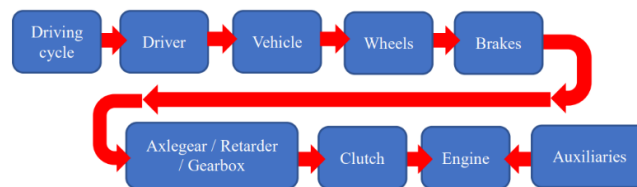


Figura 30 - Estruturação de uma simulação na ferramenta VECTO [14]

Este binário é transferido para o módulo da transmissão. No módulo da transmissão é tido em conta o mapa de eficiência e a estratégia de troca de mudança. Dependendo da mudança em que o veículo está é definido um valor para as perdas de binário de acordo com o mapa de eficiência. Através destas análises é definido um novo binário desejado. Este binário, assim como o binário obtido pelos auxiliares, é transferido para o módulo do motor e no mapa do motor é indicado este valor de binário. Se este binário estiver de acordo com a curva de binário do veículo é devolvida uma mensagem positiva, e a simulação prossegue para o próximo intervalo de tempo. Se o binário solicitado não for de encontro com a curva de binário do motor do veículo, o módulo do motor devolve uma mensagem de erro ao *Driver Model*. Com isto o *Driver Model* altera a aceleração solicitada até que o binário solicitado no módulo do motor esteja dentro dos valores da curva de binário do veículo. O *Driver Model* é capaz de alterar a aceleração solicitada a partir do acionamento dos travões. Na Figura 31 está representada a esquematização de uma simulação na ferramenta VECTO.

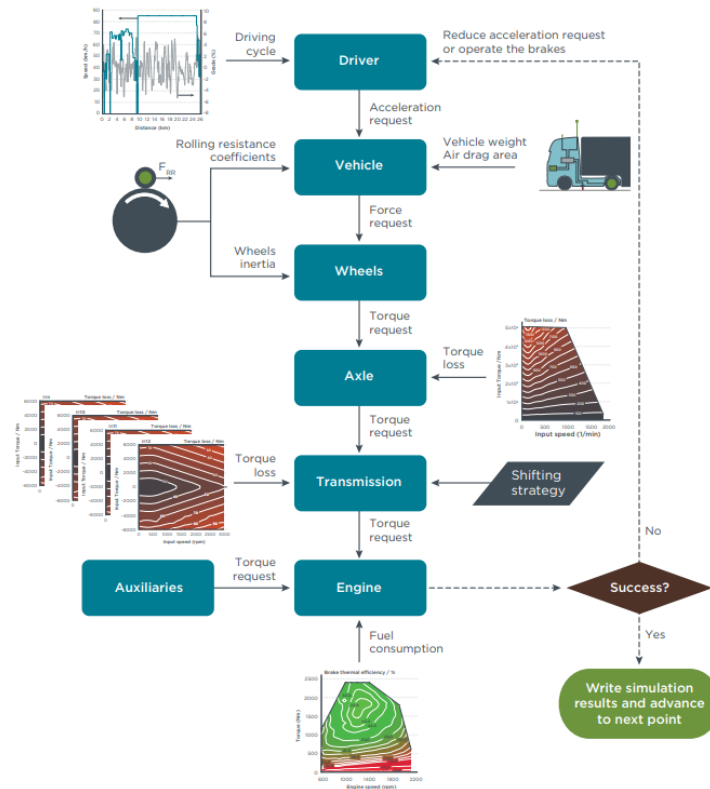


Figura 31 - Esquema de uma simulação na ferramenta VECTO

Quando o binário solicitado está de acordo com a curva de binário do veículo é devolvida ao *Driver Model* uma mensagem positiva e assim o consumo de combustível pode ser calculado através do mapa de consumo de combustível. É de notar que neste ponto é necessário efetuar todas as correções do mapa de consumo como os fatores de correção WHTC. [22]

Os valores das emissões de CO<sub>2</sub> são calculados após a correção do mapa de consumo de combustível e tendo em consideração o combustível do veículo. São utilizados os valores de quantidade de CO<sub>2</sub> do respetivo tipo de combustível para a determinação das emissões. Na Figura 32 está a exemplificação dos tipos de combustível e da quantidade de CO<sub>2</sub> para cada combustível utilizado na ferramenta VECTO.

FuelType	Tanksystem	FuelDensity [kg/m3]	CO2 per FuelWeight [kgCo2/kgFuel]	NCV_stdEngine [kJ/kg]	NCV_stdVecto [kJ/kg]	Note
Diesel CI		836	3.13	42700	42700	
Ethanol CI		820	1.81	25700	25400	
Petrol PI		748	3.04	41500	41500	
Ethanol PI		786	2.10	29100	29300	
LPG PI			3.02	46000	46000	
NG PI	compressed		2.69	45100	48000	H-Gas
NG PI	liquefied		2.77	45100	49100	EU mix 2016/2030

Figura 32 - Quantidade de CO<sub>2</sub> presente em cada combustível disponível na ferramenta VECTO [15]

### 4.3. Dados de saída da ferramenta VECTO

O objetivo principal da ferramenta VECTO é simular o consumo de combustível e as emissões de CO<sub>2</sub> de um veículo pesado novo ao longo de um determinado perfil de exploração. Assim os *outputs* da ferramenta VECTO consistem na obtenção dos valores de consumo de combustível e de emissões de CO<sub>2</sub> ao longo dos vários perfis de exploração. Os *outputs* gerados pela ferramenta VECTO são quatro relatórios, o “Manufacturer Report”, “Customer Report”, “Monitoring Report” e “Summary Results”. Os dois primeiros relatórios são apresentados no formato XML e contêm a descrição do veículo simulado e os resultados da simulação. O “Manufacturer Report” apresenta todas as características do veículo e os respetivos consumos e emissões, enquanto o “Customer Report” foca-se mais na apresentação do consumo de combustível e emissões de CO<sub>2</sub> do veículo pesado. Na Figura 33 está apresentado um exemplo do ficheiro XML do “Manufacturer Report” obtido através da ferramenta VECTO.

```

<Engine>
  <Model>175kW 6.81 Engine</Model>
  <CertificationNumber>N/A</CertificationNumber>
  <DigestValue>
    </DigestValue>
  <RatedPower unit="kW">175</RatedPower>
  <IdlingSpeed unit="rpm">600</IdlingSpeed>
  <RatedSpeed unit="rpm">1950</RatedSpeed>
  <Displacement unit="ltr">6.9</Displacement>
  <FuelTypes>
    <FuelType>Diesel CI</FuelType>
  </FuelTypes>
  <WasteHeatRecoverySystem>false</WasteHeatRecoverySystem>
</Engine>
<Gearbox>
  <Model>Generic 6speed MT GBX</Model>
  <CertificationMethod>NOT CERTIFIED</CertificationMethod>
  <CertificationNumber>N/A</CertificationNumber>
  <DigestValue>
    </DigestValue>
  <TransmissionType>SMT</TransmissionType>
  <GearsCount>6</GearsCount>
  <TransmissionRatioFinalGear>0.730</TransmissionRatioFinalGear>
</Gearbox>
<Retarder>
  <RetarderType>None</RetarderType>
</Retarder>
  <AverageSpeed unit="km/h">79.3</AverageSpeed>
  <AverageDrivingSpeed unit="km/h">80.5</AverageDrivingSpeed>
  <MinSpeed unit="km/h">0.0</MinSpeed>
  <MaxSpeed unit="km/h">85.0</MaxSpeed>
  <MaxDeceleration unit="m/s^2">1.00</MaxDeceleration>
  <MaxAcceleration unit="m/s^2">1.00</MaxAcceleration>
  <FullLoadDrivingTimePercentage>9.57</FullLoadDrivingTimePercentage>
  <GearshiftCount>32</GearshiftCount>
  <EngineSpeedDriving>
    <Min unit="rpm">603.6</Min>
    <Average unit="rpm">1606.4</Average>
    <Max unit="rpm">2334.7</Max>
  </EngineSpeedDriving>
  <AverageGearboxEfficiency unit="%">93.20</AverageGearboxEfficiency>
  <AverageAxleGearEfficiency unit="%">88.35</AverageAxleGearEfficiency>
</VehiclePerformance>
<Fuel type="Diesel CI">
  <FuelConsumption unit="g/km">216.6</FuelConsumption>
  <FuelConsumption unit="g/t-km">166.1</FuelConsumption>
  <FuelConsumption unit="g/m^3-km">2.55</FuelConsumption>
  <FuelConsumption unit="MJ/km">9.25</FuelConsumption>
  <FuelConsumption unit="MJ/t-km">7.09</FuelConsumption>
  <FuelConsumption unit="MJ/m^3-km">0.109</FuelConsumption>
  <FuelConsumption unit="1/100km">25.9</FuelConsumption>
  <FuelConsumption unit="1/t-km">0.199</FuelConsumption>
  <FuelConsumption unit="1/m^3-km">0.00305</FuelConsumption>
</Fuel>
  <CO2 unit="g/km">678.01</CO2>
  <CO2 unit="g/t-km">519.98</CO2>
  <CO2 unit="g/m^3-km">7.98</CO2>
</Result>

```

Figura 33 - Exemplo do ficheiro "Manufacturer Report" obtida na ferramenta VECTO [13]

O “Monitoring Report” representa toda a informação necessária que os fabricantes devem comunicar à Comissão Europeia, de acordo com o regulamento 2018/956. [23]

Por fim o ficheiro “Summary Results” inclui todas as características do veículo e todos os resultados obtidos por simulação. [15]

Com estes ficheiros obtidos através da ferramenta VECTO é possível verificar o consumo de combustível e emissões de CO<sub>2</sub> de um determinado veículo pesado ao longo de um percurso definido. Estes valores de consumo de combustível e de emissões são comunicados à Comissão Europeia para ser realizada a certificação do veículo. Estes valores não são apenas úteis para a certificação do veículo, uma vez que ao alterar algumas características do veículo é possível fazer uma nova simulação, e assim comparar o consumo e emissões do veículo antes e depois dessas alterações. Isto indica que a ferramenta VECTO não é apenas útil para um cálculo normalizado de consumo de combustível e emissões de CO<sub>2</sub>, mas também é vantajosa para um estudo e uma otimização de um veículo pesado.

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

# 5

## Influência dos parâmetros na ferramenta VECTO

Após a verificação do funcionamento da ferramenta VECTO e de todos os parâmetros necessários para a realização de uma simulação na VECTO decidiu-se estudar a influência destes parâmetros nos resultados da simulação. Pretendeu-se analisar qual a influência da alteração de certos parâmetros no consumo final de combustível e nas emissões de CO<sub>2</sub>.

Para este estudo optou-se por utilizar um modelo de veículo já pré-definido na ferramenta VECTO. O veículo utilizado foi um camião rígido com configuração de eixos 6x2 pertencente ao subgrupo 9. Todas as características estabelecidas como base estão apresentadas no Anexo E. Para este estudo foi decidido recorrer ao perfil de exploração “Long Haul” e ao perfil “Urban Delivery”, uma vez que o primeiro corresponde a um trajeto em autoestrada e com uma velocidade alvo elevada e o segundo corresponde a um trajeto urbano com bastantes paragens e velocidades reduzidas. Assim é possível analisar a influência dos parâmetros para dois casos distintos.

## 5.1. Influência dos parâmetros na opção *Vehicle*

Para este estudo da influência dos parâmetros no consumo final de combustível e nas emissões de CO<sub>2</sub> começou-se por analisar todas as propriedades da opção *Vehicle*.

### 5.1.1. Influência da carga

O peso de um veículo tem uma grande influência no consumo de combustível. Um veículo com um menor peso não só apresenta um menor consumo de combustível como também é capaz de transportar uma maior quantidade de carga, logo o seu consumo expresso em l/tkm também é inferior. Este aumento da carga capaz de transportar devido a um menor peso está relacionado com o peso bruto máximo do veículo. Este peso bruto corresponde ao conjunto da tara, ou seja, o peso do veículo sem carga e passageiros, mais a carga que o veículo pode transportar. Assim como o peso bruto máximo é limitado através de legislação, quanto menor for a tara do veículo maior será a carga que o veículo pode transportar.

A ferramenta VECTO apenas simula os veículos dos subgrupos 4, 5, 9 e 10, logo apenas se vai ter em consideração veículos com 2 e 3 eixos, sendo que um conjunto veículo trator mais semirreboque terá mais de 3 eixos.

Um camião rígido com configuração de 2 eixos tem um peso bruto máximo de 19 toneladas, enquanto para 3 eixos o peso bruto máximo é de 26 toneladas. O peso bruto máximo para um conjunto veículo trator mais semirreboque com 3 eixos é de 29 toneladas, enquanto para um conjunto de 4 eixos é de 38 toneladas. Para um conjunto veículo trator mais semirreboque de 5 ou mais eixos o peso bruto máximo é de 44 toneladas. Estes valores estão de acordo com o Decreto-Lei nº132/2017, com as alterações introduzidas pelo Decreto-Lei nº59/2023, que entrou em vigor em julho de 2023. [24]

De forma a determinar o valor da carga que o veículo pesado transporta é fundamental estabelecer a tara do veículo. Esta tara depende do tipo de veículo pesado, e o seu valor médio por tipo de veículo que pode ser consultado na Figura 34.

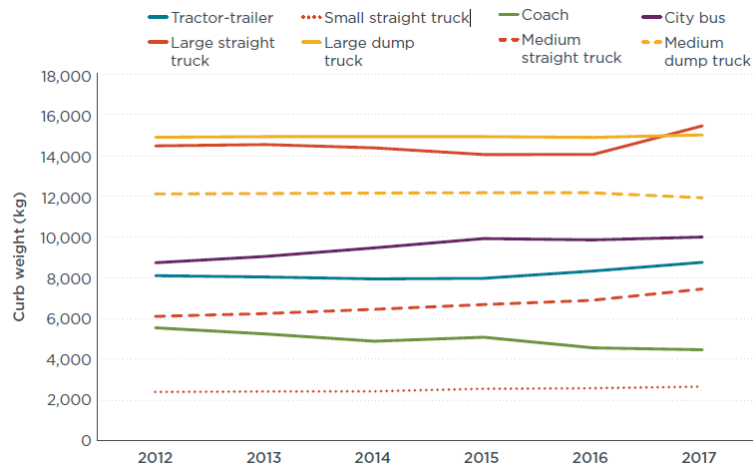


Figura 34 - Tara média dos tipos de veículos pesados [25]

Na Figura 34 estão representados vários tipos de veículos pesados, mas para esta análise apenas é preciso considerar o *Tractor-trailer*, que representa um veículo trator sem o semirreboque, o *Medium straight truck*, que representa um camião rígido de 2 eixos e o *Medium dump truck* que representa um camião rígido de 3 eixos. Assim é possível aferir que um trator sem o semirreboque tem uma tara média de cerca de 9000 kg, e um camião rígido de 2 eixos e 3 eixos tem uma tara de cerca de 7500 kg e 12000 kg respetivamente.

Para este estudo da influência de certos parâmetros no consumo de combustível e nas emissões de CO<sub>2</sub> utilizou-se um modelo de veículo já pré-definido, com uma configuração de eixos 6x2 e com uma tara de 11500 kg, como pode ser verificado no Anexo E. O veículo utilizado no presente estudo tem um peso bruto máximo de 26 toneladas. Como a sua tara é de 11500 kg, a carga máxima que este veículo pode transportar é de 14500 kg. Assim este valor de carga foi estabelecido como máximo, sendo um valor de 0 kg definido como valor inicial para a simulação do consumo de combustível e das emissões de CO<sub>2</sub>. Este valor de carga a zero significa que o veículo pesado circula vazio. De acordo com Mariana Girão, na sua dissertação de mestrado “O uso da simulação de veículos pesados na definição de fatores de agressividade”, a percentagem de quilómetros percorridos sem carga em Portugal é cerca de 22%, logo é importante ter uma referência de quanto um veículo pesado consome quando não transporta qualquer carga. [26] Segundo a mesma autora e validando a informação com o INRETS, *Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité*, a carga média que um veículo pesado transporta é cerca de 60% do peso máximo admissível, sendo que a carga é limitada pelo volume disponível e não pelo peso. [27]

Para o estudo da influência da carga no consumo de combustível e de emissões de CO<sub>2</sub> decidiu-se utilizar os 0 kg e os 14500 kg como valor mínimo e máximo respetivamente, e deu-se uma maior importância às cargas entre os 50% e os 70%, utilizando incrementos 5%. Para as restantes cargas utilizaram-se incrementos de 20% e 10%, uma vez que são cargas menos usuais. A Figura 35 ilustra os resultados obtidos para o consumo de combustível e emissões de CO<sub>2</sub> variando o parâmetro da carga, sendo que à esquerda está representado um percurso em autoestrada e à direita um percurso urbano.

Peso Bruto Admissível [%]	Carga [kg]	Consumo [l/100km]	Emissões CO2 [g/km]
0	0	15,1331	395,9856
20	2900	16,3091	426,7567
40	5800	17,5524	459,289
50	7250	18,2063	476,3995
55	7975	18,5417	485,1765
60	8700	18,8747	493,8894
65	9425	19,2123	502,7251
70	10150	19,5488	511,5298
80	11600	20,2259	529,2462
90	13050	20,9129	547,2228
100	14500	21,6036	565,2982

Peso Bruto Admissível [%]	Carga [kg]	Consumo [l/100km]	Emissões CO2 [g/km]
0	0	25,4196	665,1486
20	2900	29,4334	770,1773
40	5800	33,3684	873,1437
50	7250	35,3823	925,841
55	7975	36,4713	954,3378
60	8700	37,423	979,2398
65	9425	38,5559	1008,8835
70	10150	39,4519	1032,3312
80	11600	41,4667	1085,0507
90	13050	43,4933	1138,0816
100	14500	45,4662	1189,7055

Figura 35 - Consumo de combustível e emissões de CO2 variando os valores de carga

Como se verifica pela Figura 35 a carga que o veículo transporta tem um grande impacto no consumo de combustível e nas emissões de CO<sub>2</sub>. É de notar que num percurso com mais paragens e velocidades mais reduzidas o consumo de combustível, e consequentemente as emissões de CO<sub>2</sub> são consideravelmente superiores. Comparando o veículo sem carga e com carga máxima há um aumento do consumo em 42,7% e 78,5% para um percurso em autoestrada e urbano respetivamente. Comparando a carga média com a carga máxima, para um percurso em autoestrada o aumento é de 14,5% e para urbano é de 21,5%.

Colocando estes valores num gráfico é possível identificar com maior clareza a influência da carga no consumo de combustível e nas emissões de CO<sub>2</sub>, Figura 36.

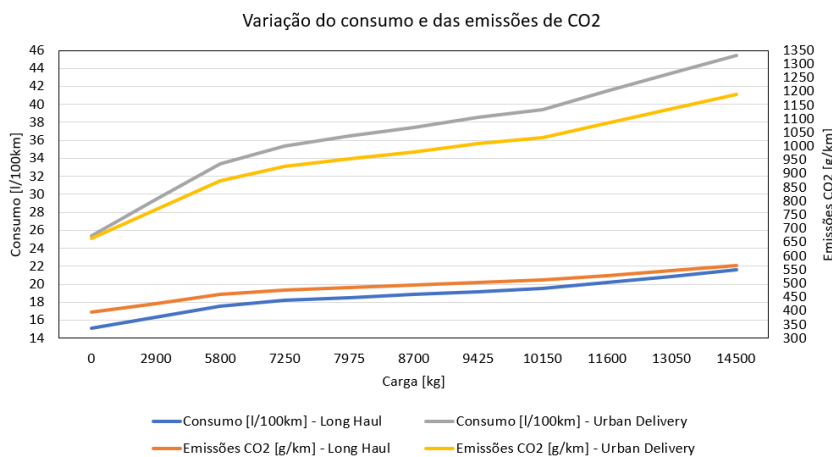


Figura 36 - Gráfico do consumo de combustível e emissões de CO2 variando os valores de carga

Pela Figura 36 verifica-se que o aumento do consumo e das emissões apresenta uma tendência crescente com o aumento da carga. Dividindo o gráfico em intervalos, dos 0 kg até aos 5800 kg, dos 5800 kg até aos 10150 kg e dos 10150 kg até aos 14500 kg confirma-se uma influência linear. Visualizando o gráfico observa-se esta maior influência da carga em trajetos urbanos, o que pode estar relacionado com o maior número de paragens e arranques do veículo e os expectáveis efeitos inerciais do veículo.

No entanto quando se analisa a influência da carga no consumo é fundamental avaliar também o consumo por tonelada quilómetro (l/100tkm). Quanto mais carga um veículo transporta maior será o seu consumo, mas como este transporta mais carga, este maior consumo compensa. Efetuando as mesmas simulações, mas desta vez calculando o consumo por tonelada quilómetro obteve-se os resultados apresentados na Figura 37.

Peso Bruto Admissível [%]	Carga [kg]	Consumo [l/100tkm]	Emissões CO2 [g/tkm]
0	0	-	-
20	2900	5,6238	147,1575
40	5800	3,0263	79,1878
50	7250	2,5112	65,7103
55	7975	2,325	60,8372
60	8700	2,1695	56,7689
65	9425	2,0384	53,3395
70	10150	1,926	50,397
80	11600	1,7436	45,6247
90	13050	1,6025	41,9328
100	14500	1,4899	38,9861

Peso Bruto Admissível [%]	Carga [kg]	Consumo [l/100tkm]	Emissões CO2 [g/tkm]
0	0	-	-
20	2900	10,1494	265,5784
40	5800	5,7532	150,542
50	7250	4,8803	127,7022
55	7975	4,5732	119,6662
60	8700	4,3015	112,5563
65	9425	4,0908	107,0433
70	10150	3,8869	101,7075
80	11600	3,5747	93,5389
90	13050	3,3328	87,2093
100	14500	3,1356	82,0487

Figura 37 - Consumo de combustível por tonelada quilómetro e emissões de CO2 variando os valores de carga

Com a Figura 37 verifica-se que quanto mais carga o veículo pesado transporta menor é o consumo por tonelada quilómetro. Comparando o valor de carga média com carga total, para um percurso em autoestrada a diminuição de consumo por tonelada quilómetro é de 31,3%, enquanto para um percurso urbano é de 27,1%.

Com os valores obtidos concluiu-se que quanto maior a carga que o veículo transporta maior será o seu consumo, mas como o veículo transporta mais carga o seu elevado consumo é vantajoso, já que analisando o consumo por tonelada quilómetro observa-se uma redução na ordem dos 29%.

### 5.1.2. Influência do parâmetro Cd x A

O valor do coeficiente de arrasto é calculado a partir da força de arrasto exercida no veículo, da densidade do ar, da velocidade do veículo e da área da secção do veículo, como demonstra a Equação 7.

$$Cd = \frac{F_d}{\frac{1}{2} \times \rho \times v^2 \times A} \quad (7)$$

Sendo  $F_d$  a força de arrasto,  $\rho$  a massa volúmica do ar,  $v$  a velocidade do veículo e  $A$  a área da secção transversal do veículo. Como para a ferramenta VECTO é necessário obter o produto de  $Cd \times A$  a Equação 7 é simplificada para a Equação 8.

$$Cd \times A = \frac{F_d}{\frac{1}{2} \times \rho \times v^2} \quad (8)$$

Como o produto de  $Cd \times A$  depende do valor da velocidade ao quadrado é de prever que este parâmetro tenha uma grande influência no consumo de combustível principalmente em trajetos em que as velocidades sejam superiores, como é o caso de percursos em autoestrada.

Para se realizar o estudo da influência deste parâmetro no consumo de combustível foi necessário verificar quais os valores de referência de  $Cd \times A$  para um veículo pesado.

Os valores de coeficiente de arrasto para um veículo pesado dos subgrupos 4, 5, 9 e 10 estão aproximadamente entre os 0,6 e 1, como demonstra a Figura 38.

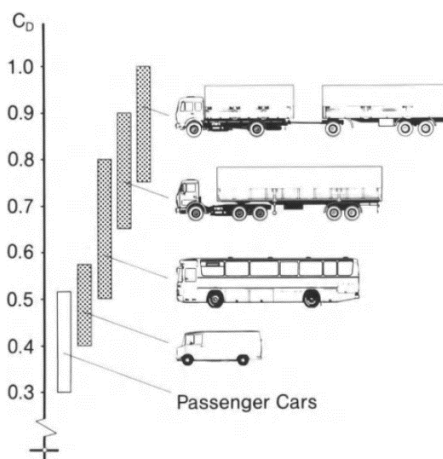


Figura 38 - Valores de  $Cd$  de referência de veículos [28]

A área máxima da secção frontal de um veículo pesado é calculada a partir da largura do veículo e da sua altura. De acordo com a diretiva 96/53/CE do Conselho da União Europeia a largura máxima para um veículo é de 2,55 m e a altura máxima é de 4 m. [29] Assim um veículo com um  $Cd$  de 1 e uma área máxima possível de 10,2 m<sup>2</sup> tem um  $Cd \times A$  de 10,2 m<sup>2</sup>. Este valor será considerado máximo no estudo da influência do parâmetro  $Cd \times$

A, uma vez que a área utilizada é máxima e o valor de  $C_d$  utilizado também é dos mais elevados para veículos destas categorias.

Após estabelecido o valor máximo foi preciso definir os restantes valores para a simulação, mais precisamente o valor inicial. Verificou-se que o valor mínimo para a média do  $C_d \times A$  para um veículo pesado pode ser de cerca 5,75, como ilustra a Figura 39.

HDV CO <sub>2</sub> vehicle class	Engine rated power [kW]	Cabin type	Vehicle count	Engine displacement median [cm <sup>3</sup> ]	Average estimated CdA [m <sup>2</sup> ]	Average RRC total [kg/t]
4	<164.1	DAY CAB	1469	6700	6.11	6.1
		LH CAB	146	6700	5.75	6
	≥164.1 - 238.5	DAY CAB	10142	7698	6.59	6.23
		LH CAB	3459	7698	5.91	6.23
	≥238.6	DAY CAB	3308	10677	6.25	6.22
		LH CAB	6234	11120	6.37	6.02
5	<238.6	DAY CAB	76	9300	7.06	5.92
		LH CAB	51	7698	7.08	6.01
	≥238.6	DAY CAB	1965	11120	8.04	6.32
		LH CAB	162270	12800	6.3	6.04
9	<238.6	DAY CAB	2794	7698	7.21	6.46
		LH CAB	475	8710	6.42	6.24
	≥238.6 - 372.8	DAY CAB	11156	10837	6.28	6.31
		LH CAB	15146	12740	6.09	6.08
10	≥372.9	DAY CAB	157	12809	6.58	6.21
		LH CAB	4391	12800	6	6.23
	≥238.6 - 372.8	DAY CAB	110	12740	7.99	6.23
		LH CAB	16066	12740	6.59	6.1
Overall	≥372.9	LH CAB	6844	12800	6.36	6.23
		Overall	246259	12740	6.33	6.09

Figura 39 - Valores de  $C_d \times A$  de referência para veículos pesados [11]

Como se verifica pela Figura 39 os valores médios de  $C_d \times A$  para veículos pesados dos subgrupos 4, 5, 9 e 10 estão entre os 5,75 e os 8,04. Assim com esta análise e com o valor máximo definido anteriormente decidiu-se efetuar o estudo da influência do parâmetro  $C_d \times A$  variando o seu valor entre 5 e 10.

Mantendo todas as características do veículo iguais às características iniciais, de acordo com o Anexo E, e alterando apenas o valor do  $C_d \times A$  foram obtidos os valores de consumo de combustível e de emissões de CO<sub>2</sub> apresentados na Figura 40.

Simulação	$C_d \times A$ [m <sup>2</sup> ]	Consumo [l/100km]	Emissões CO <sub>2</sub> [g/km]
1	5	19,682	515,0155
2	5,5	20,4718	535,6805
3	6	21,2735	556,6582
4	6,5	22,0884	577,9821
5	7	22,9128	599,5555
6	7,5	23,749	621,4359
7	8	24,5957	643,5911
8	8,5	25,4506	665,961
9	9	26,3067	688,3621
10	9,5	27,1682	710,9048
11	10	28,0443	733,8294

Simulação	$C_d \times A$ [m <sup>2</sup> ]	Consumo [l/100km]	Emissões CO <sub>2</sub> [g/km]
1	5	35,6141	931,9083
2	5,5	35,8777	938,805
3	6	36,1224	945,2071
4	6,5	36,3855	952,0923
5	7	36,5864	957,3491
6	7,5	36,8327	963,7947
7	8	37,0872	970,4529
8	8,5	37,3096	976,2727
9	9	37,5688	983,0544
10	9,5	37,8309	989,9133
11	10	38,046	995,5425

Figura 40 - Consumo de combustível e emissões de CO<sub>2</sub> variando os valores de  $C_d \times A$

Na Figura 40 à esquerda estão representados os consumos de combustível e emissões de CO<sub>2</sub> para um perfil de exploração *Long Haul*, enquanto à direita está representado para um perfil de exploração *Urban Delivery*. No caso de um percurso em autoestrada é possível identificar que o impacto do aumento do valor de CdxA é muito superior ao caso de um trajeto urbano. Comparando o valor do consumo máximo e mínimo, verifica-se que ao variar o valor CdxA de 5 m<sup>2</sup> para 10 m<sup>2</sup> obtém-se um aumento de 42,5% para um percurso em autoestrada e num percurso urbano este aumento é de 6,8%. Elaborando um gráfico com os consumos e as emissões de CO<sub>2</sub> é mais perceptível a influência do parâmetro CdxA, Figura 41.

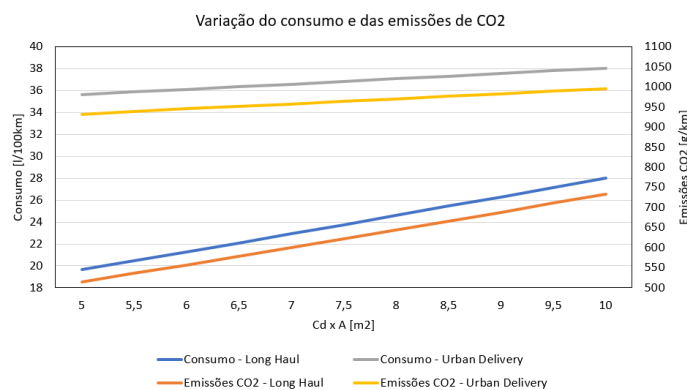


Figura 41 - Gráfico do consumo de combustível e emissões de CO<sub>2</sub> variando os valores de Cd x A

Com a Figura 41 constata-se que o aumento do consumo de combustível é praticamente linear com o aumento do valor de  $Cd \times A$ . Quanto maior o valor de  $Cd \times A$  maior é o consumo de combustível e as emissões de CO<sub>2</sub>. Esta maior influência no consumo para percursos em autoestrada está relacionada com a maior velocidade do veículo nestes trajetos. Quanto maior a velocidade, maior a força exercida pelo ar no veículo, logo este terá de exercer um maior esforço para manter esta velocidade, aumentando assim o consumo.

Com estes valores obtidos concluiu-se que o parâmetro  $Cd \times A$  é bastante relevante no consumo de combustível, principalmente num percurso em autoestrada, logo é muito importante obter um certo e fidedigno valor para se obter de forma precisa o consumo de combustível e as emissões de CO<sub>2</sub>.

### 5.1.3. Influência do parâmetro *Wind Correction*

O parâmetro de correção para ventos laterais tem como objetivo simular o efeito do vento no arrasto aerodinâmico, e com isto é expectável que o consumo de combustível

aumento. Para o parâmetro de correção de ventos laterais é necessário apenas definir a altura do veículo. De acordo com a diretiva 96/53/CE do Conselho da União Europeia a altura máxima é de 4 m. [29] Tendo este valor em consideração decidiu-se efetuar o estudo da influência da correção de ventos laterais no consumo final de combustível, variando o valor da altura do veículo entre os 2 e os 4 metros. Alterando apenas a altura do veículo obteve-se os valores de consumo de combustível e de emissões de CO<sub>2</sub> apresentados na Figura 42.

Simulação	Altura [m]	Consumo [l/100km]	Emissões CO <sub>2</sub> [g/km]
Sem Correção	-	18,1361	474,5635
Speed Dependent (Declaration Mode)	2	18,6005	486,7159
Speed Dependent (Declaration Mode)	2,5	18,6369	487,6683
Speed Dependent (Declaration Mode)	3	18,669	488,5079
Speed Dependent (Declaration Mode)	3,5	18,6978	489,2628
Speed Dependent (Declaration Mode)	4	18,7234	489,9312

Simulação	Altura [m]	Consumo [l/100km]	Emissões CO <sub>2</sub> [g/km]
Sem Correção	-	35,1757	920,4344
Speed Dependent (Declaration Mode)	2	35,4034	926,394
Speed Dependent (Declaration Mode)	2,5	35,4202	926,834
Speed Dependent (Declaration Mode)	3	35,4405	927,3652
Speed Dependent (Declaration Mode)	3,5	35,4521	927,6669
Speed Dependent (Declaration Mode)	4	35,4621	927,9298

Figura 42 - Consumo de combustível e emissões de CO<sub>2</sub> variando o parâmetro de correção para ventos laterais

Na Figura 42 à esquerda estão representados os consumos de combustível e emissões de CO<sub>2</sub> para um perfil de exploração *Long Haul*, enquanto à direita está representado para um perfil de exploração *Urban Delivery*. É possível notar que com a introdução da correção para ventos laterais o consumo de combustível aumenta. Comparando o consumo mínimo e máximo há um aumento de 3,3% para um trajeto em autoestrada e de 0,8% para trajetos urbanos. A correção para ventos laterais tem um maior impacto em trajetos com velocidades superiores, uma vez que este parâmetro apenas é ativado a partir de uma certa velocidade, logo num trajeto urbano com velocidades mais reduzidas o tempo de ativação pode ser muito reduzido, influenciando pouco o consumo de combustível. Outra razão para uma maior influência num percurso em autoestrada é o aumento da turbulência entre o trator e a caixa do veículo. Quanto maior a velocidade, maior esta turbulência, e assim o consumo de combustível é superior.

