



**PEDRO MANUEL
SIMÕES TRINDADE**

**AVALIAÇÃO ENERGÉTICA DE UMA FROTA DE
VEÍCULOS PESADOS DE MERCADORIAS**



**PEDRO MANUEL
SIMÕES TRINDADE**

**AVALIAÇÃO ENERGÉTICA DE UMA FROTA DE
VEÍCULOS PESADOS DE MERCADORIAS**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação científica da Professora Doutora Margarida Isabel Cabrita Marques Coelho, Professora Auxiliar Convidada do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.

Dedico esta tese aos meus pais e irmã, por me terem apoiado ao longo da minha vida académica.

o júri

presidente

Prof. Doutor Fernando José Neto da Silva
Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

orientadora

Prof. Doutora Margarida Isabel Cabrita Marques Coelho
Professora Auxiliar Convidada do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

arguente

Doutora Elisabete Maria Mourinho Arsénio Guterres de Almeida
Investigadora Auxiliar do Laboratório Nacional de Engenharia Civil

agradecimentos

A realização deste trabalho não teria sido possível sem todo o apoio que tive da minha família ao longo da minha carreira académica. A ela o meu sincero agradecimento.

À Professora Doutora Margarida Coelho, os maiores agradecimentos por toda o apoio, disponibilidade e profissionalismo ao longo da coordenação desta Dissertação de Mestrado.

Ao Jorge Bandeira agradeço toda a disponibilidade e contributo para a resolução de todos os problemas que surgiram ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Ao Diogo Santos, o meu obrigado por toda a ajuda durante a troca de dados com a Lacticoop.

To David Brzezinski, Prashanth Gururaja and James Warila, representing the U.S. Environmental Protection Agency, thanks for all the help given during the simulation period with MOVES.

palavras-chave

Consumo de combustível, gestão de frotas, veículos pesados de mercadorias, modelação de emissões de poluentes, MOVES, COPERT4.

resumo

A elevada importância do desenvolvimento económico e produtivo a par do impacto relevante das emissões de poluentes constituem dois fatores de difícil equação no mundo empresarial. A empresa Lacticoop encontra-se a par desta realidade e o principal objetivo desta Dissertação foi desenvolver uma avaliação de desempenho energético e ambiental à sua frota de veículos pesados de mercadorias. Para o efeito foram modeladas emissões de poluentes e consumo de combustível com base em características das viaturas e rotas da empresa. Neste processo recorreu-se a duas metodologias distintas, uma baseada em registos dinâmicos medidos por GPS (nomeadamente, velocidade e inclinação ao longo da execução dos percursos), e outra baseada em valores médios de velocidade e inclinação. A primeira metodologia para o cálculo de emissões de poluentes e consumo de combustível foi baseada na potência específica do veículo (VSP), presente no modelo norte-americano MOVES. A segunda metodologia foi utilizada tanto no MOVES como no modelo europeu de macro escala COPERT4. Desta forma foi possível comparar metodologias distintas e utilizar potencialidades específicas de cada modelo.

Os resultados obtidos entre os modelos revelaram maior aproximação para o consumo de combustível e emissões de CO₂, sofrendo desvios inferiores a 10%, sendo que os consumos de combustível obtidos em simulação corresponderam à gama de valores dos registos da Lacticoop para todas as voltas à exceção da rota 51 (com 35% de desvio). Em contrapartida, as emissões atingiram desvios máximos entre os modelos de 81%, 93%, 90% e 94%, respetivamente para CO, VOC, PM10 e NO_x. Estas últimas disparidades deveram-se, principalmente, à adaptação realizada para considerar as normas Europeias de controlo de emissões no modelo norte-americano MOVES. Posteriormente, foi analisado o efeito do fator carga no desempenho das viaturas através do modelo COPERT4, onde se verificaram aumentos de emissões e consumo de combustível até 21% com o aumento de carga à exceção das emissões de VOC e de NO_x que chegaram a sofrer diminuições até 2% e 6% respetivamente. Finalmente foram analisados em detalhe os perfis de velocidade e aceleração registados por GPS a bordo das viaturas. Consequentemente, foram suavizados os arranques e otimizado o modo de condução. Este processo deu prioridade a um modo de condução seguro mantendo o tempo de realização das rotas analisadas. Deste modo obtiveram-se reduções de emissões para todos os poluentes, sendo que o consumo de combustível e emissões de CO₂ diminuíram até 15%, originando uma economia de gasóleo até 8€ / 100km.

keywords

Fuel consumption, fleet management, heavy duty vehicles, emissions modeling, MOVES, COPERT4.

Abstract

The high importance on economic development along with the major environmental impacts of pollutant emissions are two factors that have to be considered nowadays. The main objective of this Master Thesis was to assess the energetic and environmental performance of the heavy-duty fleet of the company Lacticoop. To accomplish this objective, emissions and fuel consumption were modeled based on characteristics of vehicles and routes of the company. In the process two different methodologies were used, one based in dynamic measurements of speed and slope profiles along the routes, and another one based on average speed and slope. The first approach was possible using the vehicle specific power (VSP) methodology, present in the American model MOVES. The second approach was used in MOVES and in the European macroscopic model COPERT4. Thus, different methodologies could be compared but also some specific potential of each model could be used.

The results among the models showed closer results for fuel consumption and CO₂ emissions, with deviations lower than 10%. Fuel consumption obtained in the simulation was within the range of values gathered from Lacticoop records for all routes but for route 51 (with 35% of deviation). However, the maximum deviations for the several pollutants were 81%, 93%, 90% and 94%, respectively for CO, VOC, PM₁₀ and NO_x. These differences were due mainly to the adaptation made to use European emissions regulations in the U.S. model MOVES. Subsequently, the effect of the load factor in the performance of vehicles through the model COPERT4 was analyzed, providing increases on emissions and fuel consumption up to 21% with increasing load, except for VOC and NO_x that have reached decreases up to 1.6% and 5.8%, respectively. Finally, the speed and acceleration profiles recorded on-board by GPS were analyzed in detail. Consequently, the accelerations were smoothed and an eco-driving mode was optimized. With this scenario the company can obtain emission reductions for all pollutants; fuel consumption and CO₂ emissions decreased by 15%, leading to an economy up to 8 € / 100km.

ÍNDICE

1	Introdução.....	1
1.1	Motivação	1
1.2	Objetivos	2
1.3	Estrutura da Dissertação.....	2
2	Revisão Bibliográfica.....	5
2.1	Estudo de frotas de veículos pesados de mercadorias.....	5
2.2	Introdução aos mais conhecidos modelos de simulação de emissões.....	8
2.3	Síntese conclusiva do estado da arte	11
3	Metodologia.....	13
3.1	Medições e equipamento	14
3.2	Recolha de dados a bordo das viaturas e metodologia VSP	16
3.3	MOVES2010a.....	17
3.3.1	Módulos geradores e gestão de dados	18
3.3.2	Características principais do modelo MOVES.....	19
3.4	COPERT4.....	20
3.5	Análise comparativa entre MOVES e COPERT4.....	20
4	Caso de estudo: frota da Lacticoop	23
4.1	Pressupostos e limitações.....	23
4.1.1	Condicionantes da recolha de leite para cada volta	23
4.2	Objetivos pretendidos na recolha de informação	25
4.2.1	Recolha de Informação	25
4.2.2	Relação entre normas europeias e norte-americanas.....	26
4.2.3	Fatores relevantes na medição de dados.....	28
4.3	Caracterização da frota da Lacticoop	29
4.4	Rotas e simulações	32
4.4.1	Características principais das viaturas e mapas das rotas em análise	32
4.4.2	Considerações para as análises realizadas e metodologia VSP	39
5	Resultados e sua Discussão.....	43
5.1	Resultados para as rotas analisadas com recurso a medições a bordo da viatura	43
5.1.1	Influência da variação da carga	47
5.1.2	Otimização.....	49
5.2	Resultados para as rotas analisadas sem recurso a medições a bordo da viatura	53

6	Conclusões e trabalhos futuros	57
7	Referências bibliográficas	61
	Anexo A – Modelo MOVES	65
1.	Introdução à interface de utilizador do MOVES	65
1.1.	Painel de navegação	65
1.2.	Descrição (“Description”).....	67
1.3.	Escala	67
1.4.	Intervalos de tempo (“Time Spans”).....	68
1.5.	Limites geográficos (“Geographical Bounds”).....	69
1.6.	Veículos/equipamentos (“Vehicles/Equipment”).....	72
1.7.	Tipo de via (“Road Type”)	72
1.8.	Poluentes e processos	73
1.9.	Gestão dos grupos de dados de entrada (“Manage Input Data Sets”)	74
1.10.	Criação e utilização de estratégias de controlo interno (“Creating and Using Internal Control Strategies”).....	74
1.11.	Resultados (“Output”).....	77
1.12.	Funcionalidades de desempenho avançado (“Advanced Performance Features”).....	79
2.	Barra de menu principal (“Main Menu Bar”).....	79
2.1.	Ficheiro (“File”).....	80
2.2.	Editar (“Edit”)	80
2.3.	Pré-processamento (“Pre Processing”).....	81
2.4.	Acção (“Action”)	81
2.5.	Pós-processamento (“Post Processing”).....	82
2.6.	Ferramentas (“Tools”).....	83
2.7.	Definições (“Settings”).....	84
2.8.	Ajuda (“Help”)	85

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma metodológico	13
Figura 2 - <i>GPS Travel Recorder BT-Q1000XT</i>	14
Figura 3 - Estrutura geral do modelo MOVES (adaptado de (29))	18
Figura 4 – Esquema da recolha e tratamento de informação	25
Figura 5 - Temperaturas média de Janeiro (a) e Julho (b) de 2011 (40)	29
Figura 6 – Mapas das rotas 4 (a), 5 (b), 6 (c) e 7 (d).....	35
Figura 7 – Mapas das rotas 8 (a), 9 (b) e 19 (c).....	36
Figura 8 – Mapas das rotas 27 (a), 33 (b), 61 (c) e 62 (d).....	37
Figura 9 – Mapas das rotas 3 (a), 51 (b),63 (c) e 67 (d).....	38
Figura 10 – Mapa da rota 76 (43)	39
Figura 11 - Perfil topográfico das rotas 2 (a) e 51 (b) em metros de altitude (eixo vertical)	40
Figura 12 - Perfil topográfico das rotas 63 (a), 67 (b) e 76 (c) em metros de altitude (eixo vertical)	41
Figura 13 – Influência da variação da carga da viatura da rota 3 (a), 51 (b), 63 (c), 67 (d) e 76 (e) face a 50%	48
Figura 14 – Perfis de aceleração originais e otimizados para as rotas 3 (a, b), 51 (c, d), 63 (e, f), 67 (g, h) e 76 (i, j).....	51
Figura 15 - Interface base do MOVES (46)	65
Figura 16 - Painel de navegação (46)	66
Figura 17 - Descrição (" <i>Description</i> ") (46).....	67
Figura 18 - Escala (" <i>Scale</i> ") (46)	67
Figura 19 - Intervalos de tempo (" <i>Time Spans</i> ") (46).....	69
Figura 20 - Limites geográficos – " <i>County</i> " (46)	70
Figura 21 - Limites geográficos - " <i>Nation</i> " (46).....	70
Figura 22 - Limites geográficos - " <i>State</i> " (46)	71
Figura 23 - Limites geográficos - " <i>Custom Domain</i> " (46)	71
Figura 24 - Veículos e equipamentos (46).....	72
Figura 25 - Tipo de via (" <i>Road Type</i> ") (46).....	73
Figura 26 - Poluentes e processos (" <i>Pollutants and Processes</i> ") (46)	73
Figura 27 - Gestão dos grupos de dados de entrada (" <i>Manage Input Data Sets</i> ") (46)	74
Figura 28 – Estratégias - veículos alternativos e tecnologias (46)	75
Figura 29 - Estratégias – Reajuste e controlo de emissões (46)	76
Figura 30 - Estratégias - Taxa de progresso (46).....	76
Figura 31 - Resultados gerais (46).....	77