#### 5.1.4. Influência da distribuição da carga

A forma como a carga é distribuída no veículo pesado tem influência no seu comportamento dinâmico, logo tem influência no consumo de combustível e nas emissões de CO<sub>2</sub>. Para a distribuição da carga é necessário ter em atenção ao eixo motor e aos pesos brutos admissíveis por eixo. De acordo com o Decreto-Lei nº132/2017, com as alterações introduzidas pelo Decreto-Lei nº59/2023, o peso bruto no eixo motor de um veículo não pode ser inferior a 25% do peso bruto do veículo e o peso bruto que incide sobre o eixo da frente não pode ser inferior a 20% ou 15% do peso bruto total, conforme se trate, respetivamente, de veículos de um ou mais eixos à retaguarda. [24]

Como para este estudo da influência da distribuição de carga está-se a utilizar um veículo com uma configuração de eixos 6x2, Figura 43, e o primeiro eixo traseiro trata-se do eixo motor, isto significa que neste eixo o peso não pode ser inferior a 25% e no eixo da frente o peso não pode ser inferior a 15% do peso bruto total.



Figura 43 - Exemplificação dos eixos do veículo pesado [13]

Também de acordo com o Decreto-Lei apresentado o peso bruto máximo para um eixo simples motor é de 12 toneladas e não motor é de 10 toneladas. No eixo duplo o peso bruto máximo é de 17 toneladas. Para este estudo a configuração inicial foi com uma distribuição de 35% 40% 25% para o eixo 1, eixo 2 e eixo 3 respetivamente, representado como simulação 1 na Figura 44, que representa o consumo de combustível e as emissões de CO<sub>2</sub> para cada configuração de distribuição da carga. Para a simulação 2 e 3 testou-se a influência de uma maior carga na retaguarda do veículo. Para a simulação 4 e 5 verificou-se qual a influência de distribuir uma maior carga no eixo motor do veículo. Nas restantes simulações analisou-se a influência de uma maior carga no eixo frontal. Nestas simulações teve-se o cuidado de respeitar os pesos brutos máximos por eixo e não ter um peso bruto inferior a 25% no eixo motor e um peso bruto inferior a 15% no eixo da frente.

Simulação	Distribuição da Carga	Consumo [l/100km]	Emissões CO <sub>2</sub> [g/km]
1	0,35-0,4-0,25	18,1361	474,5635
2	0,25-0,4-0,35	18,1361	474,5635
3	0,25-0,25-0,5	18,0704	472,8457
4	0,25-0,5-0,25	18,1485	474,8887
5	0,15-0,7-0,15	18,1124	473,9438
6	0,15-0,5-0,35	18,1303	474,4109
7	0,5-0,25-0,25	18,0704	472,8457

Simulação	Distribuição da Carga	Consumo [l/100km]	Emissões CO <sub>2</sub> [g/km]
1	0,35-0,4-0,25	35,1757	920,4344
2	0,25-0,4-0,35	35,1757	920,4344
3	0,25-0,25-0,5	35,1293	919,2226
4	0,25-0,5-0,25	35,186	920,7039
5	0,15-0,7-0,15	35,1542	919,8732
6	0,15-0,5-0,35	35,171	920,3127
7	0,5-0,25-0,25	35,1293	919,2226

Figura 44 - Consumo de combustível e emissões de CO<sub>2</sub> variando a distribuição da carga

Observando a Figura 44 constata-se que a distribuição de carga tem pouca influência no consumo e nas emissões de CO<sub>2</sub>, já que variando a distribuição há pouca alteração destes resultados. Comparando a configuração com menor consumo, simulação 3, com a configuração com maior consumo, simulação 4, conclui-se que ao se pôr uma maior carga no eixo motor, maior é o consumo. No entanto ao comparar a simulação 4 e 5, verifica-se que se a carga no eixo motor aumentar, mas no eixo traseiro e frontal reduzir bastante, o consumo obtido reduz. Com estes resultados conclui-se que a análise da distribuição de

carga não pode ser efetuada se forma isolada, uma vez que existem outros fatores que podem influenciar este parâmetro e dessa forma alterar indiretamente o consumo.

Um fator importante que condiciona estes resultados obtidos é a utilização de pneus duplos. A utilização de um pneu duplo aumenta a resistência ao rolamento, logo o consumo aumenta. No modelo de veículo simulado apenas se está a utilizar pneu duplo no eixo motor. Ao colocar-se uma maior carga no eixo motor a resistência ao rolamento aumenta, logo o consumo também aumenta. Este caso justifica o aumento de consumo verificado entre a simulação 3 e 4. Comparando a simulação 4 e 5, a redução do consumo com um aumento da carga no eixo que apresenta pneu duplo pode estar relacionada com a grande diminuição de carga nos restantes eixos, diminuindo ligeiramente a resistência ao rolamento nesses eixos

Esta análise da distribuição de carga foi feita com uma carga de 7100 kg. De forma a se confirmar que este parâmetro tem pouca influência no consumo de combustível efetuou-se novamente as mesmas simulações, mas desta vez com uma carga de 14500 kg. Os resultados obtidos foram muito semelhantes, sendo que apenas alterou o valor do consumo e das emissões, verificando-se que as relações entre cada simulação se mantiveram iguais ao caso anterior.

### 5.1.5. Influência da dimensão da roda e de utilização de *twin tyre*

Ao se alterar as dimensões das rodas num veículo pesado é necessário ter em atenção as relações de transmissão. Para o estudo da influência deste parâmetro decidiu-se apenas apurar quais os efeitos de variar o tamanho do pneu, sem considerar alterações na transmissão. Com este estudo chegou-se à conclusão que ao alterar apenas as dimensões da roda não existe qualquer alteração no consumo final, e que é indispensável alterar a inércia da roda. Esta inércia está dependente das dimensões do pneu e consiste na quantidade de resistência necessária para alterar a velocidade. Uma roda com um maior valor de inércia necessita de uma maior força para alterar a sua velocidade, ou seja, é necessário efetuar um maior esforço para acelerar e travar. Assim é de se esperar que quanto maior a inércia, maior é o consumo de combustível e as emissões de CO<sub>2</sub>, como demonstra a Figura 45.

Simulação	Valor	Inércia [kgm <sup>2</sup> ]	Consumo [l/100km]	Emissões CO <sub>2</sub> [g/km]
1	205/70 R15	3,1	18,1159	474,0345
2	225/70 R17,5	4	18,1157	474,0287
3	315/45 R22,5	9,9	18,1253	474,2807
4	305/70 R22,5	13,9	18,134	474,5075
5	315/70 R22,5	14,9	18,1361	474,5635
6	325/90 R24,5	26,05	18,1575	475,1229
7	525/65 R20,5	35	18,1716	475,4927

Simulação	Valor	Inercia	Consumo [l/100km]	Emissões CO <sub>2</sub> [g/km]
1	205/70 R15	3,1	34,7646	909,6771
2	225/70 R17,5	4	34,805	910,7367
3	315/45 R22,5	9,9	35,0293	916,6038
4	305/70 R22,5	13,9	35,1437	919,5971
5	315/70 R22,5	14,9	35,1757	920,4344
6	325/90 R24,5	26,05	35,5362	929,8693
7	525/65 R20,5	35	35,8648	938,4675

Figura 45 - Consumo de combustível e emissões de CO<sub>2</sub> variando as dimensões da roda

Comparando o consumo mínimo e máximo obtidos verifica-se que para um percurso urbano, representado na Figura 45 à direita, o aumento do consumo é de cerca de 3%, e para um percurso em autoestrada o aumento é de apenas 0,3%, representado na Figura 45 à esquerda. Num percurso urbano há um maior número de paragens e alterações de velocidade, logo é necessário aplicar um grande esforço para aumentar e diminuir a velocidade do veículo. Quanto maior a inércia maior esse esforço, logo o impacto do aumento deste parâmetro tem uma maior influência num percurso urbano, com velocidades reduzidas e um alto número de paragens. [30]

Analisando este consumo na Figura 46 confirma-se esta maior influência no percurso *Urban Delivery*.

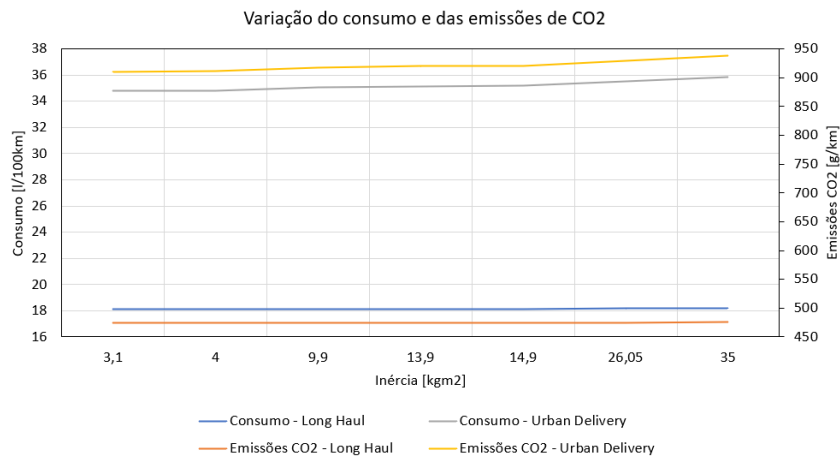


Figura 46 - Gráfico do consumo de combustível e emissões de CO2 variando as dimensões da roda

No percurso *Long Haul* a variação no consumo de combustível é praticamente nula, existindo um aumento pouco significativo. Para o caso do percurso *Urban Delivery* este aumento já é mais pronunciado, especialmente para uma inércia superior a 14,9 kgm<sup>2</sup>.

Outro aspeto que pode influenciar o consumo final de combustível é a utilização de pneus duplos, ou *twin tyre*. Ao colocar um par extra de pneus por eixo aumenta-se as forças de atrito ao rolamento, logo é expectável que o consumo aumente. A variação do consumo com a utilização de *twin tyre* está representado na Figura 47.

Simulação	Valor	Consumo [l/100km]	Emissões CO2 [g/km]
1	No-Yes-No	18,1361	474,5635
2	No-Yes-Yes	18,2332	477,1039
3	No-No-No	17,9916	470,7826
4	No-No-Yes	18,088	473,3045

Figura 47 - Consumo de combustível e emissões de CO2 de acordo com a utilização de twin tyre

Na Figura 47 a utilização do pneu duplo está representada como “Yes”. Assim para o primeiro caso, com um valor de “No-Yes-No” está a ser admitido que no primeiro eixo, assim como no terceiro não há a utilização de pneu duplo, enquanto no segundo eixo já se utiliza pneu duplo. Tanto no caso de um percurso em autoestrada, representado à esquerda, como num percurso urbano, ilustrado à direita, o menor consumo é obtido sem a utilização de *twin tyre*, enquanto o maior consumo é obtido com a utilização de *twin tyre* em dois eixos.

Para este exemplo foi admitida uma distribuição de carga de 35% 40% 25%. Comparando a simulação 1 e 4 da Figura 47, para ambos os trajetos é perceptível que quando se coloca pneu duplo num eixo com uma maior carga o consumo irá aumentar, daí a simulação 1 apresentar um consumo superior à simulação 4. Este aumento de consumo está relacionado com o aumento da resistência ao rolamento, sendo que quanto mais pneus o veículo tiver, maior é a resistência, logo maior será o consumo.

#### **5.1.6. Influência da resistência do pneu ao rolamento**

De acordo com o Conselho da União Europeia a resistência ao rolamento de um pneu representa 20 a 30% do consumo de combustível dos veículos. [30]

Assim uma diminuição dessa resistência contribuirá significativamente para a eficiência energética dos veículos e, conseqüentemente, para a redução das emissões de CO<sub>2</sub>. De forma a promover a diminuição da resistência ao rolamento dos pneus, o Conselho da União Europeia emitiu o regulamento 2020/740, que entrou em vigor em maio de 2021, que classifica os pneus por classe de eficiência energética, de acordo com a escala de A a E. [31]

Esta escala é determinada com base no coeficiente de resistência ao rolamento, ou CRR. Esta classificação apenas é aplicada aos pneus da classe C1, C2 e C3, que correspondem a pneus para automóveis ligeiros de passageiros, para veículos comerciais ligeiros e para veículos pesados, respetivamente. É de notar que para cada classe os valores do CRR são diferentes. A Tabela 6 representa o valor do coeficiente de resistência ao rolamento e a respetiva classe de eficiência energética para pneus da classe C3.

Tabela 6 - Classe de eficiência energética e o respetivo valor do coeficiente de resistência ao rolamento para pneus da classe C3 [30]

Classe de eficiência energética	CRR
A	$CRR \leq 0,004$
B	$0,0041 \leq CRR \leq 0,005$
C	$0,0051 \leq CRR \leq 0,006$
D	$0,0061 \leq CRR \leq 0,007$
E	$CRR \geq 0,0071$

Como se verifica pela Tabela 6 cada classe de eficiência energética tem o seu respetivo intervalo de CRR. Os pneus da classe C1 e C2 têm diferentes intervalos para o valor do coeficiente de resistência ao rolamento. De acordo com a EPREL, Registo Europeu de Produtos para a Etiquetagem Energética, a classe de eficiência energética de pneus C3 mais usual é a D, sendo a classe C a segunda mais popular, como exemplifica a Figura 48.

Classe	Entradas	%
A	109	0,8
B	714	5,2
C	4 436	32,5
D	6 861	50,3
E	1 529	11,2

Figura 48 - Número de pneus à venda das várias classes de eficiência energética [32]

Para o estudo da influência do coeficiente de resistência ao rolamento no consumo de combustível e nas emissões de CO<sub>2</sub> decidiu-se utilizar um CRR mínimo de 0,0035 e um máximo de 0,008, efetuando assim duas simulações para cada classe de eficiência energética. A Figura 49 ilustra os valores obtidos para o consumo de combustível e de emissões de CO<sub>2</sub> de acordo com a respetiva classe de eficiência energética.

Classe de eficiência energética	CRR	Consumo [l/100km]	Emissões CO <sub>2</sub> [g/km]
A	3,5	16,3481	427,7774
	4	16,7914	439,3778
B	4,5	17,2339	450,9552
	5	17,6837	462,7264
C	5,5	18,1361	474,5635
	6	18,5957	486,5905
D	6,5	19,0654	498,8809
	7	19,5367	511,2127
E	7,5	20,0136	523,6908
	8	20,4949	536,2859

Classe de eficiência energética	CRR	Consumo [l/100km]	Emissões CO <sub>2</sub> [g/km]
A	3,5	33,6159	879,6218
	4	33,9548	888,4878
B	4,5	34,3517	898,8742
	5	34,7349	908,9017
C	5,5	35,1757	920,4344
	6	35,5583	930,4469
D	6,5	35,9952	941,8782
	7	36,383	952,0259
E	7,5	36,8408	964,0052
	8	37,2535	974,8055

Figura 49 - Consumo de combustível e emissões de CO<sub>2</sub> variando o valor do coeficiente de resistência ao rolamento

Como se verifica pela Figura 49 quanto menor o coeficiente de resistência ao rolamento menor é o consumo de combustível. Analisando ambos os trajetos, conclui-se que um pneu da classe C pode apresentar um consumo de 2 litros superior aos 100 km quando

comparado com um pneu da classe A. Dependendo da quilometragem do veículo pesado e da diferença de preço entre as duas classes de pneus pode ser vantajoso adquirir um pneu da classe A mesmo que este tenha um custo superior. Dentro da mesma classe de eficiência energética o pneu pode apresentar diferentes coeficientes de resistência ao rolamento, e como se observa na Figura 49 este diferente CRR traduz num consumo diferente, pelo que na caracterização deste parâmetro não só é importante conhecer a classe como também o seu coeficiente de resistência ao rolamento.

Analisando os valores de consumo de combustível e de emissões de CO<sub>2</sub> num gráfico compreende-se melhor o impacto de um maior valor de CRR, Figura 50.

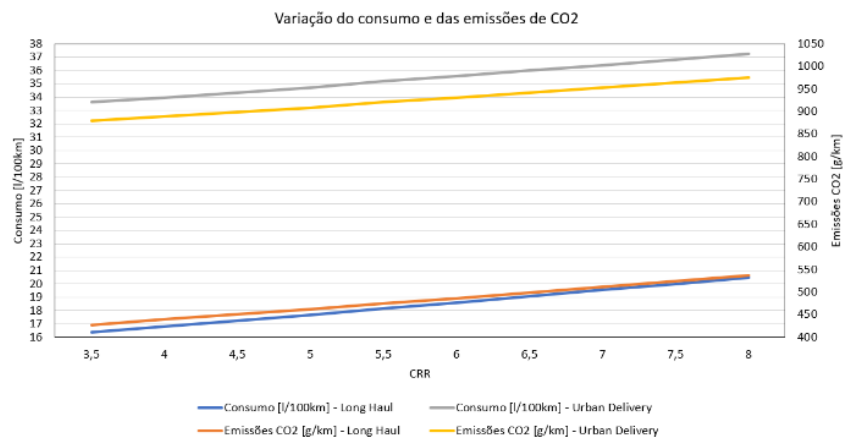


Figura 50 - Gráfico do consumo de combustível e emissões de CO<sub>2</sub> variando o valor do CRR

Com a avaliação da Figura 50 constata-se que a variação do consumo de combustível e das emissões de CO<sub>2</sub> é praticamente linear com o aumento do coeficiente de resistência ao rolamento. Comparando um pneu da classe A e um pneu da classe D, sendo esta última a mais comum, conclui-se que existe um aumento de consumo de cerca de 13,5% para um trajeto em autoestrada e de 6% para um percurso urbano. Esta diferença é claramente significativa, e como se referiu anteriormente pode ser vantajoso a longo prazo adquirir um pneu de uma classe mais eficiente mesmo que este apresente um maior custo.

## 5.2. Influência dos parâmetros na opção *Engine*

Um dos parâmetros fundamentais de definir na ferramenta VECTO é o *Motoring Torque* do mapa da curva do motor. Este *Motoring Torque* corresponde ao binário negativo necessário para levar o motor sem alimentação da velocidade máxima do mapeamento à velocidade mínima do mapeamento. Assim este parâmetro pode ser admitido como as perdas do motor. Estes valores para o *Motoring Torque* são obtidos através de um ensaio

que tem como objetivo determinar o binário negativo necessário para acionar o motor entre a velocidade mínima e máxima com uma solicitação mínima do operador. [3] Se não houver possibilidade de efetuar este ensaio pode ser assumido um valor negativo para o *Motoring Torque* de 40% do binário positivo disponível no ponto de velocidade associado. [33]

Verificando os valores do anexo E para o modelo do veículo utilizado concluiu-se que o valor do *Motoring Torque* era cerca de 14% inferior ao valor do binário positivo disponível no ponto de velocidade associado. Assim para o estudo da influência do *Motoring Torque* no consumo de combustível e de emissões de CO<sub>2</sub> optou-se por utilizar um valor inicial de 10% inferior ao binário positivo disponível no ponto de velocidade associado. Para o valor final utilizou-se um *Motoring Torque* de 40% inferior. Para as restantes simulações utilizou-se um passo de 5%, e os resultados obtidos estão apresentados na Figura 51, sendo à esquerda um trajeto em autoestrada e à direita um trajeto urbano.

Simulação	Motoring Torque [%]	Consumo [l/100km]	Emissões CO2 [g/km]
1	10	18,1694	475,4338
2	14	18,1361	474,5635
3	20	18,3104	479,1242
4	25	18,337	479,8205
5	30	18,3529	480,2359
6	35	18,3576	480,3594
7	40	18,3622	480,4798

Simulação	Motoring Torque [%]	Consumo [l/100km]	Emissões CO2 [g/km]
1	10	35,3227	924,2832
2	14	35,1757	920,4344
3	20	35,9381	940,3861
4	25	36,198	947,1848
5	30	36,3218	950,4255
6	35	36,4125	952,7975
7	40	36,4963	954,9911

Figura 51 - Consumo de combustível e emissões de CO<sub>2</sub> variando o valor do *Motoring Torque*

Como se verifica pela Figura 51 quanto maior o valor de *Motoring Torque*, em módulo, maior é o consumo de combustível. Este aumento do consumo é praticamente insignificante quando se trata de um percurso em autoestrada, representando apenas um aumento de 1,2% quando comparando um *Motoring Torque* de 14% e de 40% do binário positivo. Comparando os mesmos valores, mas desta vez para um percurso urbano percebe-se que este parâmetro tem uma maior influência, sendo que o aumento de consumo é de cerca de 3,7%.

Esta maior influência num percurso urbano pode estar relacionada com um maior número de paragens, uma vez que antes de travar para a paragem o veículo deixa de acelerar. Este processo de deixar de acelerar antes da travagem é chamado de *Coasting*. Quanto maior for este tempo de *Coasting*, menos tempo o veículo está a acelerar, logo menor é o consumo de combustível. Neste caso, ao se aumentar o valor do *Motoring Torque*, ou seja, aumenta-se as perdas do motor, o veículo não é capaz de efetuar este processo de *Coasting*, uma vez que assim que deixa de acelerar a velocidade irá reduzir para baixo da velocidade alvo, o que não deve ocorrer na simulação. Desta forma o veículo deve deixar de acelerar mais tarde, aumentando assim o consumo de combustível. Na

ferramenta VECTO é possível obter o valor de percentagem de tempo em que está a ocorrer *Coasting*, como representa a Figura 52.

Simulação	Motoring Torque [%]	CoastingTimeShare [%]	Simulação	Motoring Torque [%]	CoastingTimeShare [%]
1	10	2,8947	1	10	4,8569
2	14	3,1193	2	14	4,8389
3	20	0,8945	3	20	3,2559
4	25	0,62	4	25	2,4785
5	30	0,4518	5	30	1,9332
6	35	0,3793	6	35	1,6617
7	40	0,3577	7	40	1,3186

Figura 52 - Tempo de *Coasting* variando o valor do *Motoring Torque*

Como se verifica pela Figura 52 quanto maior o valor negativo de *Motoring Torque* menor é o tempo de *Coasting*, logo maior é o consumo de combustível. Num trajeto urbano, representado à direita na Figura 52, o número de paragens é superior, logo o tempo de *Coasting* também é superior, e neste caso uma redução de cerca de 73% no tempo de *Coasting*, comparando a simulação 2 e 7, resulta num aumento do consumo em 1,3 l/100 km. Num trajeto em autoestrada, representado à esquerda na Figura 52, a redução do tempo de *Coasting* é bastante elevada, mas como este apresenta um baixo tempo de *Coasting* inicialmente, o seu impacto no consumo de combustível não é tão elevado.

Com a análise deste parâmetro concluiu-se que é relevante obter um valor preciso para o *Motoring Torque*, mas se não for possível efetuar um ensaio para se adquirir os valores, pode-se assumir uma grandeza de 40% inferior ao binário positivo, tendo sempre a noção que num percurso urbano pode apresentar algumas imprecisões.

### 5.3. Influência dos parâmetros na opção *Gearbox*

Um componente que tem um papel bastante importante no consumo de combustível, portanto também nas emissões de CO<sub>2</sub> é a caixa de velocidades. Esta pode ter eficiências reduzidas o que aumenta o consumo, pode ser do tipo automática ou manual, sendo o seu funcionamento e tempo de troca de mudança diferente e assim apresentar diferentes consumos. Para verificar a influência da transmissão no consumo de combustível e de emissões de CO<sub>2</sub> começou-se por analisar o tipo de transmissão.

#### 5.3.1. Influência do tipo de transmissão

Na ferramenta VECTO é possível escolher entre uma caixa de velocidades manual ou automática. Estes dois tipos de caixa apresentam diferentes consumos de combustível,

como ilustra a Figura 53, sendo à esquerda um trajeto em autoestrada, e à direita um trajeto urbano.

Tipo	Consumo [l/100km]	Emissões CO2 [g/km]	Tipo	Consumo [l/100km]	Emissões CO2 [g/km]
Manual Transmission (MT)	18,1451	474,7994	Manual Transmission (MT)	36,097	944,5422
Automated Transmission (AMT)	18,1361	474,5635	Automated Transmission (AMT)	35,1757	920,4344

**Figura 53 - Consumo de combustível e emissões de CO2 variando o tipo de caixa de velocidades**

Num percurso em autoestrada e com velocidades elevadas a utilização de uma caixa manual ou automática tem muito pouca influência no consumo final de combustível. Quando se trata de um percurso urbano, e com um número muito mais elevado de troca de mudança, a utilização de uma caixa automática reduz significativamente o consumo de combustível. Na VECTO a grande diferença entre a caixa manual e a automática está no tempo de troca de mudança. A caixa automática tem um tempo de troca muito mais reduzido, o que reduz a perda de velocidade entre a troca de mudança. Assim a aceleração necessária para atingir a velocidade alvo é menor, diminuindo o consumo de combustível.

Num percurso em autoestrada a utilização de uma caixa manual aumenta o consumo em 0,05%, enquanto num percurso urbano o aumento é de 3%.

### 5.3.2. Influência da eficiência das engrenagens e do eixo

Um dos parâmetros obrigatórios de definir na ferramenta VECTO é a eficiência das engrenagens e do eixo. Para a determinação da influência destes parâmetros simulou-se inicialmente o veículo com uma eficiência de 100%. Como é de se esperar, a eficiência da transmissão nunca é de 100%, logo é necessário conhecer qual a eficiência correta do sistema de transmissão. De acordo com a JRC, *Joint Research Centre*, a média da eficiência da caixa de velocidades para os vários subgrupos de veículos pesados está entre os 88,33% e os 98,46%. [11]

Os valores para a eficiência da transmissão dos vários subgrupos podem ser consultados na Figura 54.

Cycle [-]	Load	HDV class	Data quality – transmission losses			
			2	3	4	5
LongHaul.vdri	LL	4	96.44	97.79	96.69	93.90
		5	96.71	98.10	96.18	94.82
		9	97.05	98.08	96.61	93.99
	RL	10	97.15	98.27	96.21	95.12
		4	96.51	97.97	96.87	94.51
		5	96.95	98.29	96.57	95.42
LongHaulEMS.vdri	LL	9	97.10	98.23	96.82	94.56
		10	97.33	98.41	96.58	95.67
		5	96.85	98.23	96.60	95.60
	RL	9	97.46	98.08	96.53	95.06
		10	97.48	98.46	96.64	95.81
		5	96.90	98.22	96.71	95.83
MunicipalUtility.vdri	LL	9	97.39	98.13	96.73	95.39
		10	97.50	98.40	96.74	96.01
	RL	4	94.32	96.05	93.75	90.61
		9	94.53	96.40	94.41	88.33
RegionalDelivery.vdri	LL	4	94.46	96.20	94.01	90.97
		9	94.71	96.54	94.70	89.30
		4	95.64	97.03	95.60	92.71
		5	96.24	97.86	95.85	94.10
	RL	9	96.27	97.41	95.74	91.94
		10	96.76	98.04	95.83	94.45
		4	95.74	97.19	95.83	93.09
		5	96.36	97.97	96.08	94.53
RegionalDeliveryEMS.vdri	LL	9	96.36	97.57	95.96	92.58
		10	96.83	98.08	96.11	94.84
		5	96.28	97.95	96.21	94.85
		9	96.98	97.81	96.20	94.34
	RL	10	97.04	98.16	96.27	95.12
		5	96.17	97.80	96.14	94.89
		9	96.79	97.72	96.20	94.49
		10	96.91	97.98	96.15	95.09

Figura 54 - Eficiência da transmissão dos vários subgrupos de veículos [11]

Assim tendo em atenção aos valores apresentados na Figura 54, decidiu-se variar a eficiência das engrenagens e do eixo entre 100% e 80%, de forma a envolver todas as hipóteses prováveis. O primeiro caso estudado foi a variação da eficiência das engrenagens, mantendo a eficiência do eixo em 100%. Os valores obtidos podem ser consultados na Figura 55.

Simulação	Eficiência	Consumo [l/100km]	Emissões CO2 [g/km]
1	1	18,1361	474,5635
2	0,98	18,4608	483,0604
3	0,96	18,7962	491,8367
4	0,94	19,1504	501,1059
5	0,92	19,5192	510,7553
6	0,9	19,9084	520,9386
7	0,88	20,3078	531,3893
8	0,86	20,7377	542,6391
9	0,84	21,1774	554,1457
10	0,82	21,6464	566,4172
11	0,8	22,1342	579,1799

Simulação	Eficiência	Consumo [l/100km]	Emissões CO2 [g/km]
1	1	35,1757	920,4344
2	0,98	35,7817	936,2922
3	0,96	36,5118	955,3958
4	0,94	37,2118	973,713
5	0,92	37,988	994,0241
6	0,9	38,6847	1012,2545
7	0,88	39,5004	1033,5985
8	0,86	40,3221	1055,1001
9	0,84	41,2021	1078,1263
10	0,82	42,1306	1102,4237
11	0,8	43,0809	1127,2903

Figura 55 - Consumo de combustível e emissões de CO2 variando a eficiência da transmissão

Mais uma vez representado à esquerda estão os valores para o consumo de combustível num trajeto *Long Haul*, enquanto à direita para um trajeto *Urban Delivery*. Como é expectável quanto menor a eficiência na transmissão, maior o consumo de combustível. Analisando os valores obtidos concluiu-se que a eficiência das engrenagens é um parâmetro bastante crítico no consumo de combustível, e que é importante obter o

seu valor de forma precisa, uma vez que pequenas oscilações na eficiência, como por exemplo 2% podem aumentar ou diminuir o consumo em 0,8 litros para um trajeto urbano.

Observando estes valores num gráfico, Figura 56, percebe-se com maior clareza o impacto da diminuição da eficiência no consumo de combustível e nas emissões de CO<sub>2</sub>.

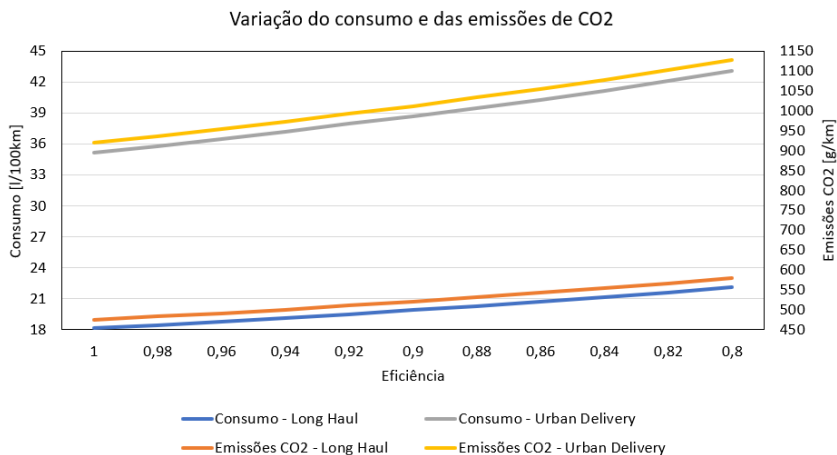


Figura 56 - Gráfico do consumo de combustível e emissões de CO<sub>2</sub> variando a eficiência da transmissão

Através da Figura 56 é perceptível que o aumento do consumo não é linear com a diminuição da eficiência, mas apresenta uma forma mais exponencial. Como apenas se variou a eficiência até 0,8, esta forma exponencial não é totalmente visível, mas se neste estudo se calculasse o consumo para eficiências menores iria ser visível a forma exponencial.

Tendo em consideração os valores entre os 98% e os 88%, representam a média da eficiência da caixa de velocidades para veículos pesados, o aumento do consumo em ambos os trajetos é de cerca de 10%.

Analisando a variação do consumo de combustível e das emissões de CO<sub>2</sub> de acordo com a eficiência do eixo, podemos concluir que os resultados são muito semelhantes aos obtidos na variação da eficiência das engrenagens, como demonstra a Figura 57.

Simulação	Eficiência	Consumo [l/100km]	Emissões CO <sub>2</sub> [g/km]
1	1	18,1361	474,5635
2	0,98	18,4608	483,0604
3	0,96	18,7963	491,8387
4	0,94	19,1506	501,1103
5	0,92	19,5193	510,7568
6	0,9	19,9084	520,94
7	0,88	20,3078	531,3911
8	0,86	20,7378	542,6408
9	0,84	21,1775	554,1472
10	0,82	21,646	566,4054
11	0,8	22,1331	579,1529

Simulação	Eficiência	Consumo [l/100km]	Emissões CO <sub>2</sub> [g/km]
1	1	35,1757	920,4344
2	0,98	35,7816	936,2905
3	0,96	36,5113	955,3834
4	0,94	37,2078	973,6079
5	0,92	37,9583	993,2461
6	0,9	38,685	1012,2629
7	0,88	39,4972	1033,5146
8	0,86	40,3218	1055,0931
9	0,84	41,2191	1078,5713
10	0,82	42,1453	1102,8079
11	0,8	43,1021	1127,8433

Figura 57 - Consumo de combustível e emissões de CO<sub>2</sub> variando a eficiência do eixo

Considerando apenas a eficiência entre os 98% e os 88%, chegamos à conclusão que o consumo de combustível aumenta em cerca de 10%. Isto demonstra que a eficiência das engrenagens e do eixo são dois parâmetros muito importantes de definir, uma vez que pequenas imprecisões podem ter uma grande influência no consumo de combustível final.

### 5.3.3. Influência dos parâmetros da caixa de velocidades

Como se verificou no Capítulo 5.3.1 a diferença no consumo de combustível de uma transmissão automática para uma caixa manual é devido ao tempo de troca de mudança. Esse tempo corresponde a um parâmetro da troca de mudança. Na ferramenta VECTO existem vários parâmetros que podem ser definidos de modo a caracterizar o veículo pesado da forma mais correta possível. Esses parâmetros a caracterizar são a reserva de binário, o tempo mínimo entre mudanças, o *delay* entre uma redução e um aumento de mudança, o *delay* entre um aumento de mudança e uma redução, a aceleração mínima e a velocidade de referência. O significado destes parâmetros está apresentado no Capítulo 4.1.1. De forma a conhecer a influência destes parâmetros no consumo de combustível decidiu-se alterar à vez cada parâmetro e registar o consumo e as emissões de CO<sub>2</sub>, Figura 58.