Figura 32 - Resultados detalhados de emissões (46).....	78
Figura 33 - Recursos de desempenho avançados (46).....	79
Figura 34 - Barra de menu principal (46)	79
Figura 35 - Menu principal - " <i>File</i> " (46)	80
Figura 36 - Menu principal - " <i>Edit</i> " (46)	80
Figura 37 - Menu principal - " <i>Pre Processing</i> " (46)	81
Figura 38 - Menu principal - " <i>Action</i> " (46)	82
Figura 39 - Menu principal - " <i>Post Processing</i> " (46)	83
Figura 40 - Menu principal - " <i>Tools</i> " (46)	84
Figura 41 - Menu principal - " <i>Settings</i> " (46).....	84
Figura 42 - Menu principal - " <i>Help</i> " (46)	85

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Cronograma de tarefas	14
Quadro 2 – Análise comparativa entre MOVES e COPERT4.....	21
Quadro 3 – Normas de emissões europeias para veículos pesados a gásóleo em g/kWh (38)	27
Quadro 4 - Normas de emissões norte-americanas para veículos pesados a gásóleo em g/kWh (38)	27
Quadro 5 – Correspondência entre normas europeias e americanas para MAN de 1999	28
Quadro 6 - Lista dos veículos de transporte de leite MAN da frota da Lacticoop.....	30
Quadro 7 – Lista dos veículos de transporte de leite IVECO da frota da Lacticoop	31
Quadro 8 - Lista dos veículos de transporte de leite SCANIA da frota da Lacticoop	31
Quadro 9 - Lista dos veículos de transporte de leite VOLVO da frota da Lacticoop.....	31
Quadro 10 - Lista dos semirreboques de transporte de leite PARCISA da frota da Lacticoop	32
Quadro 11 – Características principais das rotas em análise e designações adotadas	33
Quadro 12 – Características principais das viaturas operantes para as rotas simuladas	34
Quadro 13 (a,b) - Resultados das simulações para as rotas com medições a bordo das viaturas operantes	44
Quadro 14 - Aproximações resultantes de simulações experimentais no MOVES (VSP)	46
Quadro 15 – Percentagem de otimização das rotas 3, 51, 63, 67 e 76	52
Quadro 16 (a,b) - Resultados das simulações para as rotas sem medições a bordo das viaturas operantes	53
Quadro 17 - Aproximações resultantes de simulações experimentais no MOVES para rotas sem medições a bordo das viaturas operantes	55
Quadro 18 - Ícones do painel de navegação e seu significado (46).....	66
Quadro 19 - Parâmetros de "Output Emissions Detail"	78

NOMENCLATURA

AEA – Agência Europeia do Ambiente

C – Carbono

CARB - *California Air Resources Board*

CH₄ – Metano

CMEM – *Comprehensive Modal Emissions Model*

CNG – *Compressed Natural Gas*

CO – Monóxido de Carbono

CO₂ – Dióxido de Carbono

COPERT - *Computer programme to calculate emissions from road transport*

DBMS – *Database Management System*

EPA – *Environmental Protection Agency*

EUA – Estados Unidos da América

GEE – Gases de Efeito de Estufa

GPS - *Global Positioning System*

HC - Hidrocarbonetos

MOVES – *Motor Vehicle Emission Simulator*

NMVOC - Compostos orgânicos voláteis não metânicos

NH₃ – Amoníaco

NO – Monóxido de azoto

NO₂ – Dióxido de azoto

NO_x – Óxidos de azoto

N₂O – Óxido nitroso

PAHs – Hidrocarbonetos aromáticos cíclicos

Pb - Chumbo

PM – Partículas materiais

PM10 – Partículas com menos de 10 micrómetros de diâmetro aerodinâmico

PM2.5 – Partículas com menos de 2,5 micrómetros de diâmetro aerodinâmico

POPs – Poluentes Orgânicos Persistentes

PRP – *Pollution-Routing-Problem*

SHO – Source Hours Operating

SO₂ – Dióxido de enxofre

SO_x - Óxidos de enxofre

TGA – Gerador de Atividade Total

TREM – Modelo de Emissões dos Transportes para Fontes em Linha

VMT – Milhas Percorridas pelos Veículos

VOC – Compostos Orgânicos Voláteis

VRP – *Vehicle Routing Problem*

VSP – Vehicle Specific Power

1 Introdução

No presente capítulo é exposta a motivação do trabalho, seguida dos objetivos do mesmo. Finalmente, é explicada a sua estrutura, de modo a ser facilitada a consulta e compreensão do mesmo.

O atual trabalho foi desenvolvido no intuito de realizar uma análise de uma frota de transporte de leite com todas as suas condicionantes. Esta frota proporcionou uma oportunidade para melhor percepção de um cenário particular em que o produto a ser transportado é determinante no modo de atuação da mesma. A presente análise baseia-se na frota da empresa de distribuição Lacticoop e os modelos utilizados para simulação são o MOVES e COPERT4.

1.1 Motivação

Para uma redução das emissões de gases poluentes por parte dos veículos pesados de mercadorias existem diversas possibilidades a analisar. Novas normas e padrões de emissões têm vindo a ser implementados, a tecnologia presente no setor tem sofrido desenvolvimentos consideráveis, tecnologias alternativas começam a implementar-se e políticas de incentivo ao abate de velhos veículos têm sido adotadas. No entanto, existe um fator cuja importância é igualmente considerável, sendo ele, a atitude e comportamento do condutor do veículo. O comportamento de um condutor pode influenciar radicalmente o desempenho do veículo ao nível do consumo de combustível e emissões de gases poluentes. Por isso, é deveras importante compreender o comportamento dos condutores para, posteriormente, poder analisar as soluções a serem tomadas, com vista a otimizar o desempenho de uma frota ao nível ambiental e económico (1).