Simulação	Torque Reserve - Min. Time Gearshift - Downshift Upshift Delay - Upshift Downshift Delay - Min. Acc. - Torque Reserve - Reference Speed	Consumo [l/100km]	Emissões CO <sub>2</sub> [g/km]
1	20-3-6-10-0,1-20-2	18,1361	474,5635
2	20-1-6-10-0,1-20-2	18,1398	474,6598
3	20-5-6-10-0,1-20-2	19,5969	512,7886
4	20-3-3-10-0,1-20-2	18,1361	474,5635
5	20-3-10-10-0,1-20-2	18,1361	474,5635
6	20-3-6-5-0,1-20-2	18,1361	474,5635
7	20-3-6-15-0,1-20-2	18,1361	474,5635
8	40-3-6-10-0,1-20-2	18,1353	474,5423
9	10-3-6-10-0,1-20-2	18,1411	474,6957
10	20-3-6-10-0,1-10-2	18,1361	474,5635

Simulação	Torque Reserve - Min. Time Gearshift - Downshift Upshift Delay - Upshift Downshift Delay - Min. Acc. - Torque Reserve - Reference Speed	Consumo [l/100km]	Emissões CO <sub>2</sub> [g/km]
1	20-3-6-10-0,1-20-2	35,1757	920,4344
2	20-1-6-10-0,1-20-2	35,0507	917,1643
3	20-5-6-10-0,1-20-2	38,6437	1011,1827
4	20-3-3-10-0,1-20-2	35,1937	920,9075
5	20-3-10-10-0,1-20-2	35,1656	920,1706
6	20-3-6-5-0,1-20-2	35,0626	917,4751
7	20-3-6-15-0,1-20-2	35,2628	922,7138
8	40-3-6-10-0,1-20-2	35,1962	920,971
9	10-3-6-10-0,1-20-2	35,2429	922,1931
10	20-3-6-10-0,1-10-2	35,1757	920,4344

Figura 58 - Consumo de combustível e emissões de CO<sub>2</sub> variando os parâmetros da caixa de velocidades

Inicialmente efetuou-se uma simulação com uma reserva de binário de 20%, um tempo mínimo de troca de mudança de 3 segundos, um *delay* de 6 segundos entre uma redução e um aumento de mudança, um *delay* de 10 segundos entre um aumento de mudança e uma redução, uma aceleração mínima de 0,1 m/s<sup>2</sup> e uma velocidade de referência de 2 m/s. Utilizou-se estes valores uma vez que são os valores pré-definidos na ferramenta VECTO.

O primeiro valor a variar foi o tempo mínimo de troca de mudança. Através da Figura 58 é possível verificar que quanto maior o tempo de mudança, maior o consumo de combustível. No caso de um trajeto em autoestrada um aumento de 2 segundos na troca de mudança tem um impacto de 8% no consumo, enquanto para um trajeto urbano o impacto chega a ser de 9,8%. Quanto menor o tempo de troca de mudança, menor é a redução de velocidade, logo é necessária uma menor aceleração para atingir a velocidade

alvo e assim há um menor consumo de combustível. Este maior impacto num trajeto urbano está relacionado com um maior número de troca de mudança, uma vez que a variação de velocidade e o número de paragens é superior.

Com a Figura 58 concluiu-se que o *delay* entre aumentos de mudança e de reduções tem muito pouco impacto no consumo de combustível, sendo este impacto nulo quando se trata de um perfil de exploração *Long Haul*. Como este parâmetro refere-se à limitação de troca de mudança é de se esperar que tenha uma maior influência num perfil de exploração *Urban Delivery*, e os resultados obtidos comprovam esta ideia.

Por fim analisou-se o impacto da reserva de binário. Esta reserva de binário tem influência na troca de mudança, sendo possível haver uma troca de mudança mais cedo. Pela

Figura 58 constata-se que quanto maior a reserva de binário, menor é o consumo do veículo. Como existe uma troca de mudança mais cedo o veículo não alcança rotações tão elevadas, logo o consumo de combustível diminui.

#### 5.4. Influência dos parâmetros na categoria *Auxiliaries*

A potência consumida pelos auxiliares tem um impacto significativo no consumo de combustível. Para avaliar esse impacto é necessário conhecer qual a potência combinada consumida pelos vários sistemas auxiliares. Como se verificou no Capítulo 4.1.2 na ferramenta VECTO os auxiliares são compostos pela ventoinha, bomba de direção, ar condicionado, sistema elétrico e sistema pneumático. A potência consumida por estes sistemas varia de acordo com a intensidade da sua utilização e na Figura 59 está a representação da potência consumida pelos vários sistemas auxiliares.

Auxiliary Device	Mean [kW]	Max [kW]	Std [kW]	Time Active
Compressor	1.50	10.0	1.47	11.4 % <sup>1</sup>
Oil pump	2.15	6.01	0.83	100 %
Coolant pump	1.62	6.25	0.70	100 %
Cooling fan	0.83	17.9	1.67	17.2 %
Alternator	1.52	2.71	0.37	100 %
AC compressor	0.73	5.07	1.29	19.0 %
Power steering pump	0.85	1.95	0.24	100 %

Figura 59 - Potência consumida pelos auxiliares de um veículo pesado [34]

Como se verifica pela Figura 59 a potência média da ventoinha é de cerca de 830 W, enquanto na sua intensidade máxima pode chegar aos 17900 W. A bomba de direção consome uma potência média de 850 W e pode chegar aos 1950 W. O ar condicionado consome uma potência de 730 W e na sua intensidade máxima 5070 W. O sistema elétrico consome em média 1520 W e no máximo cerca de 2710 W. Por fim o sistema pneumático é responsável por consumir 1500 W em média e no máximo cerca de 10000 W.

Assim podemos assumir que todos os sistemas auxiliares em conjunto consomem em média 5430 W e na sua intensidade máxima 37630 W. Para o estudo da influência deste parâmetro assumiu-se como valor máximo o consumo de potência à intensidade máxima, ou seja, de 37630 W. Para o valor inicial decidiu-se apenas ter em consideração os auxiliares que tenham um tempo de funcionamento de 100%, ou seja, o sistema elétrico e o sistema da bomba de direção. Assim a potência consumida utilizada para o valor inicial foi de 2370 W.

Realizando várias simulações variando apenas a potência dos auxiliares obteve-se o consumo e as emissões de CO<sub>2</sub> apresentadas na Figura 60, sendo à esquerda um perfil de exploração *Long Haul*, e à direita um perfil de exploração *Urban Delivery*.

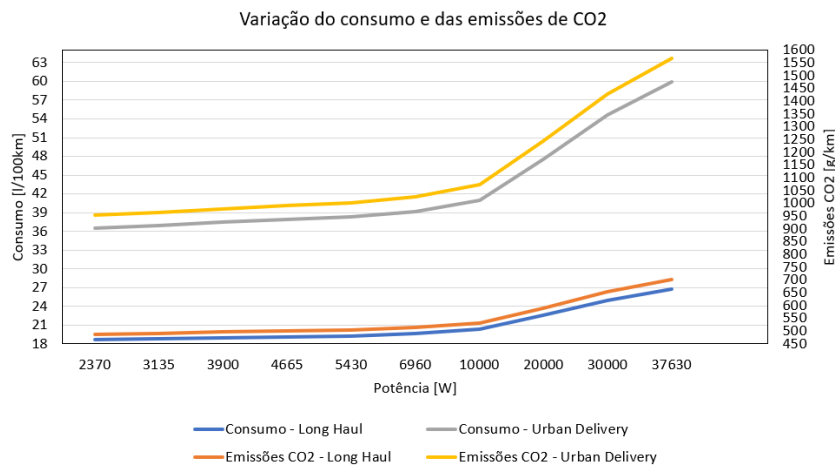
Simulação	Potência [W]	Consumo [l/100km]	Emissões CO <sub>2</sub> [g/km]
1	2370	18,6245	487,3436
2	3135	18,7881	491,6245
3	3900	18,9553	496,0004
4	4665	19,1216	500,3503
5	5430	19,2835	504,5865
6	6960	19,6215	513,4319
7	10000	20,3023	531,2459
8	20000	22,5776	590,783
9	30000	24,9423	652,6607
10	37630	26,795	701,1385

Simulação	Potência [W]	Consumo [l/100km]	Emissões CO <sub>2</sub> [g/km]
1	2370	36,5184	955,5686
2	3135	36,9196	966,0686
3	3900	37,431	979,4492
4	4665	37,8647	990,7976
5	5430	38,2826	1001,7339
6	6960	39,1432	1024,2521
7	10000	41,0128	1073,175
8	20000	47,5602	1244,4978
9	30000	54,5988	1428,6757
10	37630	59,951	1568,7258

Figura 60 - Consumo de combustível e emissões de CO<sub>2</sub> variando a potência dos auxiliares

Como seria de esperar quanto maior for a potência consumida pelos auxiliares, maior seria o consumo de combustível. Num percurso em autoestrada com todos os sistemas acionados na sua intensidade média o consumo de combustível pode aumentar 3,5% quando comparado com apenas a utilização dos auxiliares necessários, como o sistema elétrico e a bomba de direção. Já num percurso urbano este valor sobe para os 4,8%. Comparando a intensidade média com a intensidade máxima concluiu-se que o aumento do consumo é de 38,9% para *Long Haul* e de 56,6% para *Urban Delivery*. Este maior impacto num percurso urbano está relacionado com o facto de que para trajetos em autoestrada e com velocidades superiores é necessário um maior esforço para superar a resistência aerodinâmica e de rolamento, diminuindo assim a percentagem de energia gasta para acionar os sistemas auxiliares.

Colocando os resultados obtidos num gráfico observa-se com maior precisão o aumento do consumo de acordo com a potência consumida pelos auxiliares, Figura 61.



**Figura 61 - Gráfico do consumo de combustível e emissões de CO2 variando a potência dos auxiliares**

Pela Figura 61 constata-se que a partir de uma potência de 10000 W o consumo de combustível aumenta exponencialmente. Uma potência deste nível pode ser facilmente obtida com um funcionamento mais exigente da ventoinha, como demonstra a Figura 59. Apesar da potência consumida média ser 5430 W, com o funcionamento mais exigente de qualquer um dos sistemas auxiliares a potência consumida aumenta facilmente para os 10000 W, o que indica que os sistemas auxiliares têm um grande impacto no consumo de combustível.

Com esta análise conclui-se que os sistemas auxiliares têm uma grande influência no consumo de combustível, principalmente os que consomem elevada potência, como a ventoinha, o ar condicionado e o sistema pneumático, três sistemas que estão incluídos em grande parte dos veículos pesados e que têm um alto tempo de funcionamento.

## 5.5. Influência dos parâmetros na categoria *Driver Model*

A categoria *Driver Model* tem como objetivo assemelhar a simulação a um caso real. São definidos vários parâmetros que simulam o comportamento de um condutor. Esses parâmetros são o *Overspeed*, o *Look-Ahead Coasting* e o Mapa de aceleração. As definições destes parâmetros estão explicitadas no Capítulo 4.1.4.

### 5.5.1. Influência do parâmetro *Overspeed*

O *Overspeed* consiste num aumento de velocidade para além da velocidade alvo. Este aumento de velocidade ocorre em fases de descida, onde o veículo aumenta a sua

velocidade sem ser necessária a utilização do acelerador. Para a definição do *Overspeed* é necessário o valor do *Max. Overspeed* que corresponde ao aumento de velocidade além da velocidade alvo e a *Min. Speed* que corresponde à velocidade mínima para ativar o *Overspeed*. Variando estes dois parâmetros obteve-se os valores apresentados na Figura 62.

Simulação	Max. Overspeed - Min. Speed	Consumo [l/100km]	Emissões CO2 [g/km]
1	Off	18,1361	474,5635
2	2,5-50	18,007	471,1843
3	1-50	18,0699	472,8326
4	5-50	17,9004	468,3963
5	2,5-30	18,0009	471,0253
6	2,5-70	18,007	471,1843

Simulação	Max. Overspeed - Min. Speed	Consumo [l/100km]	Emissões CO2 [g/km]
1	Off	35,1757	920,4344
2	2,5-50	35,0343	916,7367
3	1-50	35,1126	918,7851
4	5-50	34,9724	915,1145
5	2,5-30	34,5033	902,8408
6	2,5-70	35,1607	920,0425

Figura 62 - Consumo de combustível e emissões de CO2 variando os parâmetros de *Overspeed*

Como se verifica na Figura 62 a utilização do *Overspeed* diminui o consumo de combustível, e conseqüentemente as emissões de CO<sub>2</sub>. Com estes dados concluiu-se que quanto maior o *Overspeed* máximo, ou seja, quanto maior for a velocidade que o veículo pode obter sem a utilização do acelerador, menor é o consumo. Quanto maior for a velocidade mínima, maior é o consumo, e isto demonstra que a utilização do parâmetro *Overspeed* diminui o consumo de combustível, uma vez que quanto maior a velocidade mínima, menor será a utilização do parâmetro.

O parâmetro de *Overspeed* não apresenta uma vantagem clara no consumo de combustível quando se compara um trajeto em autoestrada ou urbano, uma vez que a velocidade ou o número de paragens não são características que influenciem a utilização do *Overspeed*. Este parâmetro terá uma maior influência em percursos que apresentem um gradiente negativo, ou seja, que dispõem de um número elevado de descidas.

### 5.5.2. Influência do mapa de aceleração

De forma a simular de forma realista o acionamento do acelerador e do travão do veículo, a ferramenta VECTO recorre ao mapa de aceleração. Este mapa de aceleração define a aceleração e desaceleração máxima que o veículo sofre. Quanto maior for o valor da aceleração e desaceleração mais agressiva será a condução. Menores valores simulam uma condução menos agressiva.

O mapa de aceleração é caracterizado pela velocidade, pelo valor da aceleração e pelo valor da desaceleração. Para se efetuar um correto estudo deste parâmetro foi necessário verificar quais os valores típicos de aceleração que um veículo pesado sofre. A Figura 63 representa os valores comuns de aceleração máxima e média de um veículo pesado.

Vehicle Type	Max. Speed Range km/h (m/s)	Accel. Time (sec)	Accel. Distance (m)	Critical Speed* (m/s)	Max. Accel. Rate (m/s <sup>2</sup> )	Mean Accel. Rate (m/s <sup>2</sup> )
Truck	20-30 (5.55-8.33)	11	56.98	2.77	0.75	0.28
	30-40 (8.33-11.11)	17	98.26	1.53	1.00	0.29
	40-50 (11.11-13.89)	34	259.08	1.27	0.96	0.24
	50-60 (13.89-16.67)	35	361.20	1.08	0.87	0.24
Motorized three wheeler	15-25 (4.17-6.94)	27	94.50	2.04	0.54	0.21
	25-32 (6.94-8.88)	36	156.24	2.30	0.45	0.22
	32-36 (8.88-10.0)	40	220.80	1.53	0.60	0.22
	36-43 (10.0-11.94)	50	308.50	2.53	0.64	0.20
Motorized two wheeler	30-40 (8.39-11.11)	22	167.24	4.21	0.94	0.47
	40-50 (11.11-13.89)	34	337.68	3.27	1.08	0.39
	50-60 (13.89-16.67)	35	374.80	3.97	1.96	0.52
Diesel Car	68-76 (18.88-21.11)	34.80	519.18	1.46	1.89	0.55
	76-84 (21.11-23.33)	45.70	766.22	1.34	2.23	0.47
	84-92 (23.33-25.55)	52.50	923.64	1.21	1.97	0.52
	80-84(22.22-23.33)	28.80	425.99	2.4	2.24	0.82
Petrol Car	84-88(23.33-24.44)	31.60	545.01	2.78	2.47	0.64
	88-92(24.44-25.25)	34.80	620.90	3.74	2.87	0.70

Max.: Maximum, Accel.: Acceleration, \* : Speed at maximum acceleration

Figura 63 - Valores comuns de aceleração máxima e média de um veículo pesado [35]

Pela análise da Figura 63 verifica-se que a aceleração máxima de um veículo pesado pode chegar aos  $1 \text{ m/s}^2$  entre a velocidade de 30 km/h e 40 km/h. A aceleração média pode tomar valores entre os  $0,24 \text{ m/s}^2$  e os  $0,29 \text{ m/s}^2$ , dependendo da velocidade. Assim com estes valores decidiu-se que a aceleração e desaceleração irá variar entre os  $0,2 \text{ m/s}^2$  e os  $1,2 \text{ m/s}^2$ . Para estudar a influência do mapa de aceleração admitiu-se um valor de aceleração igual para todos os intervalos de velocidade. Os valores obtidos para o consumo de combustível e de emissões de CO<sub>2</sub> estão representados na Figura 64, estando à esquerda representado um perfil de exploração *Long Haul* e à direita um perfil de exploração *Urban Delivery*.

Simulação	Acc. / Dec.	Consumo [l/100km]	Emissões CO <sub>2</sub> [g/km]
1	0,2	17,6838	462,7276
2	0,35	17,9862	470,6423
3	0,5	18,1246	474,2629
4	0,75	18,1855	475,857
5	1	18,2275	476,9558
6	1,2	18,2328	477,0943
7	0/1/-1 25/1/-1 50/0,6/-1 60/0,5/-0,5 120/0,5/-0,5	18,1344	474,5187

Simulação	Acc. / Dec.	Consumo [l/100km]	Emissões CO <sub>2</sub> [g/km]
1	0,2	25,4832	666,8136
2	0,35	28,7987	753,5694
3	0,5	31,6567	828,3553
4	0,75	34,1696	894,1082
5	1	35,4867	928,5734
6	1,2	36,232	948,0751
7	0/1/-1 25/1/-1 50/0,6/-1 60/0,5/-0,5 120/0,5/-0,5	35,0873	918,1223

 Figura 64 - Consumo de combustível e emissões de CO<sub>2</sub> variando os valores do mapa de aceleração

Num perfil de exploração *Long Haul* existem poucas paragens e uma pequena variação da velocidade alvo, logo a aceleração e desaceleração irá ter um pequeno impacto, como se verifica pela Figura 64, sendo a maior diferença de 3%. No caso de um perfil *Urban Delivery*, com um grande número de paragens e uma grande variação de velocidade, os valores de aceleração e desaceleração já têm um grande impacto. Com uma condução agressiva, com uma aceleração de cerca de  $0,75 \text{ m/s}^2$ , o consumo de combustível pode ser cerca de 15,7% superior quando comparado com uma condução mais suave, com uma aceleração média de  $0,35 \text{ m/s}^2$ . A simulação 7 corresponde ao mapa de aceleração pré-

definido na ferramenta VECTO. Este mapa varia o valor de aceleração consoante o valor de velocidade, de forma a reproduzir de forma mais detalhada uma situação real.

Com estes resultados conclui-se que uma definição precisa do mapa de aceleração é essencial para se obter valores fiáveis de consumo de combustível, e que uma condução mais agressiva pode ter um grande impacto no consumo de combustível, especialmente quando se trata de um percurso com um número elevado de paragens e com grandes variações de velocidade.

### 5.5.3. Influência do parâmetro *Look-Ahead Coasting*

O parâmetro *Look-Ahead Coasting* tem como objetivo simular a antecipação do condutor. Quando há uma diminuição da velocidade alvo, o veículo vai desacelerar com alguma antecedência, sem que sejam aplicados os travões. Isto evita que a simulação do veículo seja de acelerações e travagens bruscas. Para definir este parâmetro é necessário caracterizar a velocidade mínima para este sistema ativar e o fator de distância. A influência destes parâmetros no consumo de combustível está ilustrada na Figura 65.

Simulação	Min. Velocity - Preview Dist. Factor	Consumo [l/100km]	Emissões CO2 [g/km]
1	50-10	18,1361	474,5635
2	30-10	18,1361	474,5635
3	70-10	18,1361	474,5635
4	50-5	18,2526	477,6112
5	50-20	18,1127	473,9504

Simulação	Min. Velocity - Preview Dist. Factor	Consumo [l/100km]	Emissões CO2 [g/km]
1	50-10	35,1757	920,4344
2	30-10	32,3589	846,7281
3	70-10	36,1572	946,1175
4	50-5	35,4324	927,1535
5	50-20	35,0231	916,4435

Figura 65 - Consumo de combustível e emissões de CO2 variando o parâmetro de *Look-Ahead Coasting*

Como se verifica pela Figura 65 a função de *Look-Ahead Coasting* tem pouca influência num percurso em autoestrada, representado à esquerda na Figura 65. Já num percurso urbano, representado à direita na Figura 65, esta função tem uma influência significativa no consumo de combustível. Este parâmetro é ativado antes das fases de desaceleração, logo tem mais influência em trajetos com uma maior variação de velocidade, como é o caso de um percurso urbano. O *Look-Ahead Coasting* simula um comportamento que diminui o consumo de combustível, logo quanto menor a velocidade de ativação, menor é o consumo. Na simulação 2 do percurso *Urban Delivery* o consumo de combustível é muito inferior aos restantes, uma vez que a velocidade de ativação é bastante reduzida, com um valor de 30 km/h. Como este percurso tem uma velocidade média mais baixa, esta função está constantemente ativada, o que diminui de forma considerável o consumo de combustível. Analisando o fator de distância, quanto maior for este parâmetro, menor é o consumo. Isto está relacionado com a própria definição do parâmetro que caracteriza a distância em que o veículo deixa de acelerar. Assim quanto maior for a distância em que o

veículo não acelera e apenas perde velocidade antes da travagem, menor é o consumo de combustível, verificando-se, para as situações analisadas, oscilações superiores a 9%.

Com o estudo da influência do parâmetro *Look-Ahead Coasting* conclui-se que pode ter um maior impacto em percursos urbanos, com um maior número de desacelerações e que a velocidade de ativação desta função tem uma grande importância no consumo final de combustível.

## 5.6. Influência dos parâmetros na categoria ADAS

O sistema ADAS consiste num conjunto de sistemas que auxiliam na condução do veículo. Alguns desses sistemas têm influência no consumo de combustível. Na ferramenta VECTO fazem parte do sistema ADAS o *Stop/Start*, o *Eco-Roll* e o *Predictive Cruise Control*.

O sistema *Stop/Start* tem como objetivo diminuir o consumo de combustível ao desligar o motor em momentos de paragem. Este sistema é caracterizado na VECTO através do *delay* após a paragem do motor, o tempo máximo que o veículo tem o motor desligado e o fator de utilização. Para o estudo deste sistema na influência do consumo decidiu-se variar estes três parâmetros e analisar qual o seu impacto, Figura 66.

Simulação	Delay Eng. Off - Max. Eng. Off Time - Utility Factor	Consumo [l/100km]	Emissões CO2 [g/km]
1	Off	18,1361	474,5635
2	0,5-30-1	18,1185	474,1044
3	2-30-1	18,1195	474,13
4	1-30-0,8	18,1232	474,2274
5	1-30-0,5	18,1303	474,4118
6	1-30-0,3	18,135	474,5348
7	1-20-1	18,1234	474,2323
8	1-10-1	18,1283	474,3603
9	1-5-1	18,1347	474,5266

Simulação	Delay Eng. Off - Max. Eng. Off Time - Utility Factor	Consumo [l/100km]	Emissões CO2 [g/km]
1	Off	35,1757	920,4344
2	0,5-30-1	34,5348	903,6664
3	2-30-1	34,5728	904,6602
4	1-30-0,8	34,7053	908,1254
5	1-30-0,5	34,9609	914,8141
6	1-30-0,3	35,1313	919,2732
7	1-20-1	34,6971	907,9119
8	1-10-1	34,9495	914,5171
9	1-5-1	35,1358	919,3907

Figura 66 - Consumo de combustível e emissões de CO2 variando o parâmetro de Stop/Start

Como se observa na Figura 66 a utilização do *Stop/Start* diminui o consumo de combustível. Analisando o *delay* de ativação deste sistema após o motor parar verifica-se que quanto maior este *delay*, maior o consumo, ou seja, quanto mais tempo o motor demorar a desligar maior é o consumo. O fator de utilização indica a quantidade de vezes que este sistema é ativado. Se este for de 1, indica que o motor é desligado em todas as vezes que o veículo se imobiliza. Mais uma vez verifica-se que quanto menor o fator de utilização, maior é o consumo, ou seja, quantas mais vezes o motor desligar menor é o consumo. Por fim observando a influência do tempo máximo em que o motor está desligado concluiu-se que quanto menor for este tempo, maior é o consumo.

Comparando um perfil de exploração *Long Haul*, representado à esquerda na Figura 66, e um perfil de exploração *Urban Delivery*, representado à direita, é constatado que o sistema *Stop/Start* tem uma maior influência no consumo de combustível quando se trata de um percurso urbano, já que este apresenta um maior número de paragens.

Outro sistema constituinte do sistema ADAS é o *Eco-Roll*. Este parâmetro consiste num auxiliar de condução que desconecta o motor de combustão interna da transmissão durante fases de descida. Desta forma é possível diminuir o consumo de combustível. O sistema *Eco-Roll* pode ser utilizado com o suporte do *Stop/Start* ou sem este. Para este estudo como apenas interessa analisar a influência de um parâmetro decidiu-se retirar o suporte do sistema *Stop/Start*, e dessa forma analisar apenas o sistema *Eco-Roll*. Na Figura 67 estão ilustrados os valores obtidos para o consumo de combustível e emissões de CO<sub>2</sub> ao variar os vários parâmetros que completam a definição do sistema *Eco-Roll*.

Simulação	Min. Speed - Activation Delay - Upper Acc. Limit	Consumo [l/100km]	Emissões CO <sub>2</sub> [g/km]
1	Off	18,1361	474,5635
2	60-1-1	18,136	474,5622
3	70-1-1	18,136	474,5622
4	80-1-1	18,136	474,5622
5	90-1-1	18,1361	474,5635
6	60-2-1	18,1361	474,5643
7	60-3-1	18,1361	474,5643
8	60-1-2	18,136	474,5622
9	60-1-3	18,136	474,5622

Simulação	Min. Speed - Activation Delay - Upper Acc. Limit	Consumo [l/100km]	Emissões CO <sub>2</sub> [g/km]
1	Off	35,1757	920,4344
2	60-1-1	35,1755	920,4305
3	70-1-1	35,1757	920,4346
4	80-1-1	35,1757	920,4344
5	90-1-1	35,1757	920,4344
6	60-2-1	35,1756	920,4323
7	60-3-1	35,1756	920,4323
8	60-1-2	35,1755	920,4305
9	60-1-3	35,1755	920,4305

Figura 67 - Consumo de combustível e emissões de CO<sub>2</sub> variando o parâmetro de *Eco-Roll*

O *Eco-Roll* é caracterizado pela velocidade mínima de ativação, pelo *delay* de ativação e pelo limite de velocidade. No caso de um percurso em autoestrada, representado à esquerda na Figura 67, a utilização deste sistema não teve nenhum impacto no consumo de combustível, assim como num percurso urbano, representado à direita na Figura 67. Este sistema ao desconectar o motor de combustão interna da transmissão durante fases de descida mantém o motor a funcionar a ralenti, o que consome combustível, e daí o consumo não ter reduzido. Se se utilizar o *Eco-Roll* com o suporte do *Stop/Start*, em fases de descida o motor vai desligar, o que vai diminuir o consumo de combustível. Assim com esta análise concluiu-se que a utilização do sistema *Eco-Roll* apenas é vantajosa se for em conjunto com o sistema *Stop/Start*.

Para finalizar o estudo da influência dos parâmetros do sistema ADAS no consumo de combustível é necessário avaliar o *Predictive Cruise Control*, ou PCC. Este sistema otimiza a operação do motor durante o ciclo de exploração ao basear-se numa visualização prévia do gradiente da estrada, como está referido no Capítulo 4.1.5. Para caracterizar o PCC é

necessário definir a velocidade permitida superior e inferior à velocidade alvo, designada por *overspeed* e *underspeed*, a velocidade de ativação do sistema, a velocidade mínima e a distância de previsão. A variação destes parâmetros e a sua influência no consumo de combustível está representada na Figura 68.

Simulação	Underspeed - Overspeed - Enable Vel. - Min. Speed - Preview Dist. 1 - Preview Dist. 2	Consumo [l/100km]	Emissões CO2 [g/km]
1	Off	18,1361	474,5635
2	5-5-60-50-1000-1000	17,9918	470,7885
3	5-5-80-50-1000-1000	17,9918	470,7885
4	5-5-100-50-1000-1000	18,1361	474,5635
5	10-10-60-50-1000-1000	17,9595	469,9431
6	2-2-60-50-1000-1000	18,0566	472,4844
7	5-5-60-50-1500-1500	17,9918	470,7885
8	5-5-60-50-500-500	18,0554	472,4528
9	5-5-60-40-1000-1000	17,9918	470,7885
10	5-5-60-30-1000-1000	17,9918	470,7885

Simulação	Underspeed - Overspeed - Enable Vel. - Min. Speed - Preview Dist. 1 - Preview Dist. 2	Consumo [l/100km]	Emissões CO2 [g/km]
1	Off	35,1757	920,4344
2	5-5-60-50-1000-1000	35,1757	920,4344
3	5-5-80-50-1000-1000	35,1757	920,4344
4	5-5-100-50-1000-1000	35,1757	920,4344
5	10-10-60-50-1000-1000	35,1757	920,4344
6	2-2-60-50-1000-1000	35,1757	920,4344
7	5-5-60-50-1500-1500	35,1757	920,4344
8	5-5-60-50-500-500	35,1757	920,4344
9	5-5-60-40-1000-1000	35,1757	920,4344
10	5-5-60-30-1000-1000	35,1757	920,4344

Figura 68 - Consumo de combustível e emissões de CO2 variando o parâmetro do Predictive Cruise Control

Pela Figura 68 observa-se que o consumo de combustível para um trajeto urbano, representado em baixo na Figura 68, mantém-se inalterado, uma vez que o PCC apenas é ativado em segmentos de autoestrada. Num perfil de exploração *Long Haul*, representado em cima na Figura 68, concluiu-se que a utilização do PCC diminuiu em cerca de 1% o consumo de combustível. O menor valor de consumo é obtido para um valor mais elevado de *underspeed* e *overspeed*, o que significa que quanto maior for a diferença de velocidade permitida da velocidade alvo, maior é a poupança de combustível. Quanto maior a velocidade de ativação, maior é o consumo, uma vez que este sistema está menos tempo acionado. Para prever o gradiente da estrada o PCC utiliza a distância de previsão, logo quanto menor for esta distância, menor é a capacidade de previsão o que irá aumentar o consumo, como demonstra a Figura 68.

## 5.7. Conclusões da análise da influência dos parâmetros na ferramenta VECTO

Após a análise da influência de certos parâmetros que é necessário definir na ferramenta VECTO chegou-se à conclusão expectável de que nem todos têm o mesmo impacto no consumo de combustível e nas emissões de CO<sub>2</sub>. Existem certos parâmetros

que têm muito pouca influência, enquanto outros apresentam um impacto suficientemente significativo para serem aplicadas alterações nos veículos. Por vezes analisando o mesmo parâmetro chega-se à conclusão de que este pode ter pouco impacto num percurso com poucas paragens e velocidades mais elevadas, mas pode ter um grande impacto num percurso urbano, com velocidades reduzidas e um grande número de paragens.

Com a análise efetuada concluiu-se que parâmetros como a eficiência das engrenagens e do eixo, e a classe de eficiência energética do pneu têm um grande impacto no consumo de combustível e nas emissões de CO<sub>2</sub>, independentemente do tipo de percurso efetuado. O parâmetro de Cd x A, que corresponde ao coeficiente de arrasto vezes a área frontal do veículo apresentou um grande impacto no consumo, principalmente quando se tratou de um percurso com velocidades mais elevadas. Outros parâmetros que influenciaram bastante o consumo de combustível foram a carga que o veículo transporta, a potência consumida pelos auxiliares e o mapa de aceleração. Estes três parâmetros têm uma maior preponderância em percursos urbanos. O mapa de aceleração apresentou uma grande diferença no consumo entre um percurso urbano e em autoestrada, uma vez que este é mais utilizado nos aumentos e reduções de velocidade, algo que não acontece tanto num percurso em autoestrada. Estes parâmetros referidos foram os que manifestaram uma maior influência no consumo de combustível e consequentemente nas emissões de CO<sub>2</sub>.

Com a análise dos vários parâmetros necessários de definir na ferramenta VECTO também se verificou que existem alguns que apenas são relevantes para o consumo de combustível em certos trajetos. Um desses casos é a correção para ventos laterais, que apenas tem uma consequência relevante no caso de um percurso em autoestrada em que as velocidades são mais elevadas. Este parâmetro não tem grande peso num percurso urbano, ao contrário dos parâmetros de *Motoring Torque*, inércia da roda, características da caixa de velocidade e o *Look-Ahead Coasting* que se tornam relevantes quando a velocidade baixa e o número de paragens aumenta. Assim numa simulação que ocorre num percurso urbano é importante definir com precisão estes parâmetros.

Por fim verificou-se que existem parâmetros que têm muito pouca influência no consumo de combustível, independentemente do percurso do veículo. Estes parâmetros são a distribuição da carga, a utilização de pneu duplo, a definição de *overspeed* e os sistemas ADAS, como o *Stop/Start*, o *Eco-Roll* e o *Predictive Cruise Control*. Todos estes parâmetros têm pouca influência no consumo de combustível e nas emissões de CO<sub>2</sub>, logo na realização de uma simulação não é necessário dedicar um cuidado destacado para estas especificações. Um parâmetro que pode ser incluído nesta lista de menor relevância é o tipo de transmissão. Verificou-se que num percurso urbano uma caixa automática é

consideravelmente mais económica que uma caixa manual, mas como se trata de um parâmetro facilmente conhecido e que não varia de acordo com o modo de utilização do veículo decidiu-se incluir nesta lista de parâmetros com pouca influência.

Na simulação realizada foi utilizado um camião rígido com as características apresentadas no Anexo E. Como a ferramenta VECTO tem em consideração camiões rígidos e conjuntos trator-semirreboque foi também realizada uma simulação de um veículo com semirreboque, alterando os vários parâmetros de forma a verificar se o impacto dos vários parâmetros teria a mesma influência como no camião rígido. O veículo utilizado tinha uma configuração de eixos 4x2 e o semirreboque tinha 3 eixos. Todas as características do veículo podem ser consultadas no Anexo F.

Com esta simulação concluiu-se que o impacto de certos parâmetros era muito semelhante ao camião rígido. Parâmetros como a distribuição de carga, utilização de pneu duplo, definição de *overspeed*, sistemas ADAS e tipo de transmissão tinham pouca influência no consumo de combustível. Já parâmetros como a correção para ventos laterais, classe de eficiência energética do pneu e a eficiência das engrenagens e do eixo apresentaram uma maior influência no consumo de combustível, mas com um comportamento semelhante ao camião rígido. De entre todos os parâmetros simulados os que foram relevantes de assinalar para o conjunto trator-semirreboque foram a carga transportada pelo veículo, o valor de  $C_d \times A$ , a potência consumida pelos auxiliares e a utilização de *retarder*.

De acordo com o Decreto-Lei nº132/2017, com as alterações introduzidas pelo Decreto-Lei nº59/2023 [24] o peso bruto máximo para um conjunto veículo a motor – semirreboque é de 44 toneladas. Assim como o veículo utilizado tinha uma massa de 8229 kg e o semirreboque uma massa de 7500 kg, a carga máxima que o veículo pode transportar é de 28271 kg. Este valor foi admitido como máximo na simulação. Mais uma vez como se admitiu no Capítulo 5.1.1 a carga média que um veículo pesado transporta é cerca de 60% do peso máximo admissível. Na Figura 69 estão representados os consumos de combustível e as emissões de CO<sub>2</sub> para um conjunto veículo a motor – semirreboque de acordo com a carga que este transporta.

Peso Bruto Admissível [%]	Carga [kg]	Consumo [l/100km]	Emissões CO <sub>2</sub> [g/km]
0	0	19,1988	502,3723
20	5654	21,8466	571,6558
40	11308	24,6605	645,286
50	14136	26,0983	682,9098
55	15549	26,8206	701,8104
60	16963	27,5243	720,223
65	18376	28,2472	739,1396
70	19790	28,9705	758,0642
80	22617	30,3913	795,2431
90	25444	31,7859	831,7354
100	28271	33,1907	868,4953

Peso Bruto Admissível [%]	Carga [kg]	Consumo [l/100km]	Emissões CO <sub>2</sub> [g/km]
0	0	32,1631	841,6056
20	5654	39,9503	1045,3724
40	11308	47,9227	1253,984
50	14136	51,801	1355,4674
55	15549	53,7796	1407,241
60	16963	55,7751	1459,4551
65	18376	57,7183	1510,3024
70	19790	59,5812	1559,0481
80	22617	63,2756	1655,7201
90	25444	67,1301	1756,5809
100	28271	70,7067	1850,1669

Figura 69 - Consumo de combustível e emissões de CO<sub>2</sub> variando os valores de carga para um conjunto trator-semirreboque

Como seria de esperar quanto maior a carga, maior é o consumo de combustível. Para um trajeto em autoestrada, representado à esquerda na Figura 69, ao comparar o consumo com a carga média e máxima concluiu-se que há um aumento de 20,6%. Para um trajeto urbano o aumento é de 26,8%. Estes aumentos são superiores aos valores apresentados para o camião rígido visto anteriormente. Esta maior influência da carga para um conjunto trator-semirreboque pode estar relacionada com a quantidade transportada pelo veículo, já que este conjunto pode transportar cargas muito superiores quando comparadas com o camião rígido.

Analisando o valor de  $C_d \times A$  para um conjunto veículo a motor – semirreboque, como representado na Figura 70, constata-se que quanto maior este valor, maior é o consumo de combustível.

Simulação	$C_d \times A$ [m <sup>2</sup> ]	Consumo [l/100km]	Emissões CO <sub>2</sub> [g/km]
1	5	28,2718	739,7837
2	5,5	29,0101	759,1003
3	6	29,7554	778,6045
4	6,5	30,5141	798,4566
5	7	31,2747	818,3601
6	7,5	32,0442	838,4952
7	8	32,8129	858,6091
8	8,5	33,5895	878,9309
9	9	34,368	899,3001
10	9,5	35,1523	919,8233
11	10	35,9418	940,4824

Simulação	$C_d \times A$ [m <sup>2</sup> ]	Consumo [l/100km]	Emissões CO <sub>2</sub> [g/km]
1	5	58,7927	1538,4178
2	5,5	59,0036	1543,9362
3	6	59,1187	1546,9468
4	6,5	59,4534	1555,7048
5	7	59,6718	1561,4211
6	7,5	59,8777	1566,8067
7	8	60,0509	1571,3398
8	8,5	60,2999	1577,8547
9	9	60,4494	1581,7663
10	9,5	60,6619	1587,3266
11	10	60,8816	1593,0764

Figura 70 - Consumo de combustível e emissões de CO<sub>2</sub> variando os valores de  $C_d \times A$  para um conjunto trator-semirreboque

Mais uma vez o impacto deste parâmetro é muito mais significativo num percurso com velocidades elevadas. Comparando um valor de 5 m<sup>2</sup> e um valor de 10 m<sup>2</sup> verificamos que há um aumento no consumo de 27,1% e de 3,5% para um percurso em autoestrada e um percurso urbano, respetivamente. Este aumento é bastante inferior ao apresentado para o camião rígido. Isto pode estar relacionado com o aumento da influência de outros parâmetros, nomeadamente a carga transportada e a resistência ao rolamento, já que um conjunto veículo a motor – semirreboque tem uma maior resistência ao rolamento, uma vez que apresenta um maior número de eixos.

Analisando a influência que os auxiliares têm no consumo de combustível verificamos o mesmo caso que o exemplo anterior. Quanto maior a potência consumida pelos auxiliares, maior é o consumo de combustível, e conseqüentemente as emissões de CO<sub>2</sub>, como está apresentado na Figura 71.

Simulação	Potência [W]	Consumo [l/100km]	Emissões CO2 [g/km]
1	2370	29,2014	764,1062
2	3135	29,3705	768,533
3	3900	29,5343	772,8183
4	4665	29,6996	777,1448
5	5430	29,867	781,5235
6	6960	30,2028	790,3111
7	10000	30,8488	807,2132
8	20000	33,0938	865,9581
9	30000	35,4072	926,4935
10	37630	37,3003	976,03

Simulação	Potência [W]	Consumo [l/100km]	Emissões CO2 [g/km]
1	2370	60,1043	1572,7377
2	3135	60,4836	1582,6631
3	3900	60,8802	1593,0411
4	4665	61,3662	1605,7562
5	5430	61,862	1618,7303
6	6960	62,5365	1636,3802
7	10000	64,2409	1680,9795
8	20000	71,3738	1867,6247
9	30000	78,0264	2041,7024
10	37630	83,5392	2185,9546

**Figura 71 - Consumo de combustível e emissões de CO2 variando a potência dos auxiliares para um conjunto trator-semirreboque**

Comparando uma potência média de 5430 W e a potência máxima de 37630 W verificamos um aumento de 24,9% para um percurso *Long Haul* e 35% para um percurso *Urban Delivery*. Estes aumentos não são tão significativos como para um camião rígido já que outros parâmetros apresentam uma relevância superior, como a carga e a resistência ao rolamento.

Por fim analisou-se o tipo de *retarder* que equipa o veículo. O camião rígido analisado anteriormente não estava equipado com este sistema, logo não foi abordado. Na ferramenta VECTO o *retarder* causa perdas, logo a sua utilização irá causar um aumento no consumo de combustível. Estas perdas podem ser caracterizadas no mapa do motor ou no mapa de perdas da transmissão. É ainda possível caracterizar um *retarder* primário localizado antes da caixa de velocidades ou um *retarder* secundário, localizado depois da caixa de velocidades. O efeito da utilização do *retarder* no consumo de combustível está apresentado na Figura 72.

Simulação	Tipo de Retarder	Consumo [l/100km]	Emissões CO2 [g/km]
1	Nenhum	28,7164	751,4168
2	Retarder Primário	29,0589	760,3784
3	Retarder Secundário	29,0395	759,8697
4	Retarder no Motor	28,7164	751,4168
5	Incluído no mapa de perdas da transmissão	28,7164	751,4168

Simulação	Retarder	Consumo [l/100km]	Emissões CO2 [g/km]
1	Nenhum	58,9501	1542,5365
2	Retarder Primário	59,1921	1548,8671
3	Retarder Secundário	59,1561	1547,927
4	Retarder no Motor	58,9501	1542,5365
5	Incluído no mapa de perdas da transmissão	58,9501	1542,5365

**Figura 72 - Consumo de combustível e emissões de CO2 variando o tipo de retarder para um conjunto trator-semirreboque**

Como se verifica pela Figura 72 ao se incluir as perdas do *retarder* no mapa do motor ou no mapa de perdas da transmissão não se registou influencia no valor de consumo, uma vez que para este teste apenas se alteraram os parâmetros do *retarder* e não estes mapas. O *retarder* primário e secundário aumentaram o consumo de combustível como seria de esperar, mas o aumento foi pouco significativo, tanto para um percurso em autoestrada como para um percurso urbano. Assim é perceptível que a utilização de um *retarder* apresenta claramente maiores vantagens do que desvantagens, já que o aumento do consumo de combustível não é significativo quando comparado com o auxílio que o *retarder* presta na travagem do veículo, e consequentemente na segurança rodoviária.

Com estas simulações realizadas foi possível avaliar e identificar quais os parâmetros com maior influência no consumo de combustível e nas emissões de CO<sub>2</sub> dos camiões rígidos e dos conjuntos veículos a motor – semirreboque.

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

# 6

## Ferramenta VECTO Trailer

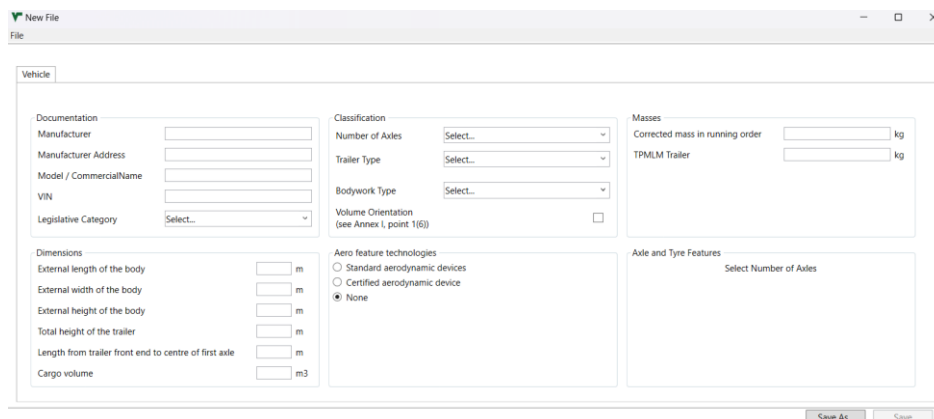
Com o estudo da influência dos vários parâmetros da ferramenta VECTO concluiu-se que há várias características do veículo pesado que contribuem para o aumento do consumo de combustível, como por exemplo a carga do veículo e o produto do coeficiente de arrasto e da área frontal. Um componente que não foi tido em consideração, mas que afeta estas características é o semirreboque ou reboque transportado pelo veículo. Apesar de este reboque não produzir emissões de CO<sub>2</sub> e de não consumir combustível afeta de grande forma o consumo de combustível do veículo. Assim de forma a incentivar o desenvolvimento de reboques mais leves e mais eficientes a Comissão Europeia emitiu o Regulamento 2022/1362 [36] que obriga à avaliação do desempenho de semirreboques e reboques novos em termos de emissões de CO<sub>2</sub>. Qualquer fabricante deve determinar o desempenho do semirreboque ou do reboque antes de este entrar em circulação. Para determinar o desempenho dos reboques foi desenvolvida uma ferramenta que tem em consideração certas características do reboque e como a ferramenta VECTO apenas analisa veículos a motor, a Comissão Europeia desenvolveu uma ferramenta de simulação específica para reboques. Essa ferramenta é chamada de VECTO Trailer. Desta forma antes do reboque ser colocado em circulação é necessário que o fabricante efetue uma simulação na ferramenta VECTO Trailer e assim obtenha o desempenho em termos de emissões de CO<sub>2</sub> e de consumo de combustível. É de notar que no Regulamento 2022/1362 não está especificado nenhum limite ou objetivo que os reboques tenham de

cumprir em termos de emissões de CO<sub>2</sub>, no entanto as informações sobre o desempenho ambiental de um reboque podem ser utilizadas para efeitos de portagem rodoviária e tributação. Este regulamento entrou em vigor em agosto de 2022 e estipula que a partir de janeiro de 2024 cada veículo que entre em circulação deve ser acompanhado pelo ficheiro de informações ao cliente obtido através da ferramenta VECTO Trailer. Este regulamento é aplicável a veículos das categorias O<sub>3</sub>, que consiste num reboque com massa máxima em carga tecnicamente admissível superior a 3,5 toneladas, mas não superior a 10 toneladas, e categoria O<sub>4</sub>, que consiste num reboque com massa máxima em carga tecnicamente admissível superior a 10 toneladas.

A ferramenta VECTO Trailer tem como principal objetivo determinar a influência que os reboques colocados em circulação têm no consumo de combustível e nas emissões de CO<sub>2</sub>, e assim comparar diferentes reboques em termos de desempenho ambiental. O seu funcionamento é semelhante à ferramenta VECTO, uma vez que a simulação é dividida em três partes, sendo a primeira a definição das características do reboque, a segunda parte consiste no cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> e do consumo de combustível e a terceira parte consiste na apresentação dos resultados.

## 6.1. Dados de entrada da ferramenta VECTO Trailer

Os dados de entrada da ferramenta VECTO Trailer consistem em características do reboque. Na Figura 73 está a representação da interface da ferramenta VECTO Trailer. [37]



The screenshot displays the 'New File' window of the VECTO Trailer software. The interface is organized into several sections for data entry:

- Documentation:** Fields for Manufacturer, Manufacturer Address, Model / CommercialName, VIN, and Legislative Category (with a dropdown menu).
- Classification:** Fields for Number of Axles, Trailer Type, and Bodywork Type, all with dropdown menus. A checkbox for 'Volume Orientation (see Annex I, point 1(6))' is also present.
- Masses:** Fields for 'Corrected mass in running order' and 'TPMLM Trailer', both with input boxes and a unit of 'kg'.
- Dimensions:** Fields for External length of the body, External width of the body, External height of the body, Total height of the trailer, Length from trailer front end to centre of first axle, and Cargo volume, each with an input box and a unit (m or m<sup>3</sup>).
- Aero feature technologies:** Radio buttons for 'Standard aerodynamic devices', 'Certified aerodynamic device', and 'None' (which is selected).
- Axle and Tyre Features:** A field for 'Select Number of Axles'.

At the bottom right, there are 'Save As...' and 'Save' buttons.

Figura 73 - Representação da interface da ferramenta VECTO Trailer [37]

Os primeiros parâmetros a definir são o nome do fabricante, a morada do fabricante, o modelo do reboque, o número de identificação do veículo e a categoria legislativa, ou seja, se pertence à categoria O<sub>3</sub> ou O<sub>4</sub>. Estes cinco parâmetros apenas são necessários para documentação para processos de homologação e não têm qualquer influência na simulação.

De seguida é necessário classificar o reboque em relação ao número de eixos, sendo admitidos reboques com 1, 2 ou 3 eixos. Os tipos de reboque considerados na VECTO Trailer são DA, que corresponde a um semirreboque concebido para ser engatado a uma unidade de tração ou a um reboque *Dolly*, DB, que corresponde a um reboque com lança e que tem pelo menos dois eixos e um deles deve ser direcional e por fim pode ser considerado um reboque DC, que se trata de um reboque de eixo central, conforme representado na Figura 74. Para este reboque também é necessário indicar o ponto de engate uma vez que este parâmetro afeta a distância entre o camião e o reboque, logo tem influência no valor de  $C_d \times A$ . [38]

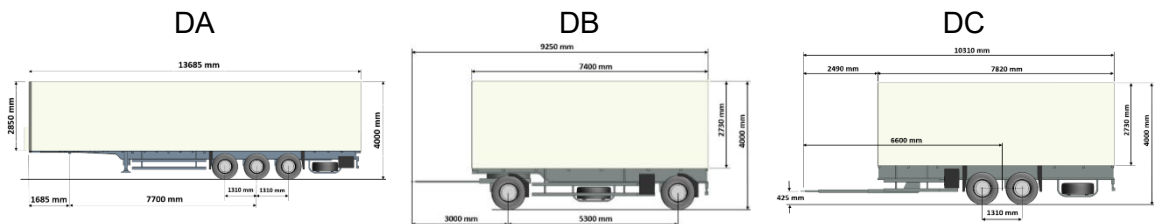


Figura 74 - Representação dos reboques considerados na ferramenta VECTO Trailer [39]

Para a classificação do reboque também é necessário identificar o tipo de carroçaria, sendo que a ferramenta VECTO Trailer admite carroçarias de caixa fechada, carroçarias de caixa refrigerada, carroçarias acondicionadas, carroçarias com cortinas laterais e carroçarias de caixa aberta com taipais rebatíveis e cobertura de oleado. Na classificação do reboque é possível definir se este está concebido para o transporte de mercadorias volumosas, o que indica que a altura interna não é inferior a 2,9 metros. Este parâmetro não só é importante para a classificação do reboque, como também tem influência no cálculo do valor de  $C_d \times A$ . [36]

Terminando a classificação do reboque é fundamental indicar a massa corrigida em ordem de marcha, que corresponde à massa do reboque sem carga. Também é necessário indicar a massa máxima em carga tecnicamente admissível do reboque e do eixo. Estes dois parâmetros limitam a massa total na simulação.

Após a definição destas características é essencial indicar as dimensões do reboque. Estas dimensões têm um papel bastante importante no cálculo do valor de  $C_d \times A$ . As

dimensões a indicar são o comprimento total do reboque, a largura máxima, a altura total, a altura exterior da caixa, o comprimento desde a extremidade dianteira do reboque ao centro do primeiro eixo e o volume da carga. Estas dimensões são sempre necessárias de caracterizar, independentemente do número de eixos do reboque. Em reboques com dois ou mais eixos é ainda necessário especificar o comprimento entre eixos.

De forma a incentivar a implementação de componentes que melhorem o desempenho aerodinâmico dos reboques foi incluída na ferramenta VECTO Trailer uma opção que permite indicar se estão a ser utilizados dispositivos aerodinâmicos. Em caso de utilização de dispositivos aerodinâmicos específicos estes podem ser indicados a partir da opção “Certified aerodynamic device”, sendo que é necessário associar um ficheiro com as características desse componente. No entanto a VECTO Trailer tem incorporados 4 tipos de dispositivos aerodinâmicos, sendo eles a saia lateral curta, saia lateral comprida, aba traseira curta e aba traseira comprida, como representa a Figura 75.

Figura 75 - Dispositivos aerodinâmicos admitidos na ferramenta VECTO Trailer [37]

Na definição destes dispositivos aerodinâmicos são admitidas entradas múltiplas, no entanto como seria de esperar não é possível definir dois tipos de saias ou dois tipos de abas. As representações destes tipos de dispositivos aerodinâmicos podem ser verificadas na Figura 76.

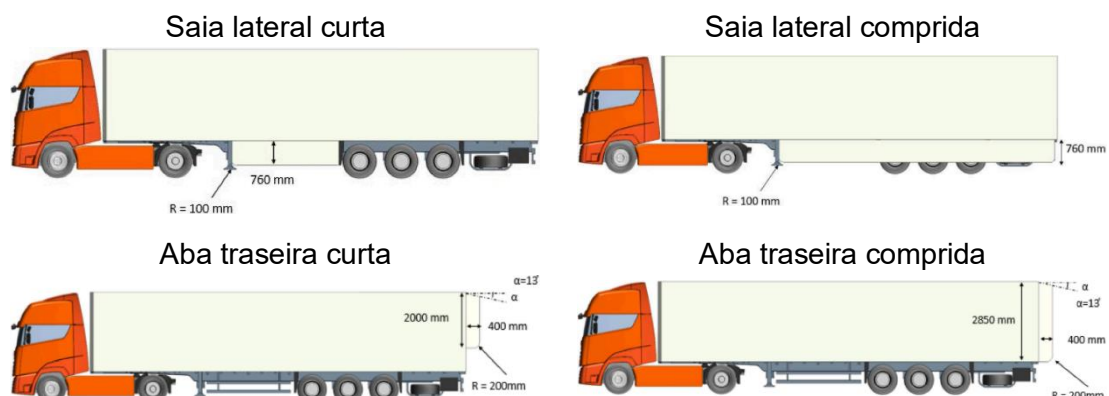


Figura 76 - Representação dos dispositivos aerodinâmicos admitidos na ferramenta VECTO Trailer [36]

Estes componentes aerodinâmicos têm como principal objetivo reduzir o valor do coeficiente de arrasto, e assim diminuir o consumo de combustível e as emissões de CO<sub>2</sub>. As saias laterais limitam o escoamento de ar por baixo do reboque e diminuem a turbulência causada por geometrias irregulares. As abas traseiras reduzem a zona de esteira formada na traseira do veículo, que cria uma zona de baixa pressão, aumentando a força resistiva ao movimento do veículo. [40] De acordo com o manual do utilizador da ferramenta VECTO Trailer estes componentes aerodinâmicos podem reduzir o valor de CdxA até 11%, como demonstrado na Figura 77. [41]

Combination Number	Allowed configurations				ΔCdxA reduction rates [%]			
	Side cover SHORT	Side cover LONG	Rear flaps SHORT	Rear flaps LONG	Yaw 0.0	Yaw 3.0	Yaw 6.0	Yaw 9.0
0					0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
1	1				1.4%	2.7%	3.0%	3.7%
2		1			4.0%	3.4%	3.5%	4.7%
3			1		2.8%	3.2%	3.8%	4.9%
4				1	3.9%	4.1%	5.1%	6.0%
5	1		1		3.8%	5.8%	8.3%	8.7%
6	1			1	4.7%	6.8%	9.2%	10.1%
7		1	1		6.5%	6.4%	7.8%	9.4%
8		1		1	7.6%	7.7%	9.2%	10.9%

Figura 77 - Redução do valor de CdxA em função dos dispositivos aerodinâmicos [41]

Como se verifica pela análise da Figura 77 de acordo com o ângulo de direção do veículo o impacto dos dispositivos aerodinâmicos varia, sendo que tirando a exceção das saias laterais compridas, quanto maior o ângulo de direção maior é o efeito positivo destes componentes. Com a análise da Figura 77 percebe-se que a melhor configuração de dispositivos aerodinâmicos é uma utilização conjunta de saias laterais compridas e abas traseiras compridas reduzindo mais de 10% do valor de CdxA.

Para finalizar a definição dos dados de entrada é necessário caracterizar os eixos e a informação relativa aos pneus. Para cada eixo do reboque é essencial indicar se tem pneu duplo e se o eixo é direcional ou elevável, como representa a Figura 78.

The image shows a software interface titled 'Axle and Tyre Features'. It contains three identical sections for 'Axle 1 - Tyre XML', 'Axle 2 - Tyre XML', and 'Axle 3 - Tyre XML'. Each section has a 'Select tyre xml' button with a dropdown arrow. Below each section are three checkboxes: 'Twin tyres', 'Liftable', and 'Steered', all of which are currently unchecked.

Figura 78 - Definição dos eixos na ferramenta VECTO Trailer [37]

Se se tratar de um reboque DB o primeiro eixo é automaticamente definido como direcional. Para a definição dos pneus do veículo a ferramenta VECTO Trailer utiliza um ficheiro auxiliar do tipo XML. Este ficheiro tem informação sobre o fabricante do pneu, as dimensões do pneu, a classe de eficiência energética e o respetivo coeficiente de resistência ao rolamento e a carga aplicada ao pneu. Todas estes parâmetros são essenciais para o cálculo do consumo de combustível e das emissões de CO<sub>2</sub>.

Após a definição de todos os dados de entrada pode-se finalmente passar para a segunda fase de cálculo da simulação.

## 6.2. Simulação na ferramenta VECTO Trailer

A ferramenta VECTO Trailer tem como principal objetivo determinar a influência que os reboques colocados em circulação têm no consumo de combustível e nas emissões de CO<sub>2</sub>, mas estes reboques não estão equipados com um motor, logo não consomem combustível nem emitem emissões. Assim para determinar a influência destes reboques a ferramenta VECTO Trailer utiliza um camião genérico que transporta o reboque definido pelo fabricante. Se se tratar de um reboque do tipo DA, a ferramenta utiliza um trator genérico, mas no caso de um reboque do tipo DB ou DC, o veículo genérico é um camião rígido. O reboque definido pelo fabricante é então transportado por um camião genérico e simulado com duas cargas úteis e em diferentes perfis de exploração, dependendo do tipo de reboque.

No caso de um reboque do tipo DA, para um percurso *Long Haul* e com apenas um eixo este é simulado com uma carga útil de 1500 kg e de 11200 kg, se este tiver dois eixos é simulado com uma carga de 2200 kg e de 16800 kg e se tiver três eixos é simulado com uma carga útil de 2600 kg e de 19300 kg. Estes valores e os valores utilizados para outros reboques e perfis de exploração estão relacionados com os utilizados na ferramenta VECTO, especificamente no “Declaration Mode”. [41]

Ao simular um reboque com características específicas acoplado a um camião genérico é possível identificar o efeito que o reboque tem no consumo de combustível do camião, uma vez que quanto menor for o consumo apresentado na simulação, melhor é o desempenho do reboque. Assim um comprador pode comparar os efeitos que os reboques proporcionam no consumo de combustível, já que todas as simulações são efetuadas utilizando o mesmo camião, a mesma carga e o mesmo perfil de exploração, variando apenas o reboque.

A ferramenta VECTO, apresentada no Capítulo 4 faz o oposto à ferramenta VECTO Trailer. Utilizando o “Declaration Mode” a ferramenta VECTO simula um camião com características específicas, é o utilizador que define, e este camião específico transporta um reboque genérico. Desta forma um comprador é capaz de comparar o consumo do camião sem ter em consideração o reboque que este transporta, uma vez que todas as simulações são realizadas com o mesmo reboque, a mesma carga e o mesmo perfil de exploração, variando apenas o camião, conforme apresentado na Figura 79.

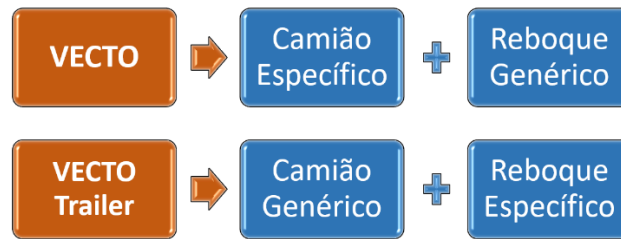


Figura 79 - Diagrama dos veículos utilizados na ferramenta VECTO e VECTO Trailer

Com estas duas ferramentas é possível verificar qual o impacto do camião e do reboque, mas sempre de forma separada. Um comprador poderá escolher o camião que apresente um menor consumo e um reboque que apresente uma menor influência no consumo de combustível do veículo, no entanto não irá conseguir determinar qual o consumo final de combustível do camião específico e do reboque específico, uma vez que não existe ferramenta que calcule o conjunto por completo.

Para ultrapassar este problema a Comissão Europeia decidiu implementar na ferramenta VECTO Trailer duas relações que permitissem calcular o consumo final de um camião específico e de um reboque específico. Estas duas relações foram chamadas de relação de referência e relação de eficiência.

A relação de eficiência ou “Efficiency Ratio” é um valor adimensional que caracteriza a influência de um reboque. Esta relação é dada através das emissões de CO<sub>2</sub> calculadas utilizando um camião genérico e um reboque específico e as emissões de CO<sub>2</sub> calculadas utilizando um camião genérico e um reboque de referência, como demonstra a Equação 9. [39]

$$Efficiency\ Ratio = \frac{CO_{2\ r-spec}}{CO_{2\ r-ref}} \quad (9)$$

Sendo  $CO_{2\ r-spec}$  as emissões de CO<sub>2</sub> de um camião genérico com um reboque específico e  $CO_{2\ r-ref}$  as emissões de CO<sub>2</sub> de um camião genérico com um reboque de

referência. O reboque específico tem as características definidas pelo utilizador na ferramenta VECTO Trailer, enquanto o reboque de referência é definido para cada subgrupo de veículos e representa configurações típicas de veículos do ano de 2020. Assim numa simulação a ferramenta VECTO Trailer necessita de calcular as emissões e o consumo de combustível para um camião genérico com um reboque específico e para um camião genérico com um reboque de referência. Ao se definir diferentes reboques para diferentes subgrupos resulta num maior esforço computacional para a ferramenta, mas torna muito mais simples a integração e atualização de regulamento, uma vez que apenas é necessário atualizar o reboque de referência que sofreu alterações pelo regulamento, mantendo os outros reboques iguais.

Analisando o valor de relação de eficiência, e tomando como exemplo uma simulação em que se calculou um valor de 95% para esta relação, isto indica que as emissões de CO<sub>2</sub> de um camião genérico quando este transporta o reboque específico são 5% inferiores quando comparado com o camião genérico quando este transporta o reboque de referência. É de notar que este “Efficiency Ratio” tanto pode ser aplicado para as emissões de CO<sub>2</sub> como para o consumo de combustível, já que estes dois valores se relacionam linearmente. [41]

O “Efficiency Ratio” apenas pode ser utilizado para comparar reboques do mesmo subgrupo, uma vez que diferentes subgrupos utilizam diferentes reboques de referência. Assim se se pretender comparar reboques de diferentes subgrupos é necessário recorrer ao consumo de combustível (l/100km) ou às emissões de CO<sub>2</sub> (g/km).

A relação de referência ou “Reference Ratio” é um valor que permite ao utilizador combinar a informação da ferramenta VECTO com a informação da ferramenta VECTO Trailer, uma vez que se trata de um valor fixo, dependendo do subgrupo do reboque, do perfil de exploração e da carga útil. É uma relação entre as emissões de CO<sub>2</sub> simuladas com um camião genérico que transporta um reboque de referência e as emissões de CO<sub>2</sub> simuladas com um camião genérico que transporta um reboque genérico, como demonstra a Equação 10. [39]

$$Reference\ Ratio = \frac{CO_{2\ r-ref}}{CO_{2\ r-gen}} \quad (10)$$

Sendo  $CO_{2\ r-ref}$  as emissões de CO<sub>2</sub> de um camião genérico com um reboque de referência e  $CO_{2\ r-gen}$  as emissões de CO<sub>2</sub> de um camião genérico com um reboque

genérico. Este reboque genérico é o mesmo que é utilizado na ferramenta VECTO. Mais uma vez este “Reference Ratio” pode ser calculado através das emissões de CO<sub>2</sub> ou do consumo de combustível.

Assim com estas duas relações é possível calcular o consumo de combustível e as emissões de CO<sub>2</sub> de um camião específico com um reboque específico utilizando a Equação 11. [41]

$$Consumo_{Comb\ Final} = Consumo_{Comb\ VECTO} \times Reference\ Ratio \times Efficiency\ Ratio \quad (11)$$

A Equação 11 indica que o consumo final de um camião específico com um reboque específico pode ser calculado através do consumo de um camião específico com um reboque genérico obtido na ferramenta VECTO e de seguida multiplicado pelo “Reference Ratio” e pelo “Efficiency Ratio”. Para ser possível aplicar a Equação 11 o reboque específico tem de pertencer ao mesmo subgrupo do reboque genérico, sendo que isto é automaticamente considerado se se utilizar o “Declaration Mode” na ferramenta VECTO. Outro aspeto importante de ter em conta é que deve ser aplicada a Equação 11 de forma separada para cada perfil de exploração. Cada perfil de exploração tem características diferentes, logo o desempenho do reboque e do camião é diferente para cada perfil, o que irá resultar em valores de “Efficiency Ratio” diferentes.

A multiplicação do “Reference Ratio” pelo “Efficiency Ratio” pode ser considerado um fator de correção, como demonstra a Figura 80.

$$Consumo_{Comb\ Final} = Consumo_{Comb\ VECTO} \times \frac{Consumo_{Comb\ r-ref}}{Consumo_{Comb\ r-gen}} \times \frac{Consumo_{Comb\ r-spec}}{Consumo_{Comb\ r-ref}}$$

Reference Ratio     Efficiency Ratio

$$Consumo_{Comb\ Final} = Consumo_{Comb\ VECTO} \times \frac{Consumo_{Comb\ r-spec}}{Consumo_{Comb\ r-gen}}$$

Fator Correção

Figura 80 - Utilização do fator de correção no cálculo do consumo final de combustível

Ao aplicar a multiplicação do “Reference Ratio” pelo “Efficiency Ratio” retira-se o reboque de referência da equação, e apenas se mantém o reboque específico e o reboque genérico. Uma vez que o valor do consumo de combustível da ferramenta VECTO é referente a um camião específico com um reboque genérico, ao aplicar este fator de correção obtemos o consumo de combustível final de um camião específico com um reboque específico.

Numa simulação a ferramenta VECTO Trailer utiliza as dimensões e a informação relativa aos dispositivos aerodinâmicos do reboque para calcular o valor de CdxA do conjunto camião-semirreboque. Por cada dispositivo aerodinâmico presente no reboque são aplicados os fatores de redução indicados na Figura 77. Estas dimensões e dispositivos aerodinâmicos tanto são utilizados para calcular o valor de CdxA em linha reta, como para situações de ventos laterais.