Num mercado globalizado e competitivo afigura-se cada vez mais relevante a maximização da eficiência energética e ambiental em todos os setores da indústria. Neste contexto, são conhecidos os problemas relacionados com a atividade do setor de transporte de mercadorias que deve ter sempre em consideração não só as questões do consumo energético e emissões de poluentes, que representam seguramente a maior preocupação ao nível das estratégias europeias no que respeita ao cumprimento dos tetos estabelecidos de emissões, mas também a crescente preocupação em torno do preço crescente dos combustíveis, das taxas de portagens e de inúmeras variáveis e restrições inerentes a cada empresa. Como tal, a modelação numérica de consumos e emissões afigura-se muito útil neste processo de análise, pois nem sempre é possível fazer a monitorização experimental dos veículos.

Tendo em conta que os transportes rodoviários dominam o movimento de mercadorias face aos meios marítimo, aéreo e ferroviário, apresentando cerca de 50% da carga x km total transportada, a análise das frotas de mercadorias torna-se de elevada relevância para a proteção do ambiente. Sendo o setor do transporte rodoviário de mercadorias de tão grande dimensão e, uma vez que os preços reais dos combustíveis sofreram um aumento na ordem dos 30% no período de 2008 a 2010, a otimização da atividade das frotas torna-se um importante objeto de estudo (2).

Segundo a Agência Europeia do Ambiente (AEA), para se obter uma redução de emissões de CO₂ até 2050 face a 1990, é necessária uma redução de 70% no consumo de petróleo, relativo aos

transportes. Atualmente, o setor dos transportes tem uma dependência do petróleo de 96%, sendo esta uma situação insustentável (3).

Face a 1990 e apesar do crescimento do setor dos transportes, a emissão de poluentes atmosféricos locais tem vindo a diminuir, contudo, os transportes rodoviários representam ainda um problema quanto à qualidade do ar, em particular, em zonas urbanas. Devido às medidas políticas impostas e, em parte, ao desenvolvimento tecnológico, as emissões de monóxido de carbono (CO) tiveram uma redução de 75% desde 1990 e os compostos orgânicos voláteis não metânicos (NMVOCs) de 77%. Contudo, a redução das emissões de partículas fica-se pelos 27% e de NO_x pelos 25% (3).

Dois diferentes problemas de preocupação crescente devem ser realçados para explicar as diferenças entre tendências de emissões e valores de qualidade do ar expectada. Em primeiro lugar, a proporção de NO_x emitida diretamente como NO₂ pelos veículos tem vindo a crescer, como resultado do crescimento do mercado de veículos a gasóleo na Europa, e da implementação de filtros de partículas e catalisadores. O aumento das emissões de NO₂, derivado do setor dos transportes, tem efeito parcial ou total na redução das emissões de NO_x. (3).

Face ao referido nos parágrafos anteriores, é notória a importância que uma boa análise do consumo de energia e emissões de poluentes tem para os veículos rodoviários e, em concreto, para uma frota de mercadorias, sendo esta o objeto de estudo desta Dissertação de Mestrado.

1.2 Objetivos

O principal objetivo desta Dissertação de Mestrado consiste em avaliar o desempenho energético-ambiental de veículos pesados de mercadorias através da utilização do modelo MOVES, desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental norte-americana (US EPA (4)). O MOVES é baseado em medições a bordo de veículos rodoviários, o que vem melhorar a metodologia de cálculo de consumos e emissões. Este amplia a análise para vários tipos de combustíveis e modos de propulsão alternativos. O caso de estudo é a frota de pesados de mercadorias da empresa Lacticoop.

Esta Dissertação tem ainda como segundo objetivo uma análise comparativa utilizando o modelo COPERT4 (5). De tal facto advém um interesse relevante em comparar o consumo de energia e emissões de poluentes que este modelo calcula com os calculados pelo modelo MOVES. Tal comparação possibilita averiguar quais as diferenças entre estes dois modelos e verificar até que ponto existe influência nos cálculos de consumo de energia e emissões, visto que o COPERT 4 é baseado no cenário europeu dos transportes enquanto o MOVES se baseia no cenário norte-americano.

1.3 Estrutura da Dissertação

No primeiro capítulo é introduzido o trabalho, onde está incluída a motivação da Dissertação de Mestrado em questão. Os objetivos do trabalho são ainda enunciados nesta fase. Por final, é exposta a estrutura da dissertação, onde estão presentes os assuntos a serem estudados.

No segundo capítulo é exposta a revisão bibliográfica. Esta representa o resultado do estudo sobre a bibliografia técnica investigada sobre os diversos modelos numéricos de cálculo de

emissões de poluentes e consumo de combustível. Finalmente, a revisão bibliográfica apresenta uma coletânea de conceitos baseados em artigos publicados sobre gestão de frotas.

No terceiro capítulo é exibida a metodologia em que o trabalho foi baseado. Esta contém um fluxograma onde o presente trabalho é esquematizado para uma clara percepção da estrutura do mesmo. As tarefas realizadas durante a execução desta dissertação são expostas sob a forma de um cronograma englobado nesta fase da dissertação, sendo que, por fim, é apresentado o MOVES como principal modelo utilizado no estudo realizado.

O quarto capítulo apresenta e caracteriza a frota da Lacticoop, sendo ela o objeto de estudo desta dissertação. Neste são enunciados pressupostos, limitações e condições do estudo realizado. É também descrito o processo de recolha e tratamento de dados até à obtenção de resultados.

No quinto capítulo são apresentados os resultados das simulações correspondentes às rotas enunciadas no quarto capítulo. Em paralelo são também enunciados os resultados de testes experimentais, comentários aos resultados e respetivas condicionantes e confronto dos resultados obtidos entre os dois modelos e os dados fornecidos pela Lacticoop.

As principais conclusões são apresentadas no capítulo seis, assim como trabalhos propostos para a continuação deste estudo.

Finalmente, em anexo, é apresentado o modelo MOVES ao utilizador comum. As principais funcionalidades e interface do programa são explicadas com recurso a imagens exemplificativas.

2 Revisão Bibliográfica

O capítulo dois contém, inicialmente, a revisão bibliográfica sobre o estudo de frotas de veículos pesados de mercadorias e uma introdução aos mais conhecidos modelos de simulação de emissões e consumo de combustível. Posteriormente, é sintetizada a informação recolhida na revisão do estado da arte relativo a este trabalho.

2.1 Estudo de frotas de veículos pesados de mercadorias

Uma vez que esta dissertação se encontra na sequência de estudos prévios sobre a frota da Lacticoop, assim como na otimização de rotas da mesma, torna-se relevante perceber um pouco do estado da arte realizado a este nível. Relativamente à gestão de frotas de veículos pesados de mercadorias, têm sido efetuados diversos estudos. Com vista a minimizar os custos de operação de uma frota de mercadoria, Coslovich et al. (6) desenvolveram um trabalho baseado num algoritmo de cálculo cuja finalidade seria otimizar as rotas de distribuição de contentores. No caso de estudo referido, o principal objetivo era reduzir os percursos dos veículos pesados sem contentores, assim como, as distâncias percorridas com contentores vazios. Para a realização deste estudo, foram utilizadas bases de dados de rotas reais assim como dados gerados aleatoriamente por computador, para um teste mais eficiente do algoritmo desenvolvido (6).

Ainda relativamente à otimização de rotas, Vidović et al. (7) desenvolveram um estudo em que, a teoria explicada para uma ótima operação da frota de transporte, pode ser adotada para diversos tipos de frotas de mercadorias. Apesar dos autores deste estudo se basearem no transporte de contentores com dimensões padrão, algumas das suas afirmações são de carácter relevante para o caso de estudo da frota de veículos da Lacticoop. Nomeadamente, é sugerido que a especificidade do problema da gestão de rotas, reside no facto de cada veículo pesado dever aglomerar vários nodos, ou seja, pontos de carga numa só rota, recorrendo, se necessário, à utilização de reboque. Com isto, uma distância mais reduzida é realizada para responder às mesmas necessidades de transporte de diversas cargas localizadas em diferentes fornecedores (7).

As frotas de veículos pesados de mercadorias podem ser otimizadas, não só tendo em conta as rotas a utilizar, mas também, adaptando a quantidade e tipo de veículos às necessidades. Para responder a este requisito de gestão, Kang et al. (8) apresentaram modelos matemáticos para otimizar o tamanho da frota de veículos pesados envolvendo transporte de mercadorias. O modelo matemático em questão faz uso dos dados reais recolhidos durante múltiplos ciclos, garantindo uma análise geral com base no desempenho da frota em períodos não pontuais (8).

Para uma adequada análise do tipo e tamanho da frota de veículos a utilizar por uma empresa, diversos fatores são preponderantes, tais como, o tipo de rotas a executar, preços dos veículos, e necessidades comerciais atuais e futuras. A fim de obter uma solução mais fiável, torna-se importante a utilização de um plano a longo prazo. Ao nível do interesse de uma empresa, a solução mais apetecível pode ser possuir o mínimo de veículos possível e executar as rotas mais curtas. No entanto, esta combinação nem sempre é possível, daí que seja relevante a análise sobre o problema da rota de cada veículo *Vehicle Routing Problem* (VRP). Como resposta a uma análise dinâmica a longo prazo do tipo e tamanho de uma frota, os investigadores Zhang e Li desenvolveram um modelo matemático baseado no VRP (9).

Numa análise mais detalhada sobre o problema do dimensionamento de uma frota, Belfiore e Yoshizaki, ao serviço da Universidade de São Paulo, publicaram um artigo em que, uma análise VRP foi aprimorada tendo em conta uma frota de veículos real heterogénea. Segundo estes autores, numa empresa real, é comum a situação em que a frota é constituída por diversos veículos com características diferentes. Como tal, a otimização de rotas e associação das mesmas aos diversos veículos constituintes da frota, implica uma coerente consideração das características físicas para redução de custos. O algoritmo desenvolvido na sequência do artigo referido é apresentado ainda como capaz de se adaptar a situações em que o tipo de carga a ser transportada possa variar de categoria (10).

Repoussis e Tarantilis ao serviço da Universidade de Atenas publicaram um artigo relativo ao dimensionamento de frotas de mercadorias constituídas por diferentes veículos. Neste estudo, foram tidas em consideração as diferentes capacidades de carga e características dos diversos veículos, assim como, as diversas rotas a serem efetuadas. O algoritmo associado ao estudo utiliza dados recolhidos a longo prazo tendo como objetivo a minimização de custos de transporte. Como tal, este é mais um exemplo de otimização de rotas e frotas através de programação capaz de analisar cenários mutáveis, garantindo uma capacidade de adaptação a novas exigências de transporte (11).

As tendências de pesquisa sobre gestão de frotas consistem no desenvolvimento de modelos e algoritmos, combinando o tratamento de dados reais com previsões e otimização de métodos de decisão. Quanto à eficiência computacional dos métodos de solução para problemas de gestão de frotas, esta pode ser significativamente melhorada através de computação paralela e distribuída. A integração de algoritmos exatos e meta-heurísticos em métodos cooperativos de pesquisa, o desenvolvimento de mecanismos de cooperação baseada em princípios de programação matemática, métodos de decomposição, integração de métodos de pesquisa operacional e técnicas de inteligência artificial, são os caminhos mais promissores a serem seguidos (12).