Após a determinação do valor de CdxA são considerados os eixos e pneus na simulação. Com a consideração de eixos direcionais e eleváveis existe a aplicação de fatores que reduzem o consumo de combustível e as emissões de CO<sub>2</sub>. Um eixo elevável permite diminuir a resistência ao rolamento, não só devido à eliminação do contacto do pneu com a estrada, mas também devido à redução do atrito do rolamento da roda. Outro fator importante na introdução de um eixo elevável é a alteração da distribuição da carga no conjunto camião-reboque. Na atribuição do fator para eixos eleváveis foram tidas em conta estas três situações. No caso da distribuição da carga foi apenas alterada a distribuição no reboque, mantendo constante a distribuição de carga no camião. No caso do atrito no rolamento da roda foi admitida uma perda de 500W, uma vez que representa uma perda média das várias tecnologias de rolamentos. Na Figura 81 está a representação do fator de redução de um eixo elevável no consumo de combustível dependendo do perfil de exploração e da carga transportada pelo veículo. [39]

Trailer Classification				Liftaxle Bonus factor					
Bodywork type	Volume orientation	Trailer type	Number of axles	Long haul		Regional Delivery		Urban Delivery	
				payload low	payload rep.	payload low	payload rep.	payload low	payload rep.
all	No/Yes	DA	2	-0.8%	-0.3%	-2.3%	-1.6%	-3.2%	-2.1%
			3	-0.6%	-0.2%	-3.6%	-2.4%	-5.3%	-3.5%
		DC	2	-0.6%	-0.2%	-2.2%	-1.5%	-3.1%	-2.0%
			3	-0.6%	-0.2%	-2.1%	-1.4%	-3.0%	-2.0%
		DC		-0.6%	-0.2%	-3.6%	-2.4%	-5.2%	-3.5%

Figura 81 - Fator de redução de um eixo elevável na ferramenta VECTO Trailer [39]

Como se verifica pela Figura 81 para percursos com um maior número de paragens e com uma velocidade inferior, *Urban Delivery*, o fator de redução é superior. O efeito do fator de redução é também menor com uma carga útil mais elevada porque a ferramenta VECTO Trailer tem em consideração um fator de utilização. Quando o veículo transporta cargas mais pesadas não pode elevar o eixo, logo não vai beneficiar por possuir um eixo

elevável. Nestes casos a ferramenta não pode assumir um fator de redução de zero porque trata-se de uma ferramenta para homologação e não de simulação de uma situação real.

O fator de redução para eixos direcionais tem em consideração a diminuição do arrasto durante as curvas e as manobras efetuadas pelo veículo. Como as ferramentas VECTO e VECTO Trailer seguem um modelo de simulação longitudinal, não consideram curvas nos percursos, sendo por isso impossível considerar o efeito de eixos direcionais, e conseqüentemente a inclusão de um fator de redução. Na Figura 82 está a ilustração do fator de redução de um eixo direcional no consumo de combustível dependendo do perfil de exploração e da carga transportada pelo veículo. [39]

Trailer Classification				Steered axle Bonus factor					
Bodywork type	Volume orientation	Trailer type	Number of axles	Long haul		Regional Delivery		Urban Delivery	
				payload low	payload rep.	payload low	payload rep.	payload low	payload rep.
all	No/Yes	DA/DC	1	-0%	-0%	-0%	-0%	-0%	-0%
			2	-0%	-0%	-1.5%	-1.5%	-2.3%	-2.3%
		DA%D C	3	-0%	-0%	-3%	-3%	-4.5%	-4.5%
			DB	3	-0%	-0%	-1.5%	-1.5%	-2.3%

Figura 82 - Fator de redução de um eixo direcional na ferramenta VECTO Trailer [39]

Como se verifica pela Figura 82 para reboques com apenas 1 eixo não é aplicado nenhum fator de redução, assim como para percursos em autoestrada, visto que a quantidade de curvas e de manobras efetuadas pelo veículo é muito reduzida e tipicamente o eixo apenas se torna direcional para velocidades inferiores a 35 km/h, sendo uma velocidade pouco comum num percurso em autoestrada. Reboques do tipo DB com 2 eixos também não têm nenhum fator de redução porque por defeito o primeiro eixo é sempre direcional.

Durante a simulação podem ser aplicados tanto eixos eleváveis como eixos direcionais. No caso de o reboque ter um eixo direcional e outro elevável, o fator de redução do eixo direcional é reduzido em 50%. No caso de o reboque ter o mesmo eixo como direcional e elevável, a ferramenta VECTO Trailer assume o fator com maior redução. Pode também acontecer o caso de o reboque ter dois eixos eleváveis. Neste caso o fator de correção é dependente da carga do veículo. Se se tratar de carga reduzida, o fator apresentado na Figura 82 é multiplicado por 1,5 e se se tratar de carga representativa o fator de redução da Figura 82 mantém-se inalterado, já que é assumido que a carga é demasiado pesada para elevar o segundo eixo. Por fim se se definir na simulação dois eixos direcionais, é

assumido pela Ferramenta VECTO Trailer uma redução de 20% quando comparado com apenas 1 eixo direcional. [39]

Numa simulação efetuada na ferramenta VECTO Trailer são utilizadas as dimensões e a informação relativa aos componentes aerodinâmicos para determinar o valor do  $C_{dxA}$  e ao complementar este valor com a informação relativa aos eixos e pneus do reboque, juntamente com os fatores de redução para eixos direcionais e eleváveis são calculados o consumo de combustível e as emissões de  $CO_2$  do conjunto camião-semirreboque. Junto com estes valores também são calculados o “Reference Ratio” e o “Efficiency Ratio”. Todos estes resultados são depois anexados em dois ficheiros que representam os dados de saída.

### **6.3. Dados de saída da ferramenta VECTO Trailer**

Como a ferramenta VECTO Trailer tem o objetivo de determinar a influência que os reboques têm no consumo de combustível e nas emissões de  $CO_2$  os resultados apresentados têm de demonstrar esta influência. Na geração dos resultados são criados dois ficheiros com diferentes objetivos.

O primeiro ficheiro a ser gerado é o MRF, ou *Manufacturer's Records file*. Este ficheiro contém informação sobre a identificação do reboque, a classificação do reboque, as características do reboque e sobre parâmetros específicos da simulação, como o valor de  $C_{dxA}$  para diferentes ângulos de direção. Contém ainda a informação referente ao consumo de combustível e de emissões de  $CO_2$  para os diferentes perfis de exploração e com as diferentes cargas úteis. Este ficheiro é indicado para os fabricantes do reboque e trata-se do ficheiro necessário a enviar à Comissão Europeia de forma a legalizar o reboque. [41]

O segundo ficheiro a ser gerado é o CIF, ou *Customer's Information file*. Este ficheiro contém informação sobre algumas características do reboque e sobre o consumo de combustível e de emissões de  $CO_2$  para os diferentes perfis de exploração e com as diferentes cargas úteis. Trata-se de um ficheiro menos extenso quando comparado com o MRF, sendo apenas apresentada a informação mais geral do reboque e os resultados mais relevantes para o comprador. Neste ficheiro também são apresentados os valores de “Reference Ratio” e “Efficiency Ratio”, uma vez que são valores úteis ao comprador, já que são utilizados para comparar reboques e para cálculos finais de consumo de combustível. Na Figura 83 está a representação de um excerto de um ficheiro CIF. [41]

```

<Manufacturer>Teste</Manufacturer>
  <ManufacturerAddress>leiria</ManufacturerAddress>
  <Model_CommercialName>Teste1</Model_CommercialName>
  <VIN>Exempl01234567890</VIN>
  <Date>2024-04-23T16:25:36.8692539Z</Date>
  <LegislativeCategory>04</LegislativeCategory>
  <AxleCount>3</AxleCount>
  <TrailerType>DA</TrailerType>
  <BodyWorkType>dry_box</BodyWorkType>
  <TrailerCouplingPoint>n/ac</TrailerCouplingPoint>
  <Masses>
    <CorrectedMassInRunningOrder>7700</CorrectedMassInRunningOrder>
    <TPMLMTrailer>39000</TPMLMTrailer>
    <TPMLMAxleAssembly>24000</TPMLMAxleAssembly>
  </Masses>
  <VehicleGroupAnnexI>132</VehicleGroupAnnexI>
  <VehicleGroupToolInternal>31101</VehicleGroupToolInternal>
  <Dimensions>
    <ExternalLengthBody>13.685</ExternalLengthBody>
    <ExternalWidthBody>2.550</ExternalWidthBody>
    <ExternalHeightBody>2.850</ExternalHeightBody>
    <TotalHeightTrailer>4.000</TotalHeightTrailer>
    <CargoVolume>91.0</CargoVolume>
    <VolumeOrientation>false</VolumeOrientation>
  </Dimensions>
  <TowingVehicle>Generic group 5 (4x2 tractor), MY2019/20, 325kW</TowingVehicle>
  <Result status="success" xsi:type="ResultSuccessType">
    <Mission>long Haul</Mission>
    <SimulationParameters>
      <Payload unit="kg">2600</Payload>
      <TotalVehicleMass unit="kg">18047</TotalVehicleMass>
      <AverageSpeed unit="km/h">79.7</AverageSpeed>
    </SimulationParameters>
    <Fuel type="Diesel CI">
      <FuelConsumption unit="l/100km">23.1</FuelConsumption>
      <FuelConsumption unit="l/t-km">0.0889</FuelConsumption>
      <FuelConsumption unit="l/m³-km">0.00254</FuelConsumption>
      <FuelConsumption unit="g/km">193</FuelConsumption>
      <FuelConsumption unit="g/t-km">74.3</FuelConsumption>
      <FuelConsumption unit="g/m³-km">2.12</FuelConsumption>
    </Fuel>
    <CO2 unit="g/km">605</CO2>
    <CO2 unit="g/t-km">232.7</CO2>
    <CO2 unit="g/m³-km">6.65</CO2>
    <EfficiencyRatio type="Kilometre-Based" unit="-">1.000</EfficiencyRatio>
    <EfficiencyRatio type="Ton-Kilometre-Based" unit="-">1.000</EfficiencyRatio>
    <EfficiencyRatio type="CubicMetre-Kilometre-Based" unit="-">1.000</EfficiencyRatio>
    <ReferenceRatio type="Kilometre-Based" unit="-">0.996</ReferenceRatio>
  </Result>

```

Figura 83 - Representação de um excerto de um ficheiro CIF [41]

É de notar que na Figura 83 não está a representação completa do ficheiro CIF. Como se observa na Figura 83 o ficheiro CIF apresenta informação sobre as dimensões gerais do reboque e apresenta os resultados para vários perfis de exploração. Cada perfil de exploração é simulado duas vezes com cargas úteis diferentes. O valor de “Efficiency Ratio” é calculado três vezes, sendo uma delas baseada na distância (quilometragem l/100km), outra baseada no parâmetro distancia/massa (quilómetro tonelada l/t-km) e por fim baseada em distância/volume (quilómetros metro cúbico l/m<sup>3</sup>-km). Já o valor de “Reference Ratio” apenas é calculado uma vez e é baseado na distância. Assim para o cálculo do consumo final de um camião específico com um reboque específico é fundamental utilizar os valores destas relações baseadas na distância (quilometragem).

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

# 7

## Influência dos parâmetros na VECTO Trailer

De modo a entender a ferramenta VECTO Trailer de forma mais detalhada decidiu-se estudar a influência dos parâmetros de entrada da ferramenta, de forma semelhante ao realizado no Capítulo 5 para a ferramenta VECTO. Neste caso apenas se alteraram os parâmetros relacionados com o reboque, uma vez que, conforme anteriormente já referido, a ferramenta VECTO Trailer utiliza um camião genérico.

O reboque utilizado pertencia à categoria O<sub>4</sub>, era composto por 3 eixos e do tipo DA tendo uma massa de 7700 kg. As restantes características estão apresentadas no Anexo G. Neste estudo, de modo semelhante ao já apresentado no Capítulo 5, também se analisou o consumo de combustível e as emissões de CO<sub>2</sub> para um perfil de exploração *Long Haul* e *Urban Delivery*, sendo que para ambos os perfis o semirreboque tinha uma carga útil de 2600 kg. Este valor de carga é automaticamente atribuído pela ferramenta. Para analisar a influência dos vários parâmetros do semirreboque analisou-se o consumo de combustível e as emissões de CO<sub>2</sub> e também o valor de CdxA, uma vez que aspetos como as dimensões do veículo e os dispositivos aerodinâmicos afetam este parâmetro. Também se teve em consideração os valores de “Efficiency Ratio” e “Reference Ratio” na medida em que estes valores têm influência no consumo final do conjunto camião específico e reboque específico.

## 7.1. Influência dos parâmetros na opção *Dimensions*

Nesta análise da influência dos parâmetros do semirreboque começou-se por analisar o efeito das dimensões do mesmo, já que as dimensões alteram o valor de  $Cd \times A$  e consequentemente o consumo de combustível e as emissões de  $CO_2$ . Inicialmente verificou-se qual a influência do comprimento do semirreboque. Existem dois comprimentos standard para semirreboques e camiões rígidos. O comprimento standard para o semirreboque é de 13,6 m, sendo que de acordo com o Diário da República, a distância máxima entre o eixo da cavilha de engate e a retaguarda do semirreboque é de 12m e a distância entre o eixo da cavilha e a dianteira do semirreboque não deve ser superior a 2,04 m. [24] Para o camião rígido o comprimento standard é de 7,82 m. Assim definiu-se 13,6 m como valor máximo de comprimento na simulação e como valor mínimo assumiu-se 8 m, uma vez que semirreboques mais curtos que 8 metros não são vantajosos, já que podem ser considerados camiões rígidos. [42] Na Figura 84 está a representação do consumo de combustível, das emissões de  $CO_2$ , do valor de  $Cd \times A$  e dos valores de “Efficiency Ratio” e “Reference Ratio” para os percursos *Long Haul* e *Urban Delivery*.

### Percurso Long Haul

Simulação	Comprimento [m]	Comprimento até ao eixo [m]	Consumo [l/100km]	Emissões $CO_2$ [g/km]	$Cd \times A$ [m <sup>2</sup> ]	Efficiency Ratio	Reference Ratio
1	13,6	8,024	23,1	605	5,6249	1	0,996
2	13	7,67	23	603	5,5883	0,997	0,996
3	12	7,08	22,9	600	5,5274	0,992	0,996
4	11	6,49	22,8	597	5,4664	0,987	0,996
5	10	5,9	22,7	594	5,4055	0,982	0,996
6	9	5,31	22,6	591	5,3446	0,978	0,996
7	8	4,72	22,5	589	5,2836	0,973	0,996

### Percurso Urban Delivery

Simulação	Comprimento [m]	Comprimento até ao eixo [m]	Consumo [l/100km]	Emissões $CO_2$ [g/km]	$Cd \times A$ [m <sup>2</sup> ]	Efficiency Ratio	Reference Ratio
1	13,6	8,024	40,3	1055	5,6249	1	1,004
2	13	7,67	40,3	1055	5,5883	1	1,004
3	12	7,08	40,3	1054	5,5274	0,999	1,004
4	11	6,49	40,2	1053	5,4664	0,997	1,004
5	10	5,9	40,2	1052	5,4055	0,996	1,004
6	9	5,31	40,2	1051	5,3446	0,996	1,004
7	8	4,72	40,1	1050	5,2836	0,995	1,004

Figura 84 - Consumo de combustível e emissões de  $CO_2$  variando o comprimento na ferramenta VECTO Trailer

Como se verifica pela Figura 84 a diminuição do comprimento do semirreboque diminui o valor de  $Cd \times A$ . A diminuição deste valor é refletida num menor consumo de combustível e consequentemente em emissões de  $CO_2$  mais reduzidas. Esta diminuição do consumo é mais pronunciada num percurso *Long Haul*, uma vez que este percurso tem velocidades mais elevadas, logo a influência do valor de  $Cd \times A$  tem um maior impacto do que num percurso urbano. Observando os valores de “Efficiency Ratio” e “Reference Ratio” verifica-se que este último se mantém constante, já que se trata de um valor fixo dependendo das características de um reboque de referência e genérico. O valor de “Efficiency Ratio”

diminui de acordo com a diminuição de  $Cd \times A$ , o que indica que o semirreboque a ser estudado é mais eficiente que o reboque de referência.

Analisando a largura do semirreboque verifica-se que esta não altera o consumo de combustível e as emissões de  $CO_2$  porque o valor de  $Cd \times A$  também não altera, como apresenta a Figura 85. A largura máxima definida foi de 2,55 m porque trata-se da largura máxima permitida. [24] No caso da largura mínima foi definido um valor de 2 m dado que após pesquisa foram encontrados semirreboques com cerca de 2,1 m. [43]

#### Percurso Long Haul

Simulação	Largura [m]	Consumo [l/100km]	Emissões $CO_2$ [g/km]	$Cd \times A$ [m <sup>2</sup> ]	Efficiency Ratio	Reference Ratio
1	2,55	23,1	605	5,6301	1	0,996
2	2,4	23,1	605	5,6301	1	0,996
3	2,3	23,1	605	5,6301	1	0,996
4	2,2	23,1	605	5,6301	1	0,996
5	2,1	23,1	605	5,6301	1	0,996
6	2	23,1	605	5,6301	1	0,996

#### Percurso Urban Delivery

Simulação	Largura [m]	Consumo [l/100km]	Emissões $CO_2$ [g/km]	$Cd \times A$ [m <sup>2</sup> ]	Efficiency Ratio	Reference Ratio
1	2,55	40,3	1055	5,6301	1	1,004
2	2,4	40,3	1055	5,6301	1	1,004
3	2,3	40,3	1055	5,6301	1	1,004
4	2,2	40,3	1055	5,6301	1	1,004
5	2,1	40,3	1055	5,6301	1	1,004
6	2	40,3	1055	5,6301	1	1,004

Figura 85 - Consumo de combustível e emissões de  $CO_2$  variando a largura na ferramenta VECTO Trailer

Na simulação realizada o camião genérico tinha uma largura de 2,55 m logo a área frontal do conjunto camião-semirreboque era sempre a mesma independentemente da largura do semirreboque. Assim o valor de  $Cd \times A$  manteve-se constante, visto que o valor de  $Cd$  nada ou pouco se alterou com a diminuição da largura.

Para finalizar a análise da influência das dimensões do semirreboque alterou-se a altura do mesmo. Para a altura máxima definiu-se 4 m uma vez que de acordo com o Diário da República este é o máximo que um veículo pode ter. [24] O valor mínimo definido foi de 2 metros. A Figura 86 representa o consumo de combustível, as emissões de  $CO_2$ , o valor de  $Cd \times A$  e os valores de “Efficiency Ratio” e “Reference Ratio” para ambos os percursos simulados.

### Percurso Long Haul

Simulação	Altura [m]	Altura exterior da caixa [m]	Consumo [l/100km]	Emissões CO2 [g/km]	Cd x A [m2]	Efficiency Ratio	Reference Ratio
1	4	2,8	23,1	605	5,6301	1	0,996
2	3,5	2,3	21,8	596	4,9263	0,941	0,996
3	3	1,8	20,4	534	4,2225	0,883	0,996
4	2,5	1,3	19,1	499	3,5188	0,825	0,996
5	2	0,8	17,8	465	2,815	0,768	0,996

### Percurso Urban Delivery

Simulação	Altura [m]	Altura exterior da caixa [m]	Consumo [l/100km]	Emissões CO2 [g/km]	Cd x A [m2]	Efficiency Ratio	Reference Ratio
1	4	2,8	40,3	1055	5,6301	1	1,004
2	3,5	2,3	39,9	1044	4,9263	0,989	1,004
3	3	1,8	39,6	1034	4,2225	0,979	1,004
4	2,5	1,3	39	1021	3,5188	0,967	1,004
5	2	0,8	38,6	1009	2,815	0,956	1,004

Figura 86 - Consumo de combustível e emissões de CO2 variando a altura na ferramenta VECTO Trailer

Como apresentado na Figura 86 o valor de CdxA diminui consideravelmente com a diminuição da altura do semirreboque. Desta forma o consumo e as emissões de CO<sub>2</sub> também diminuem de modo significativo. Como é natural esta diminuição da altura não é uma medida eficaz na poupança de combustível uma vez que uma menor altura do semirreboque significa uma menor capacidade de carga, no entanto é identificar este parâmetro nomeadamente na disposição da carga, tendo cuidado que esta disposição promova a menor altura possível na zona da caixa de carga.

## 7.2. Influência dos dispositivos aerodinâmicos

Como se comprovou nos casos anteriores e no Capítulo 5 o valor de CdxA tem uma grande influência no consumo de combustível. Isto indica que as características aerodinâmicas do camião e do reboque têm um grande impacto no consumo. Devido a isto a ferramenta VECTO Trailer incorporou a possibilidade de simular o reboque com dispositivos aerodinâmicos. A Figura 87 representa o consumo de combustível para as várias configurações possíveis de componentes aerodinâmicos.

### Percurso Long Haul

Simulação	Aero Feature	Consumo [l/100km]	Emissões CO2 [g/km]	Cd x A [m2]	Efficiency Ratio	Reference Ratio
1	None	23,1	605	5,6301	1	0,996
2	Short side covers	22,8	597	5,5512	0,987	0,996
3	Long side covers	22,7	595	5,4049	0,983	0,996
4	Short rear flaps	22,7	595	5,4724	0,984	0,996
5	Tall rear flaps	22,6	592	5,4105	0,978	0,996
6	Short side covers-Short rear flaps	22,4	586	5,4161	0,968	0,996
7	Short side covers-Tall rear flaps	22,3	583	5,3655	0,964	0,996
8	Long side covers-Short rear flaps	22,3	585	5,2641	0,996	0,996
9	Long side covers-Tall rear flaps	22,2	581	5,2022	0,96	0,996

### Percurso Urban Delivery

Simulação	Aero Feature	Consumo [l/100km]	Emissões CO2 [g/km]	Cd x A [m2]	Efficiency Ratio	Reference Ratio
1	None	40,3	1055	5,6301	1	1,004
2	Short side covers	40,2	1052	5,5512	0,997	1,004
3	Long side covers	40,2	1051	5,4049	0,996	1,004
4	Short rear flaps	40,2	1051	5,4724	0,996	1,004
5	Tall rear flaps	40,1	1050	5,4105	0,995	1,004
6	Short side covers-Short rear flaps	40	1048	5,4161	0,993	1,004
7	Short side covers-Tall rear flaps	40	1047	5,3655	0,992	1,004
8	Long side covers-Short rear flaps	40	1047	5,2641	0,992	1,004
9	Long side covers-Tall rear flaps	40	1047	5,2022	0,992	1,004

**Figura 87 - Consumo de combustível e emissões de CO2 variando os dispositivos aerodinâmicos na ferramenta VECTO Trailer**

Analisando apenas os valores de CdxA verifica-se que estes estão de acordo com a Figura 77, uma vez que a diminuição deste valor corresponde às percentagens de redução anunciadas pela ferramenta VECTO Trailer. A configuração que apresenta melhores resultados para o consumo de combustível é a utilização conjunta de saias laterais compridas e abas traseiras compridas. Com esta configuração é possível diminuir o consumo em cerca de 4% para um percurso em autoestrada. Para um percurso urbano esta diminuição é muito menos significativa representando apenas 0,7%. Tendo em consideração a vida útil de um semirreboque e a poupança de combustível obtida utilizando esta configuração de dispositivos aerodinâmicos pode ser bastante vantajoso a introdução destes dispositivos nos semirreboques, uma vez que os ganhos na poupança de combustível podem ser consideravelmente superiores ao custo da introdução destes componentes.

### 7.3. Influência da massa do semirreboque

A massa do semirreboque não só influencia o consumo de combustível como também influencia a carga que este pode transportar. Como o peso bruto máximo é fixo dependendo do tipo de semirreboque, quanto menor a massa do semirreboque mais carga este pode transportar. Um semirreboque típico tem por volta de 6857 kg. Um semirreboque é considerado leve se tiver uma massa inferior a 6000 kg. Como se verifica pela Figura 88,

em 2015 na Alemanha, o reboque mais leve à venda tinha uma massa de 5000 kg, enquanto o mais pesado tinha uma massa de 9500 kg. [44]

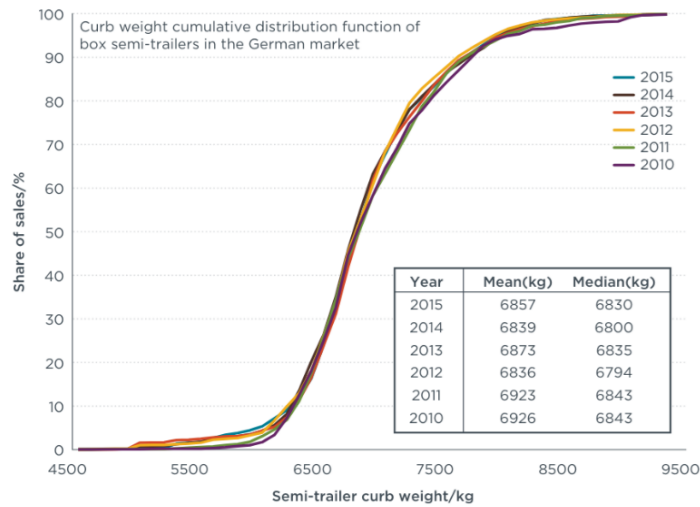


Figura 88 - Massa do semirreboque e percentagem de vendas no mercado alemão [44]

Neste ano a quantidade de reboques leves à venda era de apenas 1%. Tendo em consideração estes valores máximos e mínimos fez-se a simulação do semirreboque variando a sua massa para se obter os consumos e as emissões de CO<sub>2</sub>, Figura 89.

#### Percurso Long Haul

Simulação	Massa do semirreboque [kg]	Consumo [l/100km]	Emissões CO <sub>2</sub> [g/km]	Efficiency Ratio	Reference Ratio
1	5000	21,9	574	0,948	0,996
2	5500	22,1	579	0,958	0,996
3	6000	22,4	585	0,967	0,996
4	6500	22,6	591	0,977	0,996
5	7000	22,8	597	0,987	0,996
6	7500	23	603	0,996	0,996
7	8000	23,3	609	1,006	0,996
8	8500	23,5	614	1,015	0,996
9	9000	23,7	620	1,025	0,996
10	9500	23,9	626	1,035	0,996

#### Percurso Urban Delivery

Simulação	Massa do semirreboque [kg]	Consumo [l/100km]	Emissões CO <sub>2</sub> [g/km]	Efficiency Ratio	Reference Ratio
1	5000	36,2	949	0,899	1,004
2	5500	37	968	0,917	1,004
3	6000	37,7	987	0,936	1,004
4	6500	38,5	1006	0,953	1,004
5	7000	39,3	1028	0,974	1,004
6	7500	40,1	1049	0,994	1,004
7	8000	40,8	1068	1,012	1,004
8	8500	41,5	1087	1,03	1,004
9	9000	42,2	1105	1,047	1,004
10	9500	42,9	1123	1,064	1,004

Figura 89 - Consumo de combustível e emissões de CO<sub>2</sub> variando a massa na ferramenta VECTO Trailer

Como se verifica pela análise da Figura 89 quanto menor a massa do semirreboque menor é o consumo de combustível em ambos os trajetos. Sendo a média de cerca de 7000 kg e uma vez que um reboque é considerado leve com uma massa de 6000 kg, concluiu-se que para um percurso em autoestrada um reboque leve consome menos 1,75%, enquanto para um percurso urbano consome menos 4%, sem nunca esquecer que pode transportar mais carga. O aumento do consumo de combustível é praticamente linear com o aumento da massa do semirreboque, e com isto é possível concluir que a diminuição de apenas 500 kg pode significar uma diminuição de 1,3% e de 1,75% num percurso em autoestrada e num percurso urbano respetivamente. Com estes valores conclui-se que a redução de massa de um semirreboque é um parâmetro bastante relevante de aprimorar, uma vez que tem uma grande influência no consumo de combustível e existe uma grande margem de progressão, já que em 2015 apenas 1% dos semirreboques eram considerados leves.

#### **7.4. Influência dos parâmetros na opção *Axle and Tyre***

Para finalizar o estudo da influência de certos parâmetros na ferramenta VECTO Trailer analisou-se a opção eixos e pneus. Nesta opção é possível definir a utilização de pneu duplo, a resistência ao rolamento do pneu e a utilização de eixos eleváveis ou direcionais.

A utilização de pneu duplo pode ser por vezes necessária uma vez que os pneus possuem índices de carga, ou seja têm limites de carga que o pneu pode suportar. [45] Assim quando o camião transporta elevadas cargas úteis é necessária a utilização do pneu duplo de forma a aumentar o limite da carga suportada. Como é de se esperar a utilização adicional de pneus aumenta a resistência ao rolamento, o que aumenta o consumo de combustível e consequentemente as emissões de CO<sub>2</sub>, como indica a Figura 90. Na Figura 90 a utilização do pneu duplo está representada como “Sim”. Assim para o segundo caso, com um valor de “Não-Não-Sim” está a ser admitido que no primeiro eixo, assim como no segundo não há a utilização de pneu duplo, enquanto no terceiro eixo já se utiliza pneu duplo.

## Percurso Long Haul

Simulação	Twin Tyre	Consumo [l/100km]	Emissões CO2 [g/km]	Efficiency Ratio	Reference Ratio
1	Não-Não-Não	23,1	605	1	0,996
2	Não-Não-Sim	23,2	607	1,004	0,996
3	Não-Sim-Sim	23,3	609	1,007	0,996
4	Sim-Sim-Sim	23,4	612	1,011	0,996

## Percurso Urban Delivery

Simulação	Twin Tyre	Consumo [l/100km]	Emissões CO2 [g/km]	Efficiency Ratio	Reference Ratio
1	Não-Não-Não	40,3	1055	1	1,004
2	Não-Não-Sim	40,6	1062	1,006	1,004
3	Não-Sim-Sim	40,8	1069	1,013	1,004
4	Sim-Sim-Sim	41	1074	10,018	1,004

**Figura 90 - Consumo de combustível e emissões de CO2 variando o eixo de pneu duplo na ferramenta VECTO Trailer**

Para o estudo da utilização de pneu duplo utilizou-se como referência uma não utilização deste parâmetro. De seguida introduziram-se pneus duplos aos eixos do semirreboque. Como se verifica pela Figura 90 a utilização de pneu duplo nos três eixos aumenta o consumo de combustível em cerca de 1,3% para um percurso em autoestrada e 1,7% para um percurso urbano. Este maior impacto num percurso urbano está relacionado com a maior influência da resistência ao rolamento, já que num percurso em autoestrada esta resistência perde preponderância devido ao grande domínio da resistência aerodinâmica.

A introdução de eixos eleváveis permite reduzir a resistência ao rolamento e assim reduzir o consumo de combustível. A Figura 91 representa o consumo de combustível e as emissões de CO<sub>2</sub> quando simulado com a introdução de eixos eleváveis.

## Percurso Long Haul

Simulação	Liftable	Consumo [l/100km]	Emissões CO2 [g/km]	Efficiency Ratio	Reference Ratio
1	Não-Não-Não	23,1	605	1	0,996
2	Não-Não-Sim	23	601	0,994	0,996
3	Sim-Não-Não	23	601	0,994	0,996

## Percurso Urban Delivery

Simulação	Liftable	Consumo [l/100km]	Emissões CO2 [g/km]	Efficiency Ratio	Reference Ratio
1	Não-Não-Não	40,3	1055	1	1,004
2	Não-Não-Sim	38,2	999	0,947	1,004
3	Sim-Não-Não	38,2	999	0,947	1,004

**Figura 91 - Consumo de combustível e emissões de CO2 variando o eixo elevável na ferramenta VECTO Trailer**

Apenas se considerou colocar um eixo elevável no semirreboque, estando este configurado no primeiro ou terceiro eixo. Como se verifica pela Figura 91 a introdução de eixo elevável diminui consideravelmente o consumo de combustível num percurso urbano representando uma variação potencial de 5,2%. Para um percurso em autoestrada esta redução é de apenas 0,4%. Estes valores vão de encontro ao apresentado na Figura 81 e às percentagens de redução anunciadas pela ferramenta VECTO Trailer. É de notar que a posição do eixo elevável não é considerada relevante para a diminuição do consumo e apenas importa a utilização.

A utilização de um eixo direcional reduz o arrasto durante as curvas e as manobras efetuadas pelo veículo, diminuindo assim o consumo de combustível, como se verifica pela Figura 92. Mais uma vez apenas se considerou a introdução de um eixo direcional no primeiro e terceiro eixo.

#### Percurso Long Haul

Simulação	Steered	Consumo [l/100km]	Emissões CO2 [g/km]	Efficiency Ratio	Reference Ratio
1	Não-Não-Não	23,1	605	1	0,996
2	Não-Não-Sim	23,1	605	1	0,996
3	Sim-Não-Não	23,1	605	1	0,996

#### Percurso Urban Delivery

Simulação	Steered	Consumo [l/100km]	Emissões CO2 [g/km]	Efficiency Ratio	Reference Ratio
1	Não-Não-Não	40,3	1055	1	1,004
2	Não-Não-Sim	38,5	1008	0,955	1,004
3	Sim-Não-Não	38,5	1008	0,955	1,004

Figura 92 - Consumo de combustível e emissões de CO2 variando o eixo direcional na ferramenta VECTO Trailer

Num percurso *Long Haul* não há influência da introdução de um eixo direcional, uma vez que para este percurso as manobras e curvas efetuadas pelo veículo são muito reduzidas e normalmente o eixo direcional apenas é ativado para velocidades muito baixas. Já no percurso *Urban Delivery* o impacto é claramente significativo, diminuindo o consumo de combustível em cerca de 4,5%. Semelhante ao ocorrido para o eixo elevável, a posição do eixo direcional também não influencia o consumo de combustível.