Para melhor compreender o comportamento de uma instituição na aquisição de uma frota de veículos, a Universidade da Califórnia realizou uma pesquisa recorrendo ao contacto direto com diversos tipos de grupos. O intuito do estudo foi categorizar e caracterizar os processos de decisão utilizados pelas organizações na aquisição de um novo veículo, ou ainda, na adoção de uma nova tecnologia. Diversas questões foram analisadas com vista a um claro reconhecimento dos fatores preponderantes nas tomadas de decisão. Quanto às tomadas de decisão, os investigadores Nesbitt e Sperling, procuraram saber quem são os responsáveis principais, qual o processo seguido pelas organizações, o grau de formalidade e regras adotadas, a influência das características da frota e práticas de operação existentes, e, finalmente, o peso dos custos associados. Segundo este estudo, compreender como são tomadas as decisões para a aquisição de uma nova frota é determinante. Tal facto é justificado pela rotina de decisões adotada durante o renovamento e manutenção de uma frota já existente. Como tal, as primeiras decisões de uma organização podem vir a ter um impacto não desprezível a longo prazo. Os resultados da pesquisa afirmam que fatores de ordem burocrática podem comprometer cerca de metade das frotas de veículos. Neste tipo de decisões é seguido um processo lento e, sujeito a diversas aprovações. Muitas vezes, existem ainda condicionantes legais ou incentivos fiscais que fortalecem este tipo de decisão. No entanto, existe ainda decisões maioritariamente afetadas por aspetos hierárquicos. Frotas definidas por este tipo de decisões chegam a ter uma representação de 1/3 da totalidade. Estas são mais resistentes a mudanças de políticas, no entanto, são também mais recetivas a renovação por incentivos ao nível de custos de aquisição de veículos e operação dos mesmos (13).

A quantidade de poluição produzida por um veículo de mercadorias depende, entre outros fatores, da sua carga e velocidade. Como tal, o estudo alusivo ao problema relacionado com rotas

e poluição, em inglês *Pollution-Routing Problem* (PRP) surge como extensão ao VRP. O PRP tem em conta, não só as distâncias percorridas, mas também, a quantidade de gases com efeito de estufa emitidos, combustível, duração das viagens e respetivo custo. Como tal, uma análise PRP apresenta uma solução ótima menos evidente do que no caso VRP. Contudo, esta possui um maior potencial de poupança relativamente aos custos totais.

Como anteriormente referido, uma análise baseada no VRP é centralizada no planeamento do transporte rodoviário e focaliza-se na gestão de rotas para as frotas de veículos numa dada rede de operação. Uma das principais variáveis a ter em conta ao nível do VRP é a capacidade de carga dos veículos. Outra importante variável adjacente é a exigência de cumprimento de prazos de cada cliente. Os objetivos do VRP incluem a minimização de distâncias percorridas ou de custos das mesmas, sendo que ambos variam linearmente com a distância. Em contrapartida, através do PRP, uma filosofia de gestão de energia e sensibilidade ambiental é também tida em conta.

Um estudo, realizado por Bektaş e Laporte, baseou-se no PRP para obter uma análise mais precisa sobre gestão de rotas e poluição adjacente. Este, após ter introduzido, modelado e analisado o PRP como variante do VRP, considerou que, entre outros fatores, um importante efeito colateral do transporte de mercadorias é a emissão de CO₂. Este estudo considerou que minimizar as emissões de gases poluentes não é uma solução diretamente relacionada com a economia de custos. Existe, portanto, outros fatores mais relevantes como custos em combustível e mão-de-obra. O tradicional objetivo de minimização das distâncias não significa necessariamente redução de consumo de combustível ou custos relacionados com o condutor. Em contraste, uma política de minimização de custos não implica redução de consumo de energia. De facto, muitas vezes, implica mesmo uma solução em que o consumo energético é mais elevado, assim como as emissões de gases poluentes, na finalidade de reduzir os custos relativos ao condutor. Numa solução de minimização de custos, a otimização das despesas inerentes ao condutor podem proporcionar uma poupança na ordem dos 20%, enquanto outros representam poupanças de 5-8% dependendo das eficiências dos motores e condicionantes temporais de operação. A redução de cargas acumuladas não implica uma redução de consumos energéticos, particularmente quando existem restrições temporais de operação. A utilização de menos veículos, conjugada com uma elevada taxa de utilização da capacidade de cada um, proporciona um menor consumo de combustível. Relativamente à tecnologia presente nos veículos constituintes da frota, esta pode possibilitar uma maior eficiência energética e consequente redução de consumo de combustível, assim como, redução das emissões de gases poluentes (14).

Nos Estados Unidos, um estudo foi elaborado por Schweitzer et al. (1), com vista a compreender o comportamento dos condutores de veículos pesados Diesel. Neste estudo, abrangendo 350 condutores, foram examinados os motivos que os levavam a adotar atitudes a favor do ambiente, tais como desligar o motor do veículo quando plausível. No reconhecimento de fatores preponderantes para os diversos comportamentos registados pelos condutores, destacam-se, nomeadamente, influências culturais, idade e sexo. Os condutores demonstraram, de um modo geral, preocupação com o esgotamento de recursos, consumo de combustível e custos associados. Contudo, os mesmos consideraram que os custos da tecnologia e de comportamentos de condução influenciam a adoção de estratégias amigas do ambiente (1).

Atualmente, as transportadoras encontram-se sob constante pressão para compensar encargos de combustíveis com redução de custos ou estratégias de geração de receita. Como tal, uma oportunidade para redução de custos está na gestão de ativos. Na sequência deste problema, um projeto foi desenvolvido por Lee et al. (15). Este trabalho apresentou modelos de alocação de recursos, com base em programação, para uma gestão de cargas a atribuir aos veículos constituintes de uma frota segundo o grau de flexibilidade dos prazos de entrega. O trabalho prestou duas contribuições principais. Em primeiro lugar, formulou o problema como um modelo

de otimização multiobjectivo, minimizando o número de veículos pesados necessários, bem como os custos associados a atrasos ou precocidade, e, demonstrou como melhorias no uso da frota podem proporcionar poupanças. Em segundo lugar, mostrou um modelo de duas fases com um algoritmo polinomial capaz de produzir soluções de agendamento ótimas num tempo razoável. Os modelos apresentados são úteis para resolver problemas em dois contextos distintos, sendo eles, agendamento de entregas e gestão de cargas e veículos. A ideia presente no estudo enunciado é utilizar as possíveis reduções de custos, associadas a uma redução do tamanho de uma frota, para oferecer um serviço mais económico ao cliente e, obter diretamente maior flexibilidade de prazos de entrega (15).

2.2 Introdução aos mais conhecidos modelos de simulação de emissões

No âmbito do estudo e análise do consumo de combustível e emissão de gases poluentes ao nível dos transportes, são diversos os modelos computacionais disponíveis no mercado. Estas ferramentas oferecem a possibilidade de um estudo de veículos individuais ou mesmo do comportamento de uma frota, garantindo um nobre grau de rigor. Com vista a otimizar o comportamento e atuação dos veículos de mercadorias, é possível recorrer a testes físicos em dinamómetros. Contudo, os modelos computacionais vingam pela facilidade e economia com que revelam resultados com elevado nível de precisão. Alguns modelos disponíveis são o CMEM, TREM, EMFAC, MOBILE 6, COPERT 4, e MOVES.

A Universidade da Califórnia desenvolveu o modelo microscópico *Comprehensive Modal Emissions Model* (CMEM). Este modelo tem a potencialidade de prever para cada segundo as emissões de escape de dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC) e óxidos de azoto (NO_x), assim como o consumo de combustível, baseando-se em diferentes operações de transporte de uma frota de veículos ou de veículos individuais. O CMEM é uma modelação baseada em componentes, ou seja, para cada tipo de fenómeno físico associado ao funcionamento do veículo existe uma componente cuja representação analítica é composta por vários parâmetros que caracterizam o processo. Cada componente tem o respetivo consumo de combustível e processo de emissão, sendo que os diversos parâmetros que a caracterizam diferem tendo em conta o tipo de veículo, motor, nível de deterioração e tecnologia para controlo de emissões. Através da metodologia do CMEM é possível abranger um vasto leque de parâmetros físicos com vista a determinar o consumo de energia, emissões de diferentes modelos de veículos e influência da aplicação de novas tecnologias (16). Um exemplo da aplicação do modelo CMEM é o estudo realizado por He e Wang (17) para a determinação dos fatores de emissão de veículos em ambiente urbano. Relativamente ao uso do CMEM existe ainda um interessante estudo, realizado pela Universidade de Michigan, sobre emissões dos veículos em congestionamento, comparando diferentes zonas, horas de ponta e condições de fluxo livre (18).

O TREM é um modelo de emissões de transportes para estrada para a modelação de consumos e emissões de poluentes (19). Este modelo foca a sua atenção nos poluentes libertados para atmosfera pelos transportes rodoviários, tendo como base funções de emissões derivadas da metodologia MEET/COST. O TREM tem a possibilidade de modelação dos poluentes CO_2 , CO, NO_x , VOC (incluindo metano), SO_2 , partículas e consumo do veículo. O modelo tem como parâmetros de consideração a composição da frota de veículos, a velocidade média, o tipo e cilindrada do motor, ano do modelo e o volume de tráfego em cada via.

Com vista a calcular as taxas de emissão dos diversos veículos motorizados, nas estradas nacionais, locais e autoestradas da Califórnia, a *California Air Resources Board* (CARB) desenvolveu um modelo de fatores de emissão (EMFAC). Através deste modelo são calculados

fatores de emissão e inventários de emissões para os poluentes primários como HC, CO, NO_x, CO₂, PM, SO_x, Pb, assim como para o consumo de combustível. Para calcular o inventário de emissão estadual ou regional, o modelo multiplica as taxas de emissão pelos dados da atividade de cada veículo fornecidos pelas agências regionais de transporte. Os resultados obtidos ao nível das emissões são influenciados pelas características cinéticas dos veículos (20). Huai et al (21), em colaboração com a CARB levaram a cabo uma análise relativa à atividade e emissões dos veículos pesados de mercadoria a gasóleo com especial atenção para as emissões de NO_x e PM com a utilização da ferramenta EMFAC (21). A mesma instituição publicou ainda outra análise relativa a emissões reguladas em geral de pesados de mercadorias usando também o EMFAC (22).

Para o cálculo das taxas de emissão, tendo em conta diversas condições externas, tais como climatéricas ou de fluxo de tráfego, a US EPA desenvolveu o modelo MOBILE 6. Esta ferramenta tem o potencial de calcular médias dos fatores de emissão de frotas ao nível de poluentes como HC, NO_x e CO, tanto para veículos a gasolina como a gasóleo ou gás natural. O modelo distingue ainda os veículos ligeiros, pesados e motociclos desde o ano 1952 até 2050. O MOBILE 6 torna também possível estimar o número de partículas de escape e poluentes relacionados, aromáticos cíclicos, hidrocarbonetos e dióxido de carbono. Esta poderosa ferramenta demonstra ainda mais as suas capacidades quando permite ao utilizador a determinação de subcomponentes para alguns poluentes, nomeadamente, emissões evaporativas de HC para veículos a gasolina relacionadas com o abastecimento, sendo elas: emissões diurnas (provenientes do aumento da temperatura durante o dia e durante a paragem do veículo); absorção de emissões a quente (geradas quando o veículo para depois de uma viagem, visto que o combustível aqueceu); perdas de execução (emissões também relacionadas com o aquecimento do combustível direta ou indiretamente); perdas em repouso (devido ao escoamento e fugas do vapor de gasolina ao longo dos componentes envolvidos) e as emissões de reabastecimento (perdas de vapor de gasolina para o exterior derivada do abastecimento do veículo). O MOBILE 6 tem ainda em conta, para o cálculo das emissões, a hora do dia, o tipo de estrada, a categoria de veículo, entre outras características para uma completa modelação (23).