Como já foi referido no Capítulo 5 os pneus estão divididos por classes de eficiência energética, de acordo com o respetivo coeficiente de resistência ao rolamento. A classe mais eficiente é a "A", sendo a classe D a mais popular. Para o estudo da influência do coeficiente de resistência ao rolamento dos pneus do semirreboque decidiu-se analisar as várias classes de eficiência energética, Figura 93. É de notar que para este estudo alterou-

se todos os pneus de todos os eixos do semirreboque, sendo que os pneus do camião se mantiveram iguais, uma vez que este representa um camião genérico.

#### Percurso Long Haul

Classe de eficiência energética	CRR	Consumo [l/100km]	Emissões CO2 [g/km]	Efficiency Ratio	Reference Ratio
A	3,5	21,9	573	0,948	0,996
	4	22,2	581	0,961	0,996
B	4,5	22,5	589	0,974	0,996
	5	22,8	597	0,987	0,996
C	5,5	23,1	605	1	0,996
	6	23,4	613	1,013	0,996
D	6,5	23,7	621	1,026	0,996
	7	24	629	1,039	0,996
E	7,5	24,3	637	1,052	0,996
	8	24,6	645	1,066	0,996

#### Percurso Urban Delivery

Classe de eficiência energética	CRR	Consumo [l/100km]	Emissões CO2 [g/km]	Efficiency Ratio	Reference Ratio
A	3,5	39,4	1032	0,978	1,004
	4	39,7	1038	0,983	1,004
B	4,5	39,9	1043	0,989	1,004
	5	40,1	1049	0,994	1,004
C	5,5	40,3	1055	1	1,004
	6	40,6	1062	1,006	1,004
D	6,5	40,8	1068	1,012	1,004
	7	41	1072	1,016	1,004
E	7,5	41,2	1078	1,021	1,004
	8	41,4	1084	1,027	1,004

Figura 93 - Consumo de combustível e emissões de CO2 variando o valor de CRR na ferramenta VECTO Trailer

Ao comparar um pneu da classe D, sendo esta a mais usual, e um pneu da classe A, sendo esta a mais eficiente, verificamos que há uma diminuição do consumo de 7,6% para um percurso em autoestrada e 3,4% para um percurso urbano. Com estes valores conclui-se que a escolha da classe de eficiência energética de um pneu é um parâmetro a ter em consideração uma vez que tem uma grande influência no consumo de combustível e existe uma grande margem de progressão, já que de acordo com a EPREL apenas 0,8% dos pneus pertencem à classe A. [32]

# 8

## Implementação da ferramenta VECTO em casos reais

Conforme já referido neste documento, a ferramenta VECTO foi implementada pela Comissão Europeia com o propósito de simular o consumo de combustível e as emissões de CO<sub>2</sub> de um veículo pesado para questões de homologação. A ferramenta não só permite a simulação de situações para a certificação dos veículos, através do “Declaration Mode”, como também permite efetuar um estudo e a otimização do veículo para o consumo de combustível e emissões de CO<sub>2</sub> através do “Engineering Mode”.

Uma vez que este projeto tem como objetivo implementar a ferramenta VECTO em veículos em Portugal decidiu-se analisar estas duas propriedades da ferramenta. Como em território nacional a produção e homologação de veículos tratores é bastante reduzida ou quase nula decidiu-se utilizar a ferramenta VECTO Trailer para simular uma homologação de um semirreboque, já que o número de fabricantes de semirreboques em Portugal é muito mais elevado do que veículos tratores, logo a utilização da ferramenta VECTO Trailer irá ser muito mais relevante. Assim recorreu-se a um exemplo de um semirreboque fabricado em Portugal e efetuou-se a simulação necessária na ferramenta VECTO Trailer para a homologação do semirreboque.

Para o caso do modo “Engineering”, que tem como intenção averiguar qual o impacto de certas alterações, resolveu-se simular um camião rígido num percurso conhecido, e assim ao se efetuar certas alterações no veículo foi possível perceber quais os impactos em termos de consumos e emissões de CO<sub>2</sub> essas alterações tiveram.

### 8.1. Homologação através da VECTO Trailer

Para o estudo da homologação de um semirreboque teve-se o auxílio da empresa VZ Trailer. [46] Esta empresa forneceu todas as características necessárias para a simulação de uma homologação de um semirreboque na ferramenta VECTO Trailer. O semirreboque utilizado tinha 3 eixos, sendo um deles elevável, uma massa de 6170 kg e uma carroçaria com cortinas laterais, como está exemplificado na Figura 94.



Figura 94 - Representação do semirreboque utilizado na simulação [46]

O primeiro passo para a homologação de um semirreboque recorrendo à ferramenta VECTO Trailer é introduzir todas as características do semirreboque na ferramenta, como ilustrado na Figura 95.

The screenshot displays the VECTO Trailer configuration interface, organized into several sections:

- Documentation:** Fields for Manufacturer (VZ Trailer), Manufacturer Address (Porto de Mós, Portugal), Model / CommercialName (Krone SD), VIN (WKESD000001112143), and Legislative Category (O4).
- Classification:** Fields for Number of Axles (3), Trailer Type (DA), Bodywork Type (curtain-sided), and Volume Orientation (unchecked).
- Masses:** Fields for Corrected mass in running order (6170 kg), TPMLM Trailer (32830 kg), and TPMLM Axle Assembly (12000 kg).
- Dimensions:** Fields for External length of the body (13.620 m), External width of the body (2.480 m), External height of the body (2.700 m), Total height of the trailer (4.000 m), Length from trailer front end to centre of first axle (8.400 m), Length between centres of axles (1.500 m), and Cargo volume (90.000 m3).
- Aero feature technologies:** Radio buttons for Standard aerodynamic devices, Certified aerodynamic device, and None (selected).
- Axle and Tyre Features:** Three sections for Axle 1, Axle 2, and Axle 3, each with Tyre XML (Generic Tyre Manufacturer, 385/65 R22.5) and options for Twin tyres, Lifiable, and Steered.

Figura 95 - Introdução das características do semirreboque na VECTO Trailer

Após a introdução de todas as características é realizada a simulação com um camião-trator genérico pelos perfis de exploração Longo Curso, Distribuição Regional e Distribuição Urbana. Finalizada a simulação é gerado o ficheiro “Customer’s Information file” e o ficheiro “Manufacturer’s Records file”. Para esta análise da homologação apenas se irá explorar o ficheiro “Customer’s Information file”, uma vez que é a informação inserida neste ficheiro que é necessário apresentar ao cliente.

O ficheiro “Customer’s Information file” é iniciado com a apresentação dos dados principais do veículo, como o fabricante, a morada do fabricante, o modelo do semirreboque e o seu número de identificação. Nestes dados também são apresentados a categoria legislativa, o número de eixos do semirreboque, o tipo de reboque e o tipo de carroçaria. É apresentada também a massa do semirreboque e os pesos máximos admitidos por este e pelo eixo. Na Figura 96 está a representação no “Customer’s Information file” dos dados principais do semirreboque simulado.

Dados principais do veículo	
Manufacturer	VZ Trailer
ManufacturerAddress	Porto de Mós, Portugal
Model_CommercialName	Krone SD
VIN	WKESD000001112143
LegislativeCategory	O4
AxleCount	3
TrailerType	DA
BodyWorkType	curtain-sided
TrailerCouplingPoint	n/a
VolumeOrientation	false
CorrectedMassInRunningOrder (kg)	6170
TPMLMTrailer (kg)	32830
TPMLMAxleAssembly (kg)	12000
VehicleGroupAnnex1	131
VehicleGroupToolInternal	31401

Figura 96 - Dados do veículo no "Customer's Information file"

Após a apresentação dos dados do semirreboque são apresentadas as dimensões gerais do semirreboque, como o seu comprimento total, a sua largura, a altura da caixa, a altura total e o volume disponível para a carga. Para a simulação é necessário definir a distância entre eixos e o comprimento desde a extremidade dianteira do reboque ao centro do primeiro eixo, no entanto estas dimensões não são apresentadas no “Customer’s Information file”, uma vez que estes valores são utilizados para o cálculo do CdxA. Na Figura 97 está a representação no “Customer’s Information file” das dimensões do semirreboque simulado.

Dimensões do veículo	
ExternalLengthBody (m)	13,62
ExternalWidthBody (m)	2,48
ExternalHeightBody (m)	2,7
TotalHeightTrailer (m)	4
CargoVolume (m <sup>3</sup> )	90

Figura 97 - Dimensões do veículo no "Customer's Information file"

A seguir às dimensões do semirreboque é mostrado o produto do coeficiente de arrasto pela área frontal do veículo trator mais o semirreboque dependendo de quatro ângulos de direção. É também indicado se o semirreboque tem ou não algum dispositivo aerodinâmico, como representa a Figura 98.

Dispositivo aerodinâmico	
StandardTechnologies	None
CdxYawAngle0 (m <sup>2</sup> )	5,643
CdxYawAngle3 (m <sup>2</sup> )	5,834
CdxYawAngle6 (m <sup>2</sup> )	6,507
CdxYawAngle9 (m <sup>2</sup> )	7,352

Figura 98 - Dispositivos aerodinâmicos do veículo no "Customer's Information file"

Através deste ficheiro o cliente não é capaz de conhecer o valor de CdxA do semirreboque, mas é capaz de comparar o valor com outros semirreboques, uma vez que o veículo trator utilizado é sempre o mesmo. Assim se numa outra simulação o valor de CdxA for superior a 5,643 para um ângulo de zero graus é possível concluir que esse semirreboque apresenta um valor de CdxA superior ao utilizado para este estudo de homologação.

No “Customer’s Information file” também é apresentada a informação relativa aos eixos do semirreboque, como as dimensões dos pneus, a classe de eficiência energética e o

número de certificação dos pneus. Também é indicado se o eixo está equipado com pneu duplo, ou se se trata de um eixo direcional e elevável. Na Figura 99 está a representação no “Customer’s Information file” das características do eixo do semirreboque simulado.

Caraterísticas do eixo e dos pneus			
	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3
CertificationNumber	e12*0815/8051*2017/05T0000*00	e12*0815/8051*2017/05T0000*00	e12*0815/8051*2017/05T0000*00
Dimension	385/65 R22.5	385/65 R22.5	385/65 R22.5
FuelEfficiencyClass	C	C	C
TwinTyres	false	false	false
Steered	false	false	false
Liftable	true	false	false

Figura 99 - Características dos eixos e dos pneus do veículo no "Customer's Information file"

Até este ponto do “Customer’s Information file” apenas são apresentadas certas características do semirreboque, sendo grande parte delas definidas como *input* na ferramenta VECTO Trailer. Após estes pontos são apresentados os resultados da simulação. Para este semirreboque com uma massa de cerca de 6 toneladas, 3 eixos e pertencente à categoria O<sub>4</sub> a simulação é feita com uma carga útil baixa de 2600 kg para o perfil de exploração Longo Curso, Distribuição Regional e Distribuição Urbana, uma carga útil representativa de 19300 kg para o perfil de exploração Longo Curso e uma carga útil representativa de 12900 kg para o perfil de exploração Distribuição Regional e Distribuição Urbana. Feita a simulação é apresentado no “Customer’s Information file” a velocidade média do veículo, as suas emissões de dióxido de carbono, o seu consumo de combustível, o rácio de eficiência e o rácio de referência, como demonstra a Figura 100.

Carga útil baixa [kg]: 2600

	Velocidade média do veículo	Emissões de CO <sub>2</sub>			Consumo de combustível			Rácio de eficiência			Rácio de Referência
		g/km	g/t-km	g/m <sup>3</sup> -km	l/100km	l/t-km	l/m <sup>3</sup> -km	(km)	(t-km)	(m <sup>3</sup> -km)	
Longo Curso	79,8 km/h	584 g/km	224,7 g/t-km	6,49 g/m <sup>3</sup> -km	22,3 l/100km	0,0859 l/t-km	0,00248 l/m <sup>3</sup> -km	0,985 (km)	0,985 (t-km)	0,996 (m <sup>3</sup> -km)	0,977 (km)
Distribuição Regional	60,7 km/h	610 g/km	234,5 g/t-km	6,77 g/m <sup>3</sup> -km	23,3 l/100km	0,0896 l/t-km	0,00259 l/m <sup>3</sup> -km	0,953 (km)	0,953 (t-km)	0,963 (m <sup>3</sup> -km)	0,980 (km)
Distribuição Urbana	26,2 km/h	941 g/km	361,8 g/t-km	10,41 g/m <sup>3</sup> -km	35,9 l/100km	0,138 l/t-km	0,00399 l/m <sup>3</sup> -km	0,926 (km)	0,926 (t-km)	0,936 (m <sup>3</sup> -km)	0,966 (km)

Carga útil representativa Longo Curso [kg]: 19300  
Carga útil representativa Dist. Regional e Urbana [kg]: 12900

	Velocidade média do veículo	Emissões de CO <sub>2</sub>			Consumo de combustível			Rácio de eficiência			Rácio de Referência
		g/km	g/t-km	g/m <sup>3</sup> -km	l/100km	l/t-km	l/m <sup>3</sup> -km	(km)	(t-km)	(m <sup>3</sup> -km)	
Longo Curso	78,6 km/h	788 g/km	40,8 g/t-km	8,75 g/m <sup>3</sup> -km	30,1 l/100km	0,0156 l/t-km	0,00334 l/m <sup>3</sup> -km	0,99 (km)	0,99 (t-km)	1,001 (m <sup>3</sup> -km)	1,002 (km)
Distribuição Regional	60,1 km/h	785 g/km	60,8 g/t-km	8,72 g/m <sup>3</sup> -km	30,0 l/100km	0,0232 l/t-km	0,00333 l/m <sup>3</sup> -km	0,967 (km)	0,967 (t-km)	0,977 (m <sup>3</sup> -km)	0,994 (km)
Distribuição Urbana	25,8 km/h	1342 g/km	104,1 g/t-km	14,92 g/m <sup>3</sup> -km	51,3 l/100km	0,0398 l/t-km	0,00570 l/m <sup>3</sup> -km	0,986 (km)	0,986 (t-km)	0,997 (m <sup>3</sup> -km)	0,977 (km)

Figura 100 - Resultados da simulação do veículo no "Customer's Information file"

No “Customer’s Information file” são indicadas as emissões de CO<sub>2</sub> em g/km, g/t-km e em m<sup>3</sup>-km. Já o consumo de combustível é indicado em l/100 km, l/t-km e l/m<sup>3</sup>-km. O rácio de referência é indicado baseado na distância (km), baseada no parâmetro distância/massa (t-km) e baseado em distância/volume ( m<sup>3</sup>-km). Com estes valores para três perfis de exploração diferentes e com cargas úteis diferentes, o cliente é capaz de decidir qual o semirreboque mais vantajoso, uma vez que o veículo trator é sempre o

mesmo, logo a diferença de consumos e emissões é apenas influenciado pelas características do semirreboque.

Por fim o “Customer’s Information file” termina com a indicação da versão da ferramenta utilizada, a data e hora da simulação e valores de dispersão criptográficos do ficheiro “Customer’s Information file” e “Manufacturer’s Records file”, como ilustra a Figura 101.

Informação sobre software	
Versão da ferramenta	1.0.1.3275
Data e hora da simulação	2024-07-02T11:15:32.2849693Z
Valor de dispersão criptográfico do ficheiro de registos do fabricante	GgHblvitFz8zmiKktQVAXwlocVKfmDB+dOVo6rCE6R4=
Valor de dispersão criptográfico do ficheiro de informações ao cliente	FFF8vPM1f/apQLwDDSQx+zoXqV0tX6b61B7rDIhoG8=

**Figura 101 - Informação sobre o software no "Customer's Information file"**

Assim para a homologação de um semirreboque utilizando a ferramenta VECTO Trailer é necessário apresentar este ficheiro, “Customer’s Information file” ao cliente e é necessário enviar à Comissão Europeia o ficheiro “Manufacturer’s Records file”, que contém todos os parâmetros introduzidos na ferramenta antes da simulação, assim como todos os resultados apresentados no “Customer’s Information file”. Com esta simulação concluiu-se que a utilização da ferramenta VECTO Trailer para fins de homologação de semirreboques é um processo bastante simples e direto, uma vez que apenas é necessário definir os parâmetros requeridos pela ferramenta, sendo que todos os resultados e ficheiros necessários são automaticamente determinados.

## 8.2. Otimização de um veículo através da VECTO

A ferramenta VECTO pode ser utilizada para verificar quais os impactos que certas alterações efetuadas nos veículos pesados podem ter no consumo de combustível e nas emissões de CO<sub>2</sub>. Por vezes alterações simples como a colocação de pneus de classes energéticas mais eficientes ou alterações na geometria aerodinâmica dos veículos podem ter um grande impacto na redução de consumos, e conseqüentemente na redução dos gastos anuais de certas empresas.

Assim decidiu-se simular um caso real de um camião rígido que percorre um trajeto e prever através da ferramenta VECTO qual a redução que certas alterações podem ter no consumo de combustível e emissões de CO<sub>2</sub>. Com esta análise também se verificou qual a precisão da ferramenta VECTO no cálculo do consumo, uma vez que ao simular um

camião conhecido e um percurso conhecido é possível comparar os valores obtidos da ferramenta com valores reais.

### 8.2.1. Caracterização do camião rígido

O primeiro passo a se efetuar na ferramenta VECTO é a caracterização de todas as características do camião a ser analisado. O camião rígido utilizado foi um Scania G450 de 2015, com uma configuração de eixos de 6x2, como apresentado na Figura 102. É de notar que a Figura 102 é apenas ilustrativa do modelo do camião e não representa o camião realmente utilizado.



Figura 102 - Representação do camião rígido utilizado na simulação [47]

Este camião tem um peso bruto máximo de 26 toneladas pelo que pertence ao subgrupo 9. Todas as suas características podem ser consultadas no Anexo H. Certos parâmetros do camião são facilmente conhecidos, como as dimensões dos pneus e certas características do motor e da caixa de velocidades. No entanto existem parâmetros que não são conhecidos, e que foi necessário assumir certos valores. Um desses casos é o produto do coeficiente de arrasto com a área frontal, em que se assumiu um valor de  $5,2 \text{ m}^2$ . A ferramenta VECTO apresenta certos valores já definidos para os vários subgrupos de veículos, todos baseados em valores de referência ou mais usuais. Assim admitiu-se um  $C_{dx}A$  de  $5,2 \text{ m}^2$  uma vez que é o assumido pela ferramenta VECTO num veículo do subgrupo 9. Outro parâmetro em que se recorreu à ferramenta VECTO como referência foi a distribuição da carga. Como se verificou no Capítulo 5.1.4 este parâmetro tem pouca influência no consumo de combustível, pelo que ao assumir-se o valor definido pela VECTO o seu impacto na simulação iria ser baixo. Este método também foi utilização para a caracterização do mapa de aceleração do veículo. Utilizou-se um mapa já existente disponibilizado na VECTO para um veículo do subgrupo 9.

Na caracterização do motor e da caixa de velocidades foram obtidas todas as características necessárias para a simulação, com exceção do “Motoring Torque”, necessário na definição do mapa do motor, e a eficiência do eixo e das engrenagens. No Capítulo 5.2 é referido que a ferramenta VECTO utiliza um “Motoring Torque” cerca de 14% inferior ao valor do binário positivo disponível no ponto de velocidade associado. Desta forma foi esta a percentagem utilizada para o “Motoring Torque” na definição do mapa do motor do veículo estudado. Em relação à eficiência do eixo e das engrenagens, e indo em conta com o mencionado no Capítulo 5.3.2, assumiu-se uma eficiência de 98%.

Na definição da potência consumida pelos auxiliares utilizou-se um valor de 5400W, que representa o consumo médio estabelecido no Capítulo 5.4, com todos os auxiliares a serem utilizados. O último parâmetro que foi necessário assumir foi a carga transportada pelo veículo. Como se verificou no Capítulo 5.1.1 este parâmetro tem uma grande influência no consumo de combustível, logo é importante que o valor utilizado seja muito semelhante ao real. Para um veículo do subgrupo 9, sem a utilização de reboque, a ferramenta VECTO estabelece uma carga representativa, ou seja, a carga mais usual para este tipo de veículo é 7100 kg. Para a simulação decidiu-se utilizar este valor, também com o objetivo de verificar qual a precisão dos valores definidos pela ferramenta.

Numa simulação na ferramenta VECTO é necessário estabelecer certos parâmetros de simulação, como o tempo de troca de mudança, o sistema ADAS e alguns comportamentos que simulam um condutor. Para a definição destes parâmetros optou-se por utilizar os valores predefinidos da ferramenta, os mesmos para o caso de uma simulação utilizando o “Declaration Mode”.

### **8.2.2. Caracterização do percurso realizado**

Com todos os parâmetros do camião rígido definidos passou-se para a elaboração do percurso efetuado pelo veículo. O percurso efetuado tinha uma distância de 147,4 km e começava na localidade de Troporiz, no município de Monção e terminava na localidade de Venda Nova, no município de Vila Nova de Gaia. Na Figura 103 está a representação do trajeto efetuado pelo veículo.

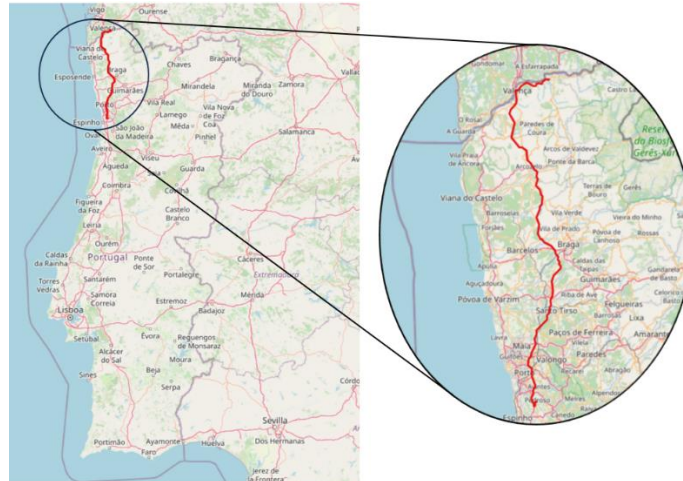


Figura 103 - Trajeto efetuado pelo veículo utilizado na simulação [48]

Durante este percurso o veículo atingiu uma velocidade máxima de 90 km/h, sendo a sua velocidade média de 64 km/h. Para percorrer os 147 km totais o veículo demorou 2 horas e 18 minutos. Para a obtenção dos dados do percurso recorreu-se a um sistema de GPS que gravava as coordenadas do percurso, a velocidade do veículo para cada ponto e a distância percorrida.

Na definição do trajeto na ferramenta VECTO optou-se por uma abordagem de *distance-based*, ou seja, é estabelecida uma distância final e é atribuída uma velocidade alvo para cada ponto do percurso. Com esta abordagem a distância a percorrer pelo veículo na simulação é exatamente igual à distância real, sendo que o tempo utilizado poderia variar. Assim o percurso é definido na VECTO através da distância percorrida, da velocidade alvo para cada ponto de distância e pelo gradiente da estrada, também em cada ponto. A distância percorrida e a velocidade do veículo foram determinadas a partir dos dados reais do GPS. Para a definição do gradiente da estrada foi necessário determinar a altitude para cada ponto de coordenadas e através da distância percorrida calcular o gradiente da estrada. Para se obter a altitude recorreu-se à aplicação Google Earth, uma vez que apresenta uma razoável precisão. [49]

Durante o trajeto a altura máxima atingida foi de 330 metros, por volta do quilómetro 39, enquanto a altura mínima foi de 8 metros, por volta do quilómetro 18. Na Figura 104 está a representação da altitude do percurso efetuado pelo veículo ao longo dos 147 km.

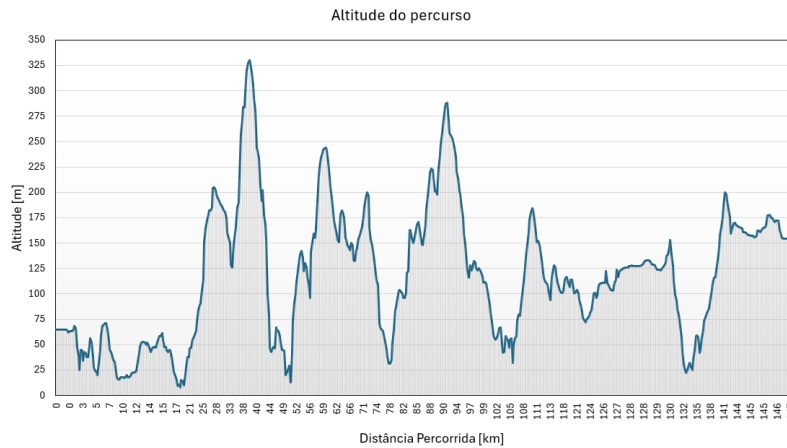


Figura 104 - Altitude do percurso utilizado na simulação

Para finalizar a definição do percurso faltava apenas indicar as paragens efetuadas pelo veículo. Estas paragens influenciam a utilização do sistema *Stop/Start* e de alguns auxiliares. As paragens foram definidas sempre que a velocidade do veículo era zero. Durante o percurso o veículo efetuou 3 paragens, sendo duas delas o início e o fim.

### 8.2.3. Validação dos resultados obtidos

Após a determinação de todas as características do camião rígido, de todos os dados necessários para a caracterização do percurso e da definição de todos os parâmetros de simulação de acordo com os valores predefinidos do “Declaration Mode” procedeu-se à simulação na ferramenta VECTO para determinar o consumo de combustível e as emissões de CO<sub>2</sub>.

Neste trajeto de 147 km com uma duração de 2 horas e 17 minutos o camião consumiu 44 litros, ou seja, uma média de 29,85 l/100km. Na simulação efetuada a distância percorrida iria sempre ser igual, mas o tempo de duração poderia variar. Na simulação realizada na ferramenta VECTO, o camião para percorrer os 147 km demorou 2 horas e 19 minutos, sendo a velocidade média de 63,19 km/h.

Em termos de consumos os valores obtidos e a sua comparação com os valores reais estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Comparação do consumo real do veículo com o consumo simulado

Consumo Real [l/100km]	Consumo Simulado [l/100km]	Diferença [l/100km]	Diferença Percentual [%]
29,85	29,1225	-0,7275	-2,43719

Como se verifica pela Tabela 7, através da simulação na ferramenta VECTO o consumo de combustível obtido foi de 29,1225 l/100km, representando uma diferença de apenas 0,7275 l/100km, ou 2,4%. Tendo em conta todas as imprecisões na criação do percurso, especialmente no gradiente da estrada, já que a obtenção da altitude pode não ser muito rigorosa, e tendo em conta todos os valores que foram assumidos, como a carga que o veículo transporta, a potência consumida pelos auxiliares, o produto do coeficiente de arrasto pela área frontal, a eficiência do eixo e das engrenagens e o valor de “Motoring Torque” podemos concluir que a ferramenta VECTO pode ser utilizada como método para determinar o consumo de combustível de um veículo pesado, uma vez que a diferença percentual obtida foi bastante reduzida. Também se pode concluir que os valores de referência e os parâmetros de simulação assumidos pela VECTO vão de encontro aos valores reais dos veículos pesados, visto que nesta simulação foram utilizados alguns valores de referência e todos os parâmetros de simulação utilizados foram os predefinidos, e mesmo assim a diferença obtida para o consumo real foi muito pequena.

Em termos de emissões de dióxido de carbono, o veículo pesado emitiu, de acordo com o simulado, 762 g/km, representando 107,3 g/tkm. Assim no percurso total as emissões de CO<sub>2</sub> são cerca de 112 kg.

#### **8.2.4. Otimização através da alteração de pneus**

Como concluído no Capítulo 8.2.3 a ferramenta VECTO pode ser utilizada para determinar o consumo de combustível de um veículo pesado ao longo de um percurso definido pelo utilizador. Desta forma pode ser utilizada para otimizar um veículo pesado, já que as alterações efetuadas na simulação irão verificar-se numa situação real. Assim pretendeu-se variar parâmetros que permitissem diminuir o consumo de combustível e consequentemente as emissões de CO<sub>2</sub>. Como o objetivo principal deste projeto é aplicar a ferramenta VECTO em veículos em Portugal decidiu-se otimizar apenas parâmetros que empresas em Portugal sejam capazes de efetuar, excluindo assim quaisquer parâmetros relacionados com produção e desenvolvimento. Um dos parâmetros facilmente alterados e como comprovado pelo Capítulo 5.1.6 diminui consideravelmente o consumo de combustível é a aposta em pneus de classes energéticas mais eficientes.

Para a simulação inicial o veículo estava equipado com pneus da classe energética C, e pretendeu-se determinar qual o impacto da colocação de pneus da classe A e B. Para a determinação dos pneus decidiu-se optar por pneus adequados a todas as estações e

específicos para o eixo direcional e de tração. Na decisão do custo dos pneus decidiu-se escolher o pneu mais barato, sempre dentro das marcas de maior referência do mercado.

O pneu para o eixo direcional de dimensões 385/55 R22,5, com um índice de velocidade K e um índice de carga 160 da classe C encontrado foi o modelo Hankook Smart Flex com um custo de 544,53€. [50] Para a classe A respeitou-se os mesmos índices de velocidade e carga e o pneu de menor custo foi o modelo Pirelli FH01, com um custo unitário de 535,19€. [51] Como o pneu da classe energética mais eficiente tinha o menor custo optou-se por não simular um pneu da classe B.

No eixo de tração era necessário um pneu com as dimensões 315/80 R22,5, com um índice de velocidade L e um índice de carga 150. O pneu utilizado da classe C foi o modelo Pirelli Itineris Drive com um custo de 512,88€. [52] O modelo da classe B avaliado foi o Continental Conti EcoPlus com um custo de 606,93€. [53] Por fim o modelo da classe A foi o Continental EfficientPro com um preço de venda de 704,19€. [54] É de notar que para o eixo de tração são necessários 6 pneus no total, uma vez que o veículo tem dois eixos traseiros, sendo um deles com utilização de pneu duplo.

Na Tabela 8 estão representados os custos dos pneus utilizados nas simulações efetuadas. A simulação inicial foi feita com pneus apenas da classe C, a simulação 1 foi realizada apenas com pneus da classe A e a simulação 2 foi realizada com pneus da classe A no eixo 1 e pneus da classe B no eixo 2 e 3.

**Tabela 8 - Custos dos pneus utilizados na simulação para a otimização do consumo de combustível**

<b>Simulação Inicial</b>	<b>Eixo 1</b>	<b>Eixo 2</b>	<b>Eixo 3</b>
Custo unitário [€]	544,53	512,88	512,88
Custo por eixo [€]	1089,06	2051,52	1025,76
Custo Total [€]	4166,34		
<b>Simulação 1</b>	<b>Eixo 1</b>	<b>Eixo 2</b>	<b>Eixo 3</b>
Custo unitário [€]	535,19	704,19	704,19
Custo por eixo [€]	1070,38	2816,76	1408,38
Custo Total [€]	5295,52		
<b>Simulação 2</b>	<b>Eixo 1</b>	<b>Eixo 2</b>	<b>Eixo 3</b>
Custo unitário [€]	535,19	606,93	512,88
Custo por eixo [€]	1070,38	2427,72	1213,86
Custo Total [€]	4711,96		

Como se verifica pela Tabela 8 a utilização de pneus de classes mais eficientes tem um maior custo na aquisição dos pneus, mas ao longo da vida útil do pneu este maior custo de aquisição pode ser compensado na poupança de combustível. Para efetuar esta análise considerou-se a vida útil dos pneus como 100000 km, como é referido em vários estudos. [55]

Para verificar se a utilização de pneus mais eficientes compensa em termos monetários foi necessário determinar qual a poupança de combustível e qual o valor dessa poupança. De acordo com a Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, ERSE, o preço médio do gasóleo no 2º semestre de 2023 foi de 1,463 €/l. [56] Na ferramenta VECTO para determinar o efeito de pneus mais eficientes alterou-se o coeficiente de resistência ao rolamento, de acordo com o valor específico para cada classe de pneus. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 9.

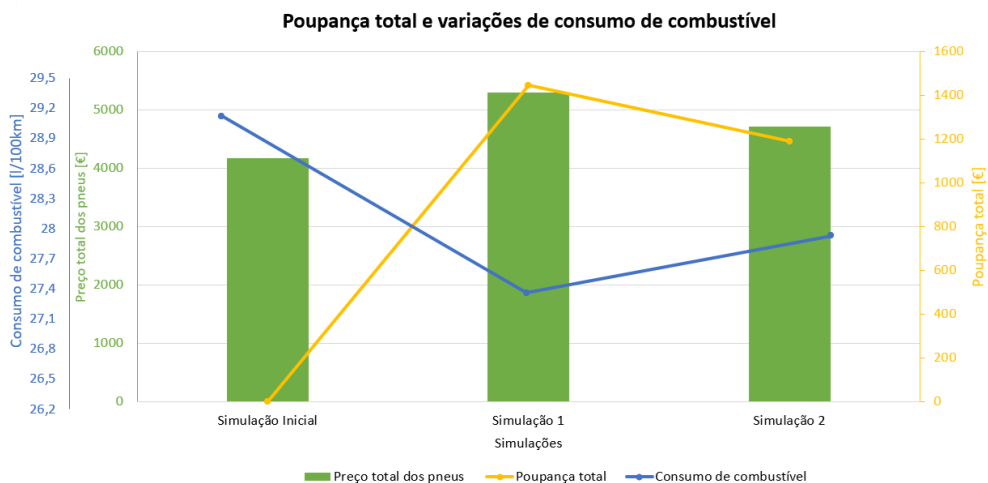
Tabela 9 - Poupança total com a introdução de pneus mais eficientes

	Simulação Inicial	Simulação 1	Simulação 2
Preço Total dos Pneus [€]	4166,34	5295,52	4711,96
Consumo de Combustível [l/100km]	29,1225	27,3629	27,9367
Poupança de Combustível [l/100km]	-	1,7596	1,1858
Poupança de Combustível [€]	-	2574,295	1734,825
Poupança Total [€]	-	1445,11	1189,21

Como se verifica pela Tabela 9 ao longo da vida útil dos pneus, se o veículo estiver equipado com pneus da classe de eficiência energética A a poupança total pode chegar aos 1445€, sendo que se estiver com pneus A e B, sendo os da classe B com um custo menor, a poupança não é tão elevada. Foi possível concluir que a partir dos 44000 km os pneus da classe A começaram a compensar o seu maior custo. Desta forma para uma frota de camiões em que os seus pneus tenham uma vida útil superior a 44000 km compensa a utilização de pneus da classe A. Em termos de consumo de combustível, pneus mais eficientes apresentam ganhos até cerca de 1,7 l/100km, sempre comparando com pneus da classe C. Como estava ilustrado na Figura 48 a classe de eficiência energética mais usual é a D, logo os ganhos ainda podem ser superiores aos apresentados neste estudo. Em termos de emissões de CO<sub>2</sub> a diminuição é de 46 g/km com a colocação de pneus da classe A, sendo 31 g/km com a colocação de pneus da classe B. Ao longo dos 100000 km

da utilização dos pneus as emissões de dióxido de carbono podem ser reduzidas em 4,6 toneladas de dióxido de carbono por veículo.

Analisando os valores da Tabela 9 num gráfico é possível verificar com maior facilidade a influência de pneus mais eficientes, como demonstra a Figura 105.



**Figura 105 - Poupança total e variação de consumo de combustível dependendo dos pneus utilizados**

Pela Figura 105 verifica-se que a colocação de pneus mais eficientes apresenta um maior custo de aquisição, mas a poupança total é consideravelmente superior quando comparado com a utilização de pneus menos eficientes. Com estes valores obtidos concluiu-se que pneus de classes de eficiência energética mais eficiente permite uma poupança considerável ao longo da sua vida útil e compensam claramente a sua aposta.

### 8.2.5. Otimização através de dispositivos aerodinâmicos

Outra alteração que pode ser facilmente aplicada em veículos em Portugal é a introdução de dispositivos aerodinâmicos. Para este estudo analisou-se a introdução de saias laterais e abas traseiras no camião rígido, uma vez que são as duas estruturas implementadas na ferramenta VECTO, mais propriamente na VECTO Trailer. Estes dispositivos reduzem o arrasto aerodinâmico o que vai diminuir o valor do produto do coeficiente de arrasto pela área frontal do veículo. Para determinar qual a redução deste valor decidiu-se utilizar o fator de redução aplicado na ferramenta VECTO Trailer. De acordo com esta ferramenta a introdução de saias laterais reduz o CdxA em 4%, as abas traseiras reduzem o CdxA em 3,9% e estes dois dispositivos em conjunto reduzem o CdxA

em 7,6%. Estes fatores de redução são utilizados para semirreboques, mas neste estudo decidiu-se assumir que para um camião rígido os fatores mantêm-se, já que para determinar o seu contributo real seria necessário efetuar simulações CFD ou testes experimentais. No entanto a introdução de dispositivos aerodinâmicos não apresenta só vantagens, uma vez que necessitam de um custo para a sua obtenção e adicionam peso à estrutura do camião rígido. Na Tabela 10 estão apresentados os valores para o CdxA do veículo com os vários dispositivos, o seu custo e a massa adicional que cada dispositivo acrescenta ao veículo.

**Tabela 10 - Valores de CdxA, peso adicional e custo de dispositivos aerodinâmicos para otimização do consumo de combustível**

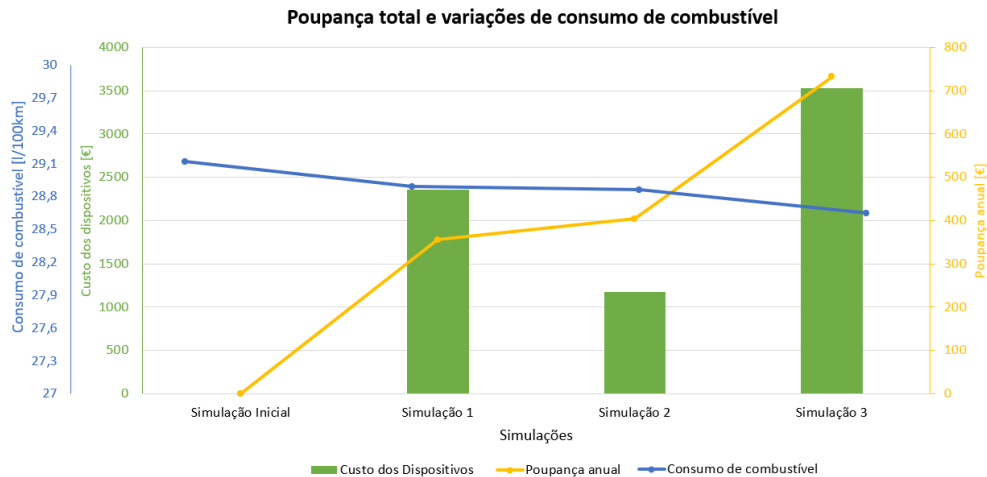
	Simulação Inicial	Simulação com saia lateral	Simulação com aba traseira	Simulação com saia lateral e aba traseira
CdxA [m <sup>2</sup> ]	5,2	4,992	4,9972	4,8048
Peso adicional [kg]	-	75	25	100
Custo [€]	-	2356	1175,56	3531,56

Para a saia lateral o modelo escolhido foi o modelo KudaUK EC 500 com um peso de 75 kg e com um custo de 2356€. [57] Para a aba traseira o modelo escolhido foi o Maxim TopKit com um peso de 25 kg e com um custo de 1175,56€. [58] Para determinar a fiabilidade destes dispositivos recorreu-se à quilometragem anual do veículo. De acordo com a ferramenta VECTO, e para questões de homologação, a quilometragem anual de um veículo do subgrupo 9 são 108000 km. Assim com este valor e com o preço médio do gasóleo a 1,463 €/l determinou-se a poupança que estes dispositivos oferecem, Tabela 11.

**Tabela 11 - Poupança total com a introdução de dispositivos aerodinâmicos**

	Simulação Inicial	Simulação com saia lateral	Simulação com aba traseira	Simulação com saia lateral e aba traseira
Custo [€]	-	2356	1175,56	3531,56
Consumo de Combustível [l/100km]	29,1225	28,8968	28,8663	28,6591
Poupança de Combustível [l/100km]	-	0,2257	0,2562	0,4634
Poupança Anual [€]	-	356,62	404,81	732,19
Ponto de Equilíbrio [km]	-	713508,9	313632,7	520914,2

Ao analisar a Tabela 11 conclui-se que as introduções destes dispositivos aerodinâmicos não apresentam uma vantagem muito significativa na diminuição do custo de utilização do veículo pesado. A configuração mais vantajosa é a introdução da aba traseira que permite a obtenção de ganhos a partir dos 313633 km, representado pelo ponto de equilíbrio. Assim a obtenção de lucro é feita apenas após 2 anos e 11 meses. Ao colocar os dados apresentados na Tabela 11 num gráfico é possível identificar com maior clareza as diferenças entre a utilização dos vários dispositivos aerodinâmicos, Figura 106.



**Figura 106 - Poupança total e variação de consumo de combustível dependendo dos dispositivos aerodinâmicos**

Pela Figura 106 é possível verificar que a simulação com aba traseira e saia lateral, representado pela Simulação 3, tem um maior custo de aquisição, mas a poupança anual de combustível é maior. No entanto a simulação mais vantajosa é a simulação 2, simulação realizada com apenas uma aba traseira, uma vez que o custo de aquisição é muito inferior quando comparado com as restantes simulações.

Ao analisar estes dispositivos aerodinâmicos conclui-se que enquanto os pesos destes dispositivos não reduzir, as vantagens irão ser sempre pouco significativas. Ao colocar abas traseiras e saias laterais e aumentar a massa da caixa em 100 kg reduz de forma significativa o efeito que a diminuição do  $C_{dx}$  tem na diminuição do consumo de combustível. Desta forma para a introdução de componentes aerodinâmicos compensar na redução dos custos das empresas é imperativo que a sua massa diminua e que o seu efeito na redução do coeficiente de arrasto seja superior, exigindo-se assim simulações CFD e testes experimentais no desenvolvimento de todos os componentes.

# 9

## Conclusão

Este projeto tinha como principal objetivo implementar a ferramenta VECTO em veículos em Portugal, e assim entender todo o funcionamento desta ferramenta e para que casos poderia ser utilizada.

Numa fase inicial abordou-se toda a legislação referente à ferramenta e concluiu-se que a aposta em veículos de nível nulo ou baixo de emissões será particularmente importante a partir do ano de 2024 devido à monitorização das emissões de dióxido de carbono feita pela Comissão Europeia em veículos pesados novos, e ao pagamento de coimas se a redução das emissões das frotas dos fabricantes não cumprir com os requisitos.

Ao analisar-se a estrutura de simulação e a influência em termos de consumo de combustível e emissões de CO<sub>2</sub> dos parâmetros necessários de definir na VECTO para efetuar a simulação de um veículo pesado concluiu-se que parâmetros como a carga útil transportada pelo veículo, o produto do coeficiente de arrasto pela área frontal do veículo, a resistência ao rolamento, a eficiência das engrenagens e do eixo e a potência consumida pelos auxiliares têm uma grande influência no consumo de combustível e emissões de CO<sub>2</sub>. Já parâmetros como a distribuição da carga, utilização de pneus duplos e a utilização de tecnologias do sistema ADAS têm pouca influência no consumo de combustível.

Devido ao tema principal deste projeto ser a implementação da ferramenta em veículos em Portugal decidiu-se analisar a ferramenta VECTO Trailer, utilizada para o cálculo da influência do reboque no consumo de combustível e emissões de CO<sub>2</sub> de um veículo pesado. Através de uma observação rápida desta ferramenta foi possível concluir que a sua utilização permite uma fácil e simples comparação de reboques, uma vez que o veículo

trator é sempre o mesmo, logo um maior consumo de combustível apresentado irá ser sempre devido à influência do reboque. Assim um cliente é capaz de tomar uma decisão mais consciente e optar pelo reboque que menos influência tem no consumo de combustível e emissões de CO<sub>2</sub>, fazendo com que os fabricantes apostem cada vez mais em reboques eficientes.

De forma a implementar a ferramenta VECTO em veículos em Portugal analisaram-se ainda dois casos reais e utilizou-se a ferramenta VECTO Trailer para simular a homologação de um semirreboque e utilizou-se a ferramenta VECTO para simular o consumo de um camião rígido conhecido num percurso conhecido e desse modo validar a utilização da ferramenta e avaliar a sua precisão. No primeiro caso concluiu-se que a utilização da ferramenta VECTO Trailer para a homologação de reboques é um processo simples e fácil de ser realizado, uma vez que apenas é necessário definir os parâmetros requeridos pela ferramenta, sendo que todos os resultados e ficheiros necessários de apresentar ao cliente e à Comissão Europeia são automaticamente determinados. Em relação ao segundo caso, comparando o consumo real do veículo com o consumo obtido na simulação obteve-se uma diferença de apenas 0,7275 l/100km, ou 2,4%. Concluiu-se que a ferramenta VECTO pode ser utilizada como método para determinar o consumo de combustível de um veículo pesado, uma vez que a diferença percentual obtida foi bastante reduzida, tendo ainda em conta que foram assumidos vários parâmetros do veículo e do percurso, uma vez que não se conseguiu determiná-los com maior rigor. Certos parâmetros assumidos foram de encontro com os valores de referência da ferramenta, logo também se pode afirmar que os valores de referência e os parâmetros de simulação assumidos pela VECTO estão definidos de modo muito realista face aos valores dos veículos pesados. Para complementar o estudo da implementação da ferramenta VECTO em veículos em Portugal decidiu-se otimizar o camião rígido com a implementação de pneus mais eficientes e com dispositivos aerodinâmicos. Com estas duas simulações concluiu-se que a utilização de pneus da classe de eficiência energética A permite uma poupança de cerca de 1445€ ao longo da sua vida útil, compensando ao fim de 44000 km. A diminuição do consumo de combustível associada com a utilização de pneus mais eficientes permite que as reduções de CO<sub>2</sub> possam atingir 4,6 toneladas por ano por veículo, reduzindo significativamente as emissões das frotas e diminuindo a possibilidade de coimas pelo não cumprimento da legislação. Em relação aos dispositivos aerodinâmicos verificou-se que estes apenas permitem a obtenção de vantagem económica a partir dos 310000 km, representando um tempo de amortização do investimento de 2 anos e 11 meses. Deste modo é possível concluir que na fase atual a introdução destes componentes ainda não

apresenta vantagens significativas e que é necessário que o peso destes componentes reduza e que o seu efeito na redução do coeficiente de arrasto seja incrementado.

De forma a dar continuidade a este projeto recomenda-se como trabalhos futuros uma validação dos resultados obtidos para a otimização do camião rígido com pneus mais eficientes e com dispositivos aerodinâmicos, de forma a comprovar a diminuição do consumo de combustível e dos ganhos financeiros. Também se sugere uma otimização do veículo mais relacionada com a fase de projeto, como reduções de peso ou maiores eficiências de certos componentes, como é o caso de caixas de velocidades e engrenagens.

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

# Referências Bibliográficas

- [1] Agência portuguesa do ambiente. (2020). *Acordo de Paris 2015-2020*. Obtido em novembro de 2023, de <https://www.portugal.gov.pt/download-ficheiros/ficheiro.aspx?v=%3D%3DBQAAAB%2BLCAAAAAAABAAzNLA0tgQAra2cKgUAAAA%3D>
- [2] Ruiz, A. (2023). *45 Carbon Dioxide, Greenhouse Gas & Climate Change Statistics*. Obtido em novembro de 2023, de The Roundup: <https://theroundup.org/co2-greenhouse-gas-emission-statistics/>
- [3] Comissão Europeia. (2017). *Regulamento 2017/2400 da Comissão*. Obtido em novembro de 2023, de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32017R2400>
- [4] Agência portuguesa do ambiente. (2023). *Inventário Nacional de Emissões 2023*. Obtido em novembro de 2023, de [https://apambiente.pt/sites/default/files/\\_Clima/Inventarios/20230421/20230315MemoEmissoes2023.pdf](https://apambiente.pt/sites/default/files/_Clima/Inventarios/20230421/20230315MemoEmissoes2023.pdf)
- [5] Comissão Europeia. (2023). *European Green Deal*. Obtido em janeiro de 2024, de European Council: <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/>
- [6] Comissão Europeia. (2019). *Regulamento 2019/1242 do Parlamento Europeu*. Obtido em novembro de 2023, de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R1242&from=EN>
- [7] Instituto da Mobilidade e dos Transportes. (2024). *Homologação de Veículos*. Obtido em janeiro de 2024, de IMT-IP: <https://www.imt-ip.pt/sites/IMTT/Portugues/Veiculos/Aprovacoes/HomologacoesVeiculos/Paginas/HomologacaoVeiculos.aspx>
- [8] Comissão Europeia. (2018). *Regulamento 2018/956 do Parlamento Europeu*. Obtido em dezembro de 2023, de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/HTML/?uri=CELEX:32018R0956>
- [9] Grigoratos, T. (2020). *Development of Heavy Duty Vehicles CO2 certification for Heavy Buses and Medium Lorries*. Obtido em dezembro de 2023, de <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/575772ba-40e1-11eb-b27b-01aa75ed71a1>
- [10] Comissão Europeia. (2023). *Modelling Inventory and Knowledge Management System of the European Commission (MIDAS)*. Obtido em janeiro de 2024, de Joint Research Center: <https://web.jrc.ec.europa.eu/policy-model-inventory/explore/models/model-vecto/>

- [11] Fontaras, G. (2018). *Analysis of VECTO data for Heavy-Duty Vehicles (HDV) CO2 emission targets*. Obtido em janeiro de 2024
- [12] Franco, V. (2015). *Heavy-Duty Vehicle Fuel-Efficiency Simulation: A Comparison of US and EU Tools*. Obtido em janeiro de 2024
- [13] Comissão Europeia. (2023). *Vehicle Energy Consumption calculation Tool - VECTO*. Obtido em novembro de 2023, de European Commission: [https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport/road-transport-reducing-co2-emissions-vehicles/vehicle-energy-consumption-calculation-tool-vecto\\_en](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport/road-transport-reducing-co2-emissions-vehicles/vehicle-energy-consumption-calculation-tool-vecto_en)
- [14] Holmberg, J. (2018). *Heavy duty vehicle simulation tool for the calculation of fuel consumption and development of a new VECTO gearshift algorithm*. Obtido em janeiro de 2024, de <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1218050/FULLTEXT01.pdf>
- [15] Comissão Europeia. (2023). *VECTO User Manual*. Obtido em novembro de 2023, de VECTO.
- [16] Koppen, S. (2009). *ISO 28580*. Obtido em janeiro de 2024, de <https://unece.org/DAM/trans/doc/2009/wp29grrf/STD-01-05e.pdf>
- [17] Diesel Net. (2021). *World Harmonized Vehicle Cycle (WHVC)*. Obtido em janeiro de 2024, de Diesel Net: <https://dieselnet.com/standards/cycles/whvc.php>
- [18] Ligterink, N. (2018). *Elemental carbon emission factors of vehicles for Dutch air-quality assessments*. Obtido em janeiro de 2024, de [https://www.researchgate.net/figure/The-WHTC-engine-test-for-Euro-VI-legislation-with-the-normalized-speed-and-load-of-the\\_fig2\\_332253363](https://www.researchgate.net/figure/The-WHTC-engine-test-for-Euro-VI-legislation-with-the-normalized-speed-and-load-of-the_fig2_332253363)
- [19] Rexeis, M. (2017). *VECTO tool development: Completion of methodology to simulate Heavy Duty Vehicles fuel consumption and CO2 emissions*. Obtido em janeiro de 2024, de [https://climate.ec.europa.eu/system/files/2017-12/sr7\\_lot4\\_final\\_report\\_en.pdf](https://climate.ec.europa.eu/system/files/2017-12/sr7_lot4_final_report_en.pdf)
- [20] Joint Research Centre. (2018). *VECTO - Overview*. Obtido em janeiro de 2024, de [https://climate.ec.europa.eu/system/files/2018-12/201811\\_overview\\_en.pdf](https://climate.ec.europa.eu/system/files/2018-12/201811_overview_en.pdf)
- [21] Carglass. (2023). *Advanced Driver Assistance Systems - Conduzir nunca foi tão seguro*. Obtido em janeiro de 2024, de Carglass: <https://www.carglass.pt/pt/blog/tecnologia-automovel/o-que-e-advanced-driver-assistance-systems/>
- [22] Rodríguez, F. (2018). *Fuel Consumption Simulation of HDVs in the EU: Comparisons and Limitations*. Obtido em janeiro de 2024, de [https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/VECTO\\_Simulation\\_Comparison\\_final\\_20180308.pdf](https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/VECTO_Simulation_Comparison_final_20180308.pdf)

- [23] Joint Research Centre. (2018). *VECTO Simulation Tool*. Obtido em janeiro de 2024, de [https://climate.ec.europa.eu/system/files/2018-12/201811\\_simulation\\_tool\\_en.pdf](https://climate.ec.europa.eu/system/files/2018-12/201811_simulation_tool_en.pdf)
- [24] Diário da República. (2023). *Decreto-Lei n.º 132/2017 com as alterações introduzidas por Decreto-Lei n.º 59/2023*. Obtido em fevereiro de 2024, de <https://diariodarepublica.pt/dr/legislacao-consolidada/decreto-lei/2017-108284899>
- [25] Mao, S. (2021). *The Evolution of Commercial Vehicles in China: A Retrospective Evaluation of Fuel Consumption Standards and Recommendations for the Future*. Obtido em fevereiro de 2024, de <https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/Commercial-vehicles-china-evolution-mar2021.pdf>
- [26] Girão, M. P. (2017). *O Uso da Simulação de Veículos Pesados na Definição de Fatores de Agressividade*. Obtido em fevereiro de 2024, de <https://estudogeral.uc.pt/bitstream/10316/83302/1/O%20uso%20da%20simula%C3%A7ao%20de%20veiculos%20pesados%20na%20defini%C3%A7ao%20de%20fatores%20de%20agressividade.pdf>
- [27] Adra, N. (2010). *Analysis of the load factor and the empty running rate for road transport. Artemis - assessment and reliability of transport emission models and inventory systems*. Obtido em fevereiro de 2024, de <https://hal.science/hal-00546125/document>
- [28] Hucho, W.-H. (1987). *Aerodynamics of Road Vehicles*. Obtido em janeiro de 2024, de <https://dokumen.tips/engineering/automotive-aerodynamics-book-wolf-heinrich-hucho.html?page=1>
- [29] Comissão Europeia. (1996). *Diretiva 96/53/CE do Conselho*. Obtido em janeiro de 2024, de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:01996L0053-20190814>
- [30] tirebuyer. (2023). *How Wheel Weight Impacts your Vehicle*. Obtido em março de 2024, de tirebuyer: <https://www.tirebuyer.com/education/impact-of-wheel-weight>
- [31] Comissão Europeia. (2020). *Regulamento 2020/740 do Parlamento Europeu*. Obtido em fevereiro de 2024, de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020R0740&qid=1707310999555>
- [32] Comissão Europeia. (2023). *EPREL - Pneus*. Obtido em fevereiro de 2024, de EPREL - Registo Europeu de Produtos para a Etiquetagem Energética: <https://eprel.ec.europa.eu/screen/product/tyres>
- [33] Comissão Económica das Nações Unidas. (2010). *Regulamento n.º 49 da Comissão Económica das Nações Unidas*. Obtido em fevereiro de 2024, de [https://www.apvgn.pt/files/regulamento\\_49\\_alteracao.pdf](https://www.apvgn.pt/files/regulamento_49_alteracao.pdf)
- [34] Lycke, J. (2013). *Simulation and Control of Auxiliary Devices in Heavy-Duty Vehicles*. Obtido em fevereiro de 2024, de <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:641152/FULLTEXT01.pdf>

- [35] Maurya, B. (2016). *Acceleration-Deceleration Behaviour of Various Vehicle Types*. Obtido em fevereiro de 2024, de [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146517307937?fr=RR-2&ref=pdf\\_download&rr=8515a722ca863392](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146517307937?fr=RR-2&ref=pdf_download&rr=8515a722ca863392)
- [36] Comissão Europeia. (2022). *Regulamento 2022/1362 do Parlamento Europeu*. Obtido em maio de 2024, de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32022R1362>
- [37] Comissão Europeia. (2024). *VECTO Trailer*. Obtido em abril de 2024, de European Commission: <https://code.europa.eu/groups/vecto/-/wikis/vecto-trailer#releases>
- [38] Comissão Europeia. (2018). *Regulamento 2018/858 do Parlamento Europeu*. Obtido em maio de 2024, de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018R0858>
- [39] Gascón-Vallbona, A. (2022). *Support Preparation of Legislation on Trailers Certification*. Obtido em maio de 2024, de [https://climate.ec.europa.eu/document/download/e9e49183-5acf-4dd4-a235-d17bea14d309\\_en?filename=policy\\_transport\\_road\\_co2\\_energy\\_efficiency\\_2\\_en.pdf](https://climate.ec.europa.eu/document/download/e9e49183-5acf-4dd4-a235-d17bea14d309_en?filename=policy_transport_road_co2_energy_efficiency_2_en.pdf)
- [40] Rodríguez, F. (2018). *Trailer CO2 Certification in the European Union*. Obtido em maio de 2024, de [https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/Trailer\\_CO2\\_certification\\_20180921.pdf](https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/Trailer_CO2_certification_20180921.pdf)
- [41] Comissão Europeia. (2023). *VECTO Trailer User Manual*. Obtido em abril de 2024, de VECTO Trailer.
- [42] Lumsden, K. (2010). *Truck Masses And Dimensions - Impact on Transport Efficiency*. Obtido em maio de 2024, de [https://www.acea.auto/uploads/publications/SAG\\_8\\_Trucks\\_Masses\\_Dimensions.pdf](https://www.acea.auto/uploads/publications/SAG_8_Trucks_Masses_Dimensions.pdf)
- [43] Rangel. (2024). *Tipologia de Camiões*. Obtido em maio de 2024, de Rangel Logistics Solutions: <https://www.rangel.com/pt/fohub/tipologia-de-camioes/>
- [44] Sharpe, B. (2018). *Market Analysis of Heavy-Duty Commercial Trailers in Europe*. Obtido em maio de 2024, de [https://theicct.org/sites/default/files/publications/EU\\_Trailer\\_Market\\_20180921.pdf](https://theicct.org/sites/default/files/publications/EU_Trailer_Market_20180921.pdf)
- [45] Pneus Online. (2024). *Índices de carga e de velocidade Auto*. Obtido em maio de 2024, de Pneus Online: <https://www.pneus-online.pt/indices-de-carga-e-de-velocidade-conselhos.html>
- [46] VZ Trailer. (2024). *VZ Trailer*. Obtido em Julho de 2024, de VZ Trailer: <https://vztrailer.com/>
- [47] Autoline. (junho de 2024). *Autoline Linemedia*. Obtido em junho de 2024, de Autoline: <https://autoline.pt/-/venda/camies-isotermicos/Scania/G-450--24041715402267905100>

- [48] GPS Visualizer. (2023). *GPS Visualizer: Do-It-Yourself Mapping*. Obtido em junho de 2024, de GPS Visualizer: <https://www.gpsvisualizer.com/>
- [49] Google Earth. (2024). *Google Earth*. Obtido em junho de 2024, de Google Earth: <https://earth.google.com/web/@0,0,0a,22251752.77375655d,35y,0h,0t,0r>
- [50] Autodoc. (2024). *Hankook Smart Flex AH31 385/55 R22.5 160K*. Obtido em junho de 2024, de Autodoc: <https://www.auto-doc.pt/pneus/hankook-8808563382173-3002486>
- [51] Autodoc. (2024). *Pirelli FH01 ProFuel 385/55 R22.5 160K*. Obtido em junho de 2024, de Autodoc: <https://www.auto-doc.pt/pneus/pirelli-8019227366013-3660100>
- [52] Autodoc. (2024). *Pirelli Itineris Drive 90 315/70 R22.5 154/150L*. Obtido em junho de 2024, de Autodoc: <https://www.auto-doc.pt/pneus/pirelli-8019227322040-3220400>
- [53] Autodoc. (2024). *Continental Conti EcoPlus HD3 315/70 R22.5 154/150L*. Obtido em junho de 2024, de Autodoc: <https://www.auto-doc.pt/pneus/continental-4019238645743-0521084>
- [54] Autodoc. (2024). *Continental EfficientPro D 315/70 R22.5 154/150L*. Obtido em junho de 2024, de Autodoc: <https://www.auto-doc.pt/pneus/continental-4019238820133-0521137>
- [55] Viegand Maagøe A/S. (2016). *Review study on the Regulation (EC) No 1222/2009 on the labelling of tyres*. Obtido em junho de 2024, de [https://www.etrma.org/wp-content/uploads/2019/09/201603-study-in-support-of-the-review-of-the-tyre-labelling-regulation\\_final.pdf](https://www.etrma.org/wp-content/uploads/2019/09/201603-study-in-support-of-the-review-of-the-tyre-labelling-regulation_final.pdf)
- [56] Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos. (2023). *Preços médios praticados na UE-27*. Obtido em junho de 2024, de <https://www.erse.pt/media/p0wjysue/2-t2023-boletim-pre%C3%A7os-ue-27.pdf>
- [57] Kuda UK Automotive. (2024). *Side Skirt. Side Panel Kit. EC. 500. Up to 6.2m Long Box*. Obtido em junho de 2024, de Kuda UK Automotive: <https://www.kudauk.ltd.uk/product/side-skirt-side-panel-kit-ec-500-up-to-62m-long-box>
- [58] Maxim Truck & Trailer. (2024). *Smart Truck Systems - TOPKIT - Top and side fairings*. Obtido em junho de 2024, de Maxim Truck & Trailer: <https://www.maximinc.com/part-173682-top-and-side-fairings-topkit>

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

# Anexos

**Anexo A** – Equações utilizadas para o cálculo da percentagem de veículos pesados novos de um fabricante, o fator de ponderação da quilometragem e da carga útil e as emissões de referência de CO<sub>2</sub>.

**Anexo B** – Equações utilizadas para o cálculo do fator com nível nulo ou baixo de emissões e as emissões específicas médias de CO<sub>2</sub>.

**Anexo C** – Equações utilizadas para o cálculo do  $R - ET_Y$  e para o cálculo dos débitos e créditos de emissões.

**Anexo D** – Equação que define a dependência do ângulo de direção com o produto do coeficiente de arrasto pela área

**Anexo E** – Camião Rígido pré-definido na ferramenta VECTO utilizado para o estudo da influência dos parâmetros.

**Anexo F** – Semirreboque pré-definido na ferramenta VECTO utilizado para o estudo da influência dos parâmetros.

**Anexo G** – Semirreboque pré-definido na ferramenta VECTO Trailer utilizado para o estudo da influência dos parâmetros.

**Anexo H** – Camião Rígido utilizado na ferramenta VECTO para o estudo da otimização de componentes.

## Anexo A

A percentagem de veículos pesados novos de um fabricante,  $share_{sg}$  é calculada tendo em conta o número de veículos pesados novos do fabricante no subgrupo,  $v_{sg}$ , e o número de veículos pesados novos do fabricante,  $V$ , como representa a Equação A1.

$$share_{sg} = \frac{v_{sg}}{V} \quad (A1)$$

O fator de ponderação da quilometragem e da carga útil,  $MPW_{sg}$ , é obtido através da Equação A2.

$$MPW_{sg} = \frac{(AM_{sg} \times PL_{sg})}{(AM_{5-LH} \times PL_{5-LH})} \quad (A2)$$

Em que  $AM_{sg}$  é a quilometragem anual para os veículos pesados de cada subgrupo e o seu valor está especificado na Tabela A1. A parcela  $AM_{5-LH}$  corresponde à quilometragem anual para o subgrupo de veículos 5-LH.

Tabela A12 - Quilometragem anual dos veículos pesados para cada subgrupo

Subgrupo de veículos sg	Quilometragem anual $AM_{sg}$ (km)
4-UD	60000
4-RD	78000
4-LH	98000
5-RD	78000
5-LH	116000
9-RD	73000
9-LH	108000
10-RD	68000
10-LH	107000

O valor da carga útil média,  $PL_{sg}$ , é obtido através da Equação A3.  $PL_{5-LH}$  corresponde ao valor da carga útil do subgrupo de veículos 5-LH, também calculado através da Equação A3.

$$PL_{sg} = \sum_{mp} W_{sg,mp} \times PL_{sg,mp} \quad (A3)$$

Em que  $\sum mp$  é o somatório de todos os perfis de exploração,  $W_{sg,mp}$  é o peso do perfil de exploração e  $PL_{sg,mp}$  é o valor de carga útil atribuído aos veículos do subgrupo dependendo do perfil de exploração.

Para cada subgrupo de veículos é definido o peso do perfil de exploração que tem em conta o tipo de perfil de exploração e a carga útil transportada pelo veículo. Existem dois tipos de carga útil. A carga útil reduzida e a carga útil representativa. Na Tabela A2 estão representados os valores em toneladas para a carga útil do veículo,  $PL_{sg,mp}$ , dependendo do subgrupo e do perfil de exploração.

Tabela A13 - Valores em toneladas para a carga útil do veículo, dependendo do subgrupo e do perfil de exploração

Subgrupo de veículos	Perfil de exploração									
	RDL	RDR	LHL	LHR	UDL	UDR	REL	RER	LEL	LER
4-UD	0,9	4,4	1,9	14	0,9	4,4	3,5	17,5	3,5	26,5
4-RD										
4-LH										
5-RD	2,6	12,9	2,6	19,3	2,6	12,9	3,5	17,5	3,5	26,5
5-LH										
9-RD	1,4	7,1	2,6	19,3	1,4	7,1	3,5	17,5	3,5	26,5
9-LH										
10-RD	2,6	12,9	2,6	19,3	2,6	12,9	3,5	17,5	3,5	26,5
10-LH										

O peso do perfil de exploração depende do tipo de perfil de exploração e da carga útil. Os valores do peso do perfil de exploração podem ser consultados na Tabela A3.

Tabela A14 - Peso do perfil de exploração dependendo do subgrupo do veículo

Subgrupo de veículos	Perfil de exploração						
	RDL	RDR	LHL	LHR	UDL	UDR	REL, RER, LEL, LER
4-UD	0	0	0	0	0,5	0,5	0
4-RD	0,45	0,45	0,05	0,05	0	0	0
4-LH	0,05	0,05	0,45	0,45	0	0	0
5-RD	0,27	0,63	0,03	0,07	0	0	0
5-LH	0,03	0,07	0,27	0,63	0	0	0
9-RD	0,27	0,63	0,03	0,07	0	0	0
9-LH	0,03	0,07	0,27	0,63	0	0	0
10-RD	0,27	0,63	0,03	0,07	0	0	0
10-LH	0,03	0,07	0,27	0,63	0	0	0

Para determinar o objetivo específico de emissões de CO<sub>2</sub> por fabricante utilizando a Equação A4.

$$T = \sum_{sg} share_{sg} \times MPW_{sg} \times (1 - rf) \times rCO2_{sg} \quad (A4)$$

Basta apenas definir o valor das emissões de referência de CO<sub>2</sub>,  $rCO2_{sg}$ . Este valor pode ser definido através da Equação A5.

$$rCO2_{sg} = \frac{\sum v(CO2_v/PL)_{sg}}{rV_{sg}} \quad (A5)$$

Em que  $\sum v$  é o somatório dos veículos pesados novos matriculados no período de referência,  $CO2_v$  representa as emissões específicas de CO<sub>2</sub> do veículo pesado novo,  $PL_{sg}$  representa a carga útil média e  $rV_{sg}$  é o número de todos os veículos pesados novos matriculados no período de referência.

As emissões específicas de CO<sub>2</sub> de um veículo pesado novo em g/km podem ser calculadas utilizando a Equação A6.

$$CO2_v = \sum_{mp} W_{sg,mp} \times CO2_{v,mp} \quad (A6)$$

Em que  $\sum mp$  é o somatório de todos os perfis de exploração,  $W_{sg,mp}$  é o peso do perfil de exploração e  $CO2_{v,mp}$  são as emissões de CO<sub>2</sub> em g/km de um veículo pesado novo calculadas através da ferramenta de simulação.

## Anexo B

O fator com nível nulo ou baixo de emissões,  $ZLEV$ , tem em conta o número e as emissões de CO<sub>2</sub> dos veículos pesados novos com nível nulo ou baixo de emissões. Este fator está dividido em duas fases. A primeira fase corresponde ao período de referência de 2019 a 2024. Para este período o  $ZLEV$  é calculado através da Equação B1, sendo que o valor mínimo é de 0,97.

$$ZLEV = V / (V_{conv} + V_{zlev}) \quad (B1)$$

O número de veículos pesados novos do fabricante corresponde a  $V$ ,  $V_{conv}$  é o número de veículos pesados novos, excluindo os veículos pesados com nível nulo ou baixo de emissões.  $V_{zlev}$  corresponde à soma de  $V_{in}$  com  $V_{out}$ . Em que  $V_{in}$  é calculada a partir da Equação B2.  $V_{out}$  corresponde ao número total de veículos pesados matriculados pela primeira vez com nível nulo de emissões.

$$V_{in} = \sum_v \left( 1 + (1 - CO2_v / LET_{sg}) \right) \quad (B2)$$

Em que  $\sum_v$  é o somatório de todos os veículos pesados novos com nível nulo ou baixo de emissões,  $CO2_v$  corresponde às emissões específicas de CO<sub>2</sub> e  $LET_{sg}$  é o limiar do nível baixo de emissões do subgrupo de veículos e é calculado utilizando a Equação B3.

$$LET_{sg} = (rCO2_{sg} \times PL_{sg}) / 2 \quad (B3)$$

Em que  $rCO2_{sg}$  corresponde ao valor das emissões de referência de CO<sub>2</sub> do subgrupo de veículos e  $PL_{sg}$  representa a carga útil média do subgrupo de veículos.

A segunda fase corresponde ao período de referência a partir de 2025. Para este período o  $ZLEV$  é calculado através da Equação B4, sendo que se o valor de  $ZLEV$  for maior que 1 ou inferior a 0,97, o valor de  $ZLEV$  é fixado em 1 ou em 0,97, consoante o caso.

$$ZLEV = 1 - (y - x) \quad (B4)$$

Em que  $x$  tem o valor de 0,02 e  $y$  é a soma de  $V_{in}$  e  $V_{out}$  a dividir por  $V_{total}$ .  $V_{in}$  é o número total de veículos pesados com nível nulo ou baixo de emissões matriculados pela primeira vez, sendo que cada um é contabilizado como  $ZLEV_{specific}$  de acordo com a

Equação B5.  $V_{out}$  corresponde ao número total de veículos pesados com nível nulo de emissões matriculados pela primeira vez com um máximo de 0,035 de  $V_{total}$ .

$$ZLEV_{specific} = 1 - (CO2_v/LET_{sg}) \quad (B5)$$

O  $V_{total}$  representa o número total de veículos pesados do fabricante, matriculados pela primeira vez nesse período de referência. Se  $V_{in}/V_{total}$  for inferior a 0,0075, o fator  $ZLEV$  é fixado em 1.

$avgCO2_{sg}$  representa as emissões específicas médias de  $CO_2$  e é calculado a partir da Equação B6.

$$avgCO2_{sg} = \frac{\sum_v CO2_v}{V_{sg} \times PL_{sg}} \quad (B6)$$

Em que  $\sum_v$  é o somatório de todos os veículos pesados novos do fabricante no subgrupo de veículos,  $CO2_v$  são as emissões específicas de  $CO_2$  do veículo pesado novo,  $V_{sg}$  corresponde ao número de veículos pesados novos do fabricante no subgrupo de veículos e  $PL_{sg}$  é a carga útil média dos veículos do subgrupo de veículos.

## Anexo C

No período de referência entre 2019 e 2025,  $R - ET_Y$  é obtido através da Equação C1.

$$R - ET_Y = (1 - rf_{2025}) + rf_{2025} \times (2025 - Y)/6 \quad (C1)$$

No período de referência entre 2026 e 2030,  $R - ET_y$  é obtido através da Equação C2.

$$R - ET_Y = (1 - rf_{2030}) + (rf_{2030} - rf_{2025}) \times (2030 - Y)/5 \quad (C2)$$

Em que  $Y$  corresponde ao ano de referência e  $rf_{2025}$  e  $rf_{2030}$  correspondem aos objetivos de redução de emissões de  $CO_2$  em percentagem aplicáveis aos anos de 2025 e 2030 respetivamente.

Se as emissões específicas médias de  $CO_2$  forem inferiores à trajetória, o fabricante acumula crédito de emissões, e este crédito é calculado através da Equação C3.

$$cCO_{2Y} = (ET_Y - CO_{2Y}) \times V_y \quad (C3)$$

Se as emissões específicas médias de  $CO_2$  forem superiores à trajetória, para os anos de 2015 a 2029, o fabricante acumula débito de emissões, e este débito é calculado através da Equação C4.

$$dCO_{2Y} = (CO_{2Y} - T_Y) \times V_y \quad (C4)$$

Em que  $ET_Y$  corresponde à trajetória de redução de emissões de  $CO_2$  do fabricante,  $CO_{2Y}$  são as emissões específicas médias de  $CO_2$  do fabricante,  $V_y$  corresponde ao número de veículos pesados novos do fabricante e  $T_Y$  é o objetivo de emissões de  $CO_2$  do fabricante.

O limite do débito de emissões é calculado através da Equação C5. Este limite tem em consideração o objetivo específico de emissões de  $CO_2$  do fabricante para o ano de 2025 e o número de veículos pesados novos do fabricante no ano de 2025.

$$limCO_2 = T_{2025} \times 0,05 \times V_{2025} \quad (C5)$$

Em que  $T_{2025}$  é o objetivo de emissões de  $CO_2$  do fabricante para o ano de 2025 e  $V_{2025}$  é o número de veículos pesados nos do fabricante no ano de 2025.

Se um fabricante apresentar um débito de emissões constituído no período de referência do ano de 2025, é aplicada uma redução de acordo com os créditos de emissões acumulados antes do ano de 2025. Esta redução é calculada de acordo com a Equação C6.

$$redCO2 = \min\left(dCO2_{2025}; \sum_{Y=2019}^{2024} cCO2_{2Y}\right) \quad (C6)$$

Em que *min* estabelece o valor mínimo dos dois valores entre parenteses,  $\sum_{Y=2019}^{2024}$  é o somatório nos períodos de referência dos anos de 2019 a 2024,  $dCO2_{2025}$  representa os débitos de emissões para o ano de 2025 e  $cCO2_{2Y}$  representa os créditos de emissões.

## Anexo D

Para o cálculo do fator de correção para ventos laterais é necessário ter em atenção às condições de ambiente de referência, como uma velocidade do vento de 3 m/s e uma altura de referência de 4 m. Outro parâmetro que condiciona o fator de correção para ventos laterais é a dependência do ângulo de direção,  $yaw$ , com o  $C_dA$ . A dependência do ângulo de direção com o produto do coeficiente de arrasto pela área é calculado pela Equação D1.

$$C_dA(\beta) = C_dA(0) + a_1\beta + a_2\beta^2 + a_3\beta^3 \quad (D1)$$

Em que  $C_dA(\beta)$  corresponde ao produto do coeficiente de arrasto pela área em função do ângulo de direção,  $C_dA(0)$  representa o produto do coeficiente de arrasto pela área para um ângulo de zero graus,  $a_1$ ,  $a_2$  e  $a_3$  correspondem aos coeficientes polinomiais e  $\beta$  traduz o ângulo de direção. O valor dos coeficientes polinomiais depende do tipo de atrelado e os seus valores podem ser consultados na Tabela D1.

Tabela D1 - Valores dos coeficientes polinomiais dependendo do tipo de atrelado

<i>Trailer Type</i>	$a_1$	$a_2$	$a_3$
<i>Rigid Solo</i>	0,013526	0,017746	-0,000666
<i>Rigid Trailer</i>	0,017125	0,072275	-0,004148
<i>Tractor Semitrailer</i>	0,030042	0,040817	-0,002130
<i>Bus Coach</i>	-0,000794	0,021090	-0,001090

## Anexo E

<i>Vehicle</i>	
Tipo de veículo	<i>Rigid Truck</i>
Configuração do eixo	6x2
Peso bruto máximo do veículo [t]	26
Subgrupo do veículo	9
<i>General</i>	
Massa útil efetiva corrigida [kg]	9300
Massa da caixa [kg]	2200
Carga [kg]	7100
Cd x A [m <sup>2</sup> ]	4
Raio dinâmico do pneu [mm]	492
Correção para ventos laterais	-
Dimensão do pneu	315/70 R22,5
Eixo 1 – Tipo de eixo	<i>Vehicle non-driven</i>
Eixo 2 – Tipo de eixo	<i>Vehicle driven</i>
Eixo 3 – Tipo de eixo	<i>Vehicle non-driven</i>
Eixo 1 – Carga relativa	0,35
Eixo 2 – Carga relativa	0,4
Eixo 3 – Carga relativa	0,25
Eixo 1 – <i>Pneu duplo</i>	<i>No</i>
Eixo 2 – <i>Pneu duplo</i>	<i>Yes</i>
Eixo 3 – <i>Pneu duplo</i>	<i>No</i>
Inércia das Rodas [kgm <sup>2</sup> ]	14,9
RRC	0,0055
Fz [N]	33350
<i>Powertrain</i>	
Perdas no <i>Retarder</i>	-
<i>Angledrive</i>	-
<i>ADAS</i>	
<i>Engine Stop/Start</i>	-
<i>Eco-Roll</i>	-
<i>Predictive Cruise Control</i>	-
PTO	-
<i>Engine</i>	
Modelo e Fabricante	<i>324kW 7l Engine</i>
Rotação ao ralenti [rpm]	600
Cilindrada [ccm]	7000
Rotação nominal [rpm]	1200
Potência nominal [kW]	324
Binário máximo [Nm]	2146
Inércia [kgm <sup>2</sup> ]	5,14

Tipo de combustível	Diesel		
Curva do motor	engine speed [1/min],full load torque [Nm],motoring torque [Nm]		
	600	1258	-150
	800	1758	-155
	1000	2140	-165
	1200	2146	-179
	1400	2109	-203
	1600	1903	-235
	1800	1719	-264
	2000	1259	-301
	2100	1079	-320
	2200	0	-339
Mapa de consumo de combustível	engine speed [rpm],torque [Nm],fuel consumption [g/h]	engine speed [rpm],torque [Nm],fuel consumption [g/h]	engine speed [rpm],torque [Nm],fuel consumption [g/h]
	600	800	1000
	800	1000	1200
	1000	1200	1400
	1200	1400	1600
	1400	1600	1800
	1600	1800	2000
	1800	2000	2200
	2000	2200	2400
	2100	2400	2600
	2200	2600	2800
	2400	2800	3000
	2600	3000	3200
	2800	3200	3400
	3000	3400	3600
	3200	3600	3800
	3400	3800	4000
	3600	4000	4200
	3800	4200	4400
	4000	4400	4600
	4200	4600	4800
	4400	4800	5000
	4600	5000	5200
	4800	5200	5400
	5000	5400	5600
	5200	5600	5800
	5400	5800	6000
	5600	6000	6200
	5800	6200	6400
	6000	6400	6600
	6200	6600	6800
	6400	6800	7000
	6600	7000	7200
	6800	7200	7400
	7000	7400	7600
	7200	7600	7800
	7400	7800	8000
	7600	8000	8200
	7800	8200	8400
	8000	8400	8600
	8200	8600	8800
	8400	8800	9000
	8600	9000	9200
	8800	9200	9400
	9000	9400	9600
	9200	9600	9800
	9400	9800	10000

Fator Correção WHTC <i>Urban</i>		-	
Fator Correção WHTC <i>Rural</i>		-	
Fator Correção WHTC <i>Motorway</i>		-	
<b>Gearbox</b>			
Modelo e Fabricante		<i>Tractor_12gear_example</i>	
Tipo de transmissão		<i>Automated Transmission (AMT)</i>	
Relação do eixo		2,64	
Eficiência do eixo		1	
Relação Engrenagem 1	14,93	Relação Engrenagem 7	3,39
Relação Engrenagem 2	11,64	Relação Engrenagem 8	2,65
Relação Engrenagem 3	9,02	Relação Engrenagem 9	2,05
Relação Engrenagem 4	7,04	Relação Engrenagem 10	1,6
Relação Engrenagem 5	5,64	Relação Engrenagem 11	1,28
Relação Engrenagem 6	4,4	Relação Engrenagem 12	1
Eficiência das engrenagens		1	
<b>Gearshift Parameters</b>			
Reserva de binário (%)		20	
Tempo mínimo entre <i>gearshifts</i> [s]		3	
<i>Delay</i> de <i>downshift</i> após <i>upshift</i> [s]		6	
<i>Delay</i> de <i>upshift</i> após <i>downshift</i> [s]		10	
Aceleração mínima após <i>upshift</i> [m/s <sup>2</sup> ]		0,1	

Potência auxiliares ( <i>ICE On</i> ) [W]	100
---	-----

<i>Drivel Model</i>	
<i>Overspeed</i>	<i>Off</i>
<i>Overspeed</i> máximo [km/h]	-
Velocidade mínima [km/h]	-

---

<i>Look-Ahead Coasting</i>		
Velocidade mínima [km/h]	50	
Factor de distância	10	
Factor decisão - velocidade alvo	-	
Factor decisão - diminuição de velocidade	-	
Curva de Aceleração e Travagem		
Velocidade	Aceleração	Desaceleração
0	1	-1
25	1	-1
50	0,642857143	-1
60	0,5	-0,5
120	0,5	-0,5

## Anexo F

<i>Vehicle</i>	
Tipo de veículo	<i>Tractor</i>
Configuração do eixo	4x2
Peso bruto máximo do veículo [t]	18
Subgrupo do veículo	5
<i>General</i>	
Massa útil efetiva corrigida [kg]	8229
Massa do reboque [kg]	7500
Carga [kg]	19300
Cd x A [m <sup>2</sup> ]	5,3
Raio dinâmico do pneu [mm]	492
Correção para ventos laterais	-
Dimensão do pneu	385/65 R22,5
Eixo 1 – Tipo de eixo	<i>Vehicle non-driven</i>
Eixo 2 – Tipo de eixo	<i>Vehicle driven</i>
Eixo 3 – Tipo de eixo	<i>Vehicle non-driven</i>
Eixo 4 – Tipo de eixo	<i>Vehicle non-driven</i>
Eixo 5 – Tipo de eixo	<i>Vehicle non-driven</i>
Eixo 1 – Carga relativa	0,2
Eixo 2 – Carga relativa	0,25
Eixo 3 – Carga relativa	0,1833
Eixo 4 – Carga relativa	0,1833
Eixo 5 – Carga relativa	0,1833
Eixo 1 – <i>Pneu duplo</i>	<i>No</i>
Eixo 2 – <i>Pneu duplo</i>	<i>Yes</i>
Eixo 3 – <i>Pneu duplo</i>	<i>No</i>
Eixo 4 – <i>Pneu duplo</i>	<i>No</i>
Eixo 5 – <i>Pneu duplo</i>	<i>No</i>
Eixo 1 – Inércia [kgm <sup>2</sup> ]	14,9
Eixo 2 – Inércia [kgm <sup>2</sup> ]	14,9
Eixo 3 – Inércia [kgm <sup>2</sup> ]	19,2
Eixo 4 – Inércia [kgm <sup>2</sup> ]	19,2
Eixo 5 – Inércia [kgm <sup>2</sup> ]	19,2
Eixo 1 – RRC	0,0055
Eixo 2 – RRC	0,0065
Eixo 3 – RRC	0,0055
Eixo 4 – RRC	0,0055
Eixo 5 – RRC	0,0055
Eixo 1 – Fz [N]	33350
Eixo 2 – Fz [N]	33350
Eixo 3 – Fz [N]	41690
Eixo 4 – Fz [N]	41690
Eixo 5 – Fz [N]	41690
<i>Powertrain</i>	

Perdas no Retarder	Retarder Speed [1/min]	Torque loss [Nm]	
	0	10	
	100	10	
	200	10.1	
	300	10.2	
	400	10.3	
	500	10.5	
	600	10.7	
	700	11	
	800	11.3	
	900	11.6	
	1000	12	
	1100	12.4	
	1200	12.9	
	1300	13.4	
	1400	13.9	
	1500	14.5	
	1600	15.1	
	1700	15.8	
	1800	16.5	
1900	17.3		
2000	18		
2100	18.8		
2200	19.7		
2300	20.6		
2400	21.5		
2500	22.5		
2600	23.5		
2700	24.6		
2800	25.7		
2900	26.8		
3000	28		
Angledrive	-		
<b>ADAS</b>			
Engine Stop/Start	-		
Eco-Roll	-		
Predictive Cruise Control	-		
PTO	-		
<b>Engine</b>			
Modelo e fabricante	325kW 12.7l Engine		
Rotação ao ralenti [rpm]	600		
Cilindrada [ccm]	12740		
Rotação nominal [rpm]	1200		
Potência nominal [kW]	325		
Binário máximo [Nm]	2134		
Inércia [kgm <sup>2</sup> ]	5,1498		
Tipo de combustível	Diesel		
Curva do motor	rpm	torque	fuel consumption
	600	100	100
	700	100	100
	800	100	100
	900	100	100
	1000	100	100
	1100	100	100
	1200	100	100
	1300	100	100
	1400	100	100
	1500	100	100
	1600	100	100
	1700	100	100
	1800	100	100
	1900	100	100
	2000	100	100
	2100	100	100
	2200	100	100
	2300	100	100
	2400	100	100
2500	100	100	
2600	100	100	
2700	100	100	
2800	100	100	
2900	100	100	
3000	100	100	
3100	100	100	
3200	100	100	
3300	100	100	
3400	100	100	
3500	100	100	
3600	100	100	
3700	100	100	
3800	100	100	
3900	100	100	
4000	100	100	
4100	100	100	
4200	100	100	
4300	100	100	
4400	100	100	
4500	100	100	
4600	100	100	
4700	100	100	
4800	100	100	
4900	100	100	
5000	100	100	
5100	100	100	
5200	100	100	
5300	100	100	
5400	100	100	
5500	100	100	
5600	100	100	
5700	100	100	
5800	100	100	
5900	100	100	
6000	100	100	
6100	100	100	
6200	100	100	
6300	100	100	
6400	100	100	
6500	100	100	
6600	100	100	
6700	100	100	
6800	100	100	
6900	100	100	
7000	100	100	
7100	100	100	
7200	100	100	
7300	100	100	
7400	100	100	
7500	100	100	
7600	100	100	
7700	100	100	
7800	100	100	
7900	100	100	
8000	100	100	
8100	100	100	
8200	100	100	
8300	100	100	
8400	100	100	
8500	100	100	
8600	100	100	
8700	100	100	
8800	100	100	
8900	100	100	
9000	100	100	
9100	100	100	
9200	100	100	
9300	100	100	
9400	100	100	
9500	100	100	
9600	100	100	
9700	100	100	
9800	100	100	
9900	100	100	
10000	100	100	
10100	100	100	
10200	100	100	
10300	100	100	
10400	100	100	
10500	100	100	
10600	100	100	
10700	100	100	
10800	100	100	
10900	100	100	
11000	100	100	
11100	100	100	
11200	100	100	
11300	100	100	
11400	100	100	
11500	100	100	
11600	100	100	
11700	100	100	
11800	100	100	
11900	100	100	
12000	100	100	
12100	100	100	
12200	100	100	
12300	100	100	
12400	100	100	
12500	100	100	
12600	100	100	
12700	100	100	
12800	100	100	
12900	100	100	
13000	100	100	
13100	100	100	
13200	100	100	
13300	100	100	
13400	100	100	
13500	100	100	
13600	100	100	
13700	100	100	
13800	100	100	
13900	100	100	
14000	100	100	
14100	100	100	
14200	100	100	
14300	100	100	
14400	100	100	
14500	100	100	
14600	100	100	
14700	100	100	
14800	100	100	
14900	100	100	
15000	100	100	
15100	100	100	
15200	100	100	
15300	100	100	
15400	100	100	
15500	100	100	
15600	100	100	
15700	100	100	
15800	100	100	
15900	100	100	
16000	100	100	
16100	100	100	
16200	100	100	
16300	100	100	
16400	100	100	
16500	100	100	
16600	100	100	
16700	100	100	
16800	100	100	
16900	100	100	
17000	100	100	
17100	100	100	
17200	100	100	
17300	100	100	
17400	100	100	
17500	100	100	
17600	100	100	
17700	100	100	
17800	100	100	
17900	100	100	
18000	100	100	
18100	100	100	
18200	100	100	
18300	100	100	
18400	100	100	
18500	100	100	
18600	100	100	
18700	100	100	
18800	100	100	
18900	100	100	
19000	100	100	
19100	100	100	
19200	100	100	
19300	100	100	
19400	100	100	
19500	100	100	
19600	100	100	
19700	100	100	
19800	100	100	
19900	100	100	
20000	100	100	
20100	100	100	
20200	100	100	
20300	100	100	
20400	100	100	
20500	100	100	
20600	100	100	
20700	100	100	
20800	100	100	
20900	100	100	
21000	100	100	
21100	100	100	
21200	100	100	
21300	100	100	
21400	100	100	
21500	100	100	
21600	100	100	
21700	100	100	
21800	100	100	
21900	100	100	
22000	100	100	
22100	100	100	
22200	100	100	
22300	100	100	
22400	100	100	
22500	100	100	
22600	100	100	
22700	100	100	
22800	100	100	
22900	100	100	
23000	100	100	
23100	100	100	
23200	100	100	
23300	100	100	
23400	100	100	
23500	100	100	
23600	100	100	
23700	100	100	
23800	100	100	
23900	100	100	
24000	100	100	
24100	100	100	
24200	100	100	
24300	100	100	
24400	100	100	
24500	100	100	
24600	100	100	
24700	100	100	
24800	100	100	
24900	100	100	
25000	100	100	
25100	100	100	
25200	100	100	
25300	100	100	
25400	100	100	
25500	100	100	
25600	100	100	
25700	100	100	
25800	100	100	
25900	100	100	
26000	100	100	
26100	100	100	
26200	100	100	
26300	100	100	
26400	100	100	
26500	100	100	
26600	100	100	
26700	100	100	
26800	100	100	
26900	100	100	
27000	100	100	
27100	100	100	
27200	100	100	
27300	100	100	
27400	100	100	
27500	100	100	
27600	100	100	
27700	100	100	
27800	100	100	
27900	100	100	
28000	100	100	
28100	100	100	
28200	100	100	
28300	100	100	
28400	100	100	
28500	100	100	
28600	100	100	
28700	100	100	
28800	100	100	
28900	100	100	
29000	100	100	
29100	100	100	
29200	100	100	
29300	100	100	
29400	100	100	
29500	100	100	
29600	100	100	
29700	100	100	
29800	100	100	
29900	100	100	
30000	100	100	

Fator Correção WHTC Urban	-
Fator Correção WHTC Rural	-
Fator Correção WHTC Motorway	-

<i>Gearbox</i>			
Modelo e Fabricante		<i>Tractor_12gear_example</i>	
Tipo de transmissão		<i>Automated Transmission (AMT)</i>	
Relação do eixo		2,64	
Eficiência do eixo		1	
Relação Engrenagem 1	14,93	Relação Engrenagem 7	3,39
Relação Engrenagem 2	11,64	Relação Engrenagem 8	2,65
Relação Engrenagem 3	9,02	Relação Engrenagem 9	2,05
Relação Engrenagem 4	7,04	Relação Engrenagem 10	1,6
Relação Engrenagem 5	5,64	Relação Engrenagem 11	1,28
Relação Engrenagem 6	4,4	Relação Engrenagem 12	1
Eficiência das Engrenagens		1	
<i>Gearshift Parameters</i>			
Reserva de binário (%)		20	
Tempo mínimo entre <i>gearshifts</i> [s]		2	
<i>Delay</i> de <i>downshift</i> após <i>upshift</i> [s]		6	
<i>Delay</i> de <i>upshift</i> após <i>downshift</i> [s]		10	
Aceleração mínima após <i>upshift</i> [m/s <sup>2</sup> ]		0,1	

Potência Auxiliares ( <i>ICE On</i> ) [W]	100
---	-----

<i>Drivel Model</i>		
<i>Overspeed</i>	<i>Off</i>	
<i>Overspeed</i> máximo [km/h]	-	
Velocidade mínima [km/h]	-	
<i>Look-Ahead Coasting</i>		
Velocidade mínima [km/h]	50	
Factor de distância	10	
Factor decisão - velocidade Alvo	-	
Factor decisão - diminuição de velocidade	-	
<i>Curva de Aceleração e Travagem</i>		
Velocidade	Aceleração	Desaceleração
0	1	-1
25	1	-1
50	0,642857143	-1
60	0,5	-0,5
120	0,5	-0,5

## Anexo G

<i>Documentação</i>	
Fabricante	Teste
Morada do fabricante	Leiria
Modelo	Teste1
VIN	Exemplo1234567890
Categoria legislativa	O4
<i>Classificação</i>	
Número de eixos	3
Tipo de reboque	DA
Tipo de carroçaria	<i>Dry box</i>
Orientação para o volume	<i>No</i>
<i>Massa</i>	
Massa corrigida em ordem de marcha [kg]	7700
Massa máxima admissível do reboque [kg]	39000
Massa máxima admissível do eixo [kg]	24000
<i>Dimensões</i>	
Comprimento do reboque [m]	13,685
Largura do reboque [m]	2,55
Altura da caixa do reboque [m]	2,85
Altura total do reboque [m]	4
Comprimento desde a extremidade dianteira do reboque ao centro do primeiro eixo [m]	8,075
Comprimento entre eixos [m]	2,62
Volume da carga [m <sup>3</sup> ]	91
<i>Dispositivos aerodinâmicos</i>	
Dispositivo aerodinâmico certificado	<i>No</i>
Saia lateral curta	<i>No</i>
Saia lateral comprida	<i>No</i>
Aba traseira curta	<i>No</i>
Aba traseira comprida	<i>No</i>
<i>Eixos e Pneus</i>	
Dimensão do pneu	385/65 R22,5
Eixo 1 – RRC	0,0055
Eixo 2 – RRC	0,0055
Eixo 3 – RRC	0,0055
Eixo 1 – Fz	37500
Eixo 2 – Fz	37500
Eixo 3 – Fz	37500
Eixo 1 – Pneu duplo	<i>No</i>
Eixo 2 – Pneu duplo	<i>No</i>
Eixo 3 – Pneu duplo	<i>No</i>
Eixo 1 - Elevável	<i>No</i>
Eixo 2 - Elevável	<i>No</i>
Eixo 3 - Elevável	<i>No</i>
Eixo 1 - Direcional	<i>No</i>
Eixo 2 - Direcional	<i>No</i>
Eixo 3 - Direcional	<i>No</i>

## Anexo H

<i>Vehicle</i>	
Tipo de veículo	<i>Rigid Truck</i>
Configuração do eixo	6x2
Peso bruto máximo do veículo [t]	26
Subgrupo do veículo	9
<i>General</i>	
Massa útil efetiva corrigida [kg]	6713
Massa da caixa [kg]	4587
Carga [kg]	7100
Cd x A [m <sup>2</sup> ]	5,2
Raio dinâmico do pneu [mm]	483
Correção para ventos laterais	Sim
Eixo 1 - Dimensão do pneu	385/55 R22,5
Eixo 2 - Dimensão do pneu	315/70 R22,5
Eixo 3 - Dimensão do pneu	315/70 R22,5
Eixo 1 – Tipo de eixo	<i>Vehicle non-driven</i>
Eixo 2 – Tipo de eixo	<i>Vehicle driven</i>
Eixo 3 – Tipo de eixo	<i>Vehicle non-driven</i>
Eixo 1 – Carga relativa	0,35
Eixo 2 – Carga relativa	0,4
Eixo 3 – Carga relativa	0,25
Eixo 1 – Pneu duplo	<i>No</i>
Eixo 2 – Pneu duplo	<i>Yes</i>
Eixo 3 – Pneu duplo	<i>No</i>
Eixo 1 - Inércia [kgm <sup>2</sup> ]	15,9
Eixo 2 - Inércia [kgm <sup>2</sup> ]	14,9
Eixo 3 - Inércia [kgm <sup>2</sup> ]	14,9
RRC	0,0055
Fz [N]	33350
<i>Powertrain</i>	
Perdas no Retarder	-
<i>Angledrive</i>	-
<i>ADAS</i>	
<i>Engine Stop/Start</i>	<i>Yes</i>
<i>Eco-Roll</i>	-
<i>Predictive Cruise Control</i>	<i>Yes</i>
PTO	-
<i>Engine</i>	
Modelo e Fabricante	Scania N331
Rotação ao ralenti [rpm]	800
Cilindrada [ccm]	12742

Rotação nominal [rpm]	1900		
Potência nominal [kW]	331		
Binário máximo [Nm]	2107		
Inércia [kgm <sup>2</sup> ]	5,139		
Tipo de combustível	Diesel		
Curva do motor	engine speed [1/min],full load torque [Nm],motoring torque [Nm] 800                    1500                    -210 1000                   1800                    -252 1200                   2252                    -315 1400                   2170                    -304 1500                   2107                    -295 1600                   2020                    -283 1800                   1756                    -246 2000                   1570                    -220 2100                   1505                    -211 2200                   0                            -211		
Mapa de consumo de combustível	engine speed [rpm],torque [Nm],fuel consumption [g/h]engine speed [rpm],torque [Nm],fuel consumption [g/h] 800                   -210                   0                   1500                   2107                   65018 1000                   -252                   0                   1600                   -283                   0 1200                   -315                   0                   1800                   2020                   65869 1400                   0                            0                   1800                   -246                   0 1500                   0                            0                   1800                   0                            3424 1600                   0                            1769                   1800                   878                            34424 1800                   1126                   26178                   1800                   1317                            50643 2000                   1689                   39054                   1800                   1756                            67955 2100                   2252                   52638                   2000                   -220                            0 2200                   -304                   0                   2000                   1570                            78172 800                   2170                   62080                   2100                   -211                            0 1000                   -295                   0                   2100                   0                            3873 1200                   0                            2568                   2100                   753                            38562 1400                   1054                   31688                   2100                   1119                            54615 1500                   1500                   47528                   2100                   1505                            71165		

Fator Correção WHTC <i>Urban</i>	-		
Fator Correção WHTC <i>Rural</i>	-		
Fator Correção WHTC <i>Motorway</i>	-		
<b>Gearbox</b>			
Modelo e Fabricante	<i>Scania GRS895R</i>		
Tipo de transmissão	<i>Automated Transmission (AMT)</i>		
Relação do eixo	2,73		
Eficiência do eixo	0,98		
Relação Engrenagem 1	11,32	Relação Engrenagem 7	3,02
Relação Engrenagem 2	9,6	Relação Engrenagem 8	2,44
Relação Engrenagem 3	7,19	Relação Engrenagem 9	1,92
Relação Engrenagem 4	5,82	Relação Engrenagem 10	1,55
Relação Engrenagem 5	4,63	Relação Engrenagem 11	1,24
Relação Engrenagem 6	3,75	Relação Engrenagem 12	1
Eficiência das engrenagens	0,98		
<b>Gearshift Parameters</b>			
Reserva de binário (%)	20		
Tempo mínimo entre <i>gearshifts</i> [s]	2		
<i>Delay</i> de <i>downshift</i> após <i>upshift</i> [s]	6		
<i>Delay</i> de <i>upshift</i> após <i>downshift</i> [s]	6		
Aceleração mínima após <i>upshift</i> [m/s <sup>2</sup> ]	0,1		

<b>Auxiliaries</b>	
Potência dos auxiliares [W]	5400

<b>Drivel Model</b>	
<i>Overspeed</i>	<i>On</i>

<i>Overspeed</i> máximo [km/h]	2,5	
Velocidade mínima [km/h]	50	
<i>Look-Ahead Coasting</i>		
Velocidade mínima [km/h]	50	
Factor de distância	10	
Factor decisão - velocidade alvo	-	
Factor decisão - diminuição de velocidade	-	
<i>Curva de Aceleração e Travagem</i>		
Velocidade	Aceleração	Desaceleração
0	1	-1
5	1	-1
10	1	-1
15	1	-1
20	1	-1
25	1	-1
30	0,93	-1
35	0,86	-1
40	0,79	-1
45	0,71	-1
50	0,64	-1
55	0,57	-0,75
60	0,5	-0,5
65	0,5	-0,5
70	0,5	-0,5
75	0,5	-0,5
80	0,5	-0,5
85	0,5	-0,5
90	0,5	-0,5
95	0,5	-0,5
100	0,5	-0,5
<i>Engine Stop/Start</i>		
<i>Delay</i> de desligo do motor [s]	2	
Tempo máximo do motor desligado [s]	120	
Fator de utilização	0,8	
<i>Predictive Cruise Control</i>		
<i>Underspeed</i> permitida [km/h]	8	
<i>Overspeed</i> permitida [km/h]	5	
Velocidade de ativação [km/h]	80	
Velocidade mínima [km/h]	50	
Distância <i>preview</i> Caso-1 [m]	1500	
Distância <i>preview</i> Caso-2 [m]	1000	