O COPERT 4 é outro modelo de cálculo de emissões para o setor dos transportes (24), desenvolvido na Europa, é capaz de estimar emissões de poluentes atmosféricos principais como NO_x, CO, compostos orgânicos (VOC), partículas (PM), NH₃, SO₂ e metais pesados, assim como emissões de gases contribuintes para o efeito de estufa como CO₂, N₂O e CH₄. É ainda de referir a capacidade de previsão e especificação de monóxido de azoto/dióxido de azoto (NO/NO₂), carbono elementar e matéria orgânica de PM e VOCs, incluindo os hidrocarbonetos aromáticos cíclicos (PAHs) e os poluentes orgânicos persistentes (POPs).

Esta ferramenta possui os regulamentos de emissões europeus para além de distinguir diversos tipos de veículos tendo em conta o cenário em que se insere. Para o cálculo de emissões, o programa diferencia ainda quando o motor térmico está a trabalhar a frio e quando está a temperatura estabilizada. O programa é ainda capaz de calcular as emissões de compostos orgânicos voláteis não metânicos (NMVOC), provenientes da evaporação do combustível, assim como as partículas (PM) relativas ao desgaste dos diversos componentes dos veículos. Em suma, esta ferramenta faz uso de registos de velocidades médias para a determinação de emissões totais. O COPERT4 foi utilizado, nomeadamente, num artigo sobre a comparação de emissões de partículas derivadas de testes em dinamómetro e medições para situações reais em veículos pesados e ligeiros de mercadorias (25).

Nos Estados Unidos da América, a Agência de Proteção Ambiental (EPA) utiliza atualmente o modelo de cálculo de emissões MOVES. Este é um modelo deliberadamente talhado para processar bases de dados ao invés dos seus antecessores. Todo um vasto conjunto de dados como, tipo de veículo e suas características de funcionamento, zona geográfica, período de

tempo, tipos de estrada e poluentes em causa são passíveis de ser definidos pelo usuário. O programa faz simulações de emissão de poluentes quando se dá o arranque a frio e durante momentos de paragem (*ralenti*), para além do processo de emissões a quente com temperatura estabilizada.

Relativamente ao facto do MOVES estar preparado para trabalhar com bases de dados, o processo de importação de possíveis novos dados a serem incorporados no modelo torna-se de execução fácil, respondendo muito positivamente às necessidades mais específicas de cada utilizador.

O modelo MOVES foi desenvolvido para dar resposta a questões pertinentes como a mudança do tipo de sistema de propulsão de uma frota e a variação das emissões desta, face a diferentes cenários de atuação. O propósito desta ferramenta é possibilitar estimativas com elevado grau de rigor para emissões de diversos veículos e frotas de veículos, segundo um vasto leque de condicionantes definidas pelo usuário.

O MOVES é um programa de distribuição gratuita disponibilizado pela EPA segundo os termos da GNU (*General Public License*). Este é desenvolvido em JavaTM e faz uso da gestão de bases de dados MySQL. Por isso, os principais parâmetros de entrada e saída do modelo, assim como, a alocação de dados internos são bases de dados MySQL.

A versão do modelo MOVES (MOVES2010) possibilita a modelação de emissões para os anos civis de 1990 e 1999 a 2050. Esta última versão teve ainda uma recente atualização, sendo ela o MOVES2010a. Esta incorpora, nomeadamente, novos parâmetros relacionados com a energia para veículos ligeiros de passageiros e mercadorias, assim como novas taxas de emissão de gases com efeito de estufa. A versão MOVES2010a, disponibilizada em Agosto de 2010, é a mais recente atualização do modelo MOVES2010. Esta versão foi desenvolvida com base no estado de arte da EPA para permitir uma análise de emissões de veículos em autoestrada, assim como, para que o usuário possa facilmente atualizar a simulação com novos veículos ligeiros e comerciais, e novas normas de emissões de gases com efeitos de estufa. O MOVES2010a incorpora novas normas de emissões norte-americanas de gases poluentes para veículos ligeiros e comerciais respetivos aos anos de 2012 e atualizações das normas de consumo de combustível de veículos compreendidos entre os anos 2008 e 2011. O MOVES2010a inclui reduções de gases com efeito de estufa associadas a essas normas em anos civis futuros e, pequenas reduções de emissão de enxofre associadas à redução no consumo de combustível do veículo. Relativamente aos diversos aprimoramentos que a versão MOVES2010a possui, é de referir que o impacto no critério de cálculo das emissões poluentes é reduzido, comparando com a anterior versão MOVES2010. Estas alterações são mais evidentes ao nível do aumento das emissões de metano e, da diminuição das emissões de compostos voláteis orgânicos (VOC). O MOVES2010a distingue-se da versão anterior pela atualização da taxa de CO₂ para veículos ligeiros de mercadorias, e ainda pelo algoritmo mais rigoroso que responde à legislação relativa à economia de combustível e emissões de CO₂. O algoritmo desta última versão foi ainda desenvolvido para um melhor cálculo de emissões em troços inclinados e, para uma análise mais complexa de emissões de metano com base nas variações de temperatura. Alguns erros relativos ao cálculo de emissões de amónia foram corrigidos (26).

Para a realização desta Dissertação, o modelo MOVES revela-se o mais adequado, visto que, é talhado para trabalhar com bases de dados. Este modelo apresenta também um leque variado de parâmetros a ser definidos para a caracterização de uma frota de veículos, apresentando uma análise mais exaustiva e rigorosa quanto às variações de tráfego, baseada no modelo da potência específica do veículo (VSP).

2.3 Síntese conclusiva do estado da arte

De entre os diversos modelos de cálculo de emissões apresentados previamente, destacam-se o MOVES e COPERT4. Estes são as principais ferramentas utilizadas neste estudo sendo que, o primeiro é desenvolvido para dar resposta, fundamentalmente, às necessidades de estudo de casos norte-americanos. Ao invés, o COPERT4 é uma ferramenta desenvolvida pela Europa que, apesar de limitações quanto à gestão de bases de dados e simulações baseadas em perfis de velocidade, está bem adaptada à realidade europeia e, especificamente, à portuguesa.

Relativamente ao desenvolvimento de estudos sobre frotas de veículos pesados de mercadorias são diversos os tópicos a serem evidenciados. Entre estes, destaca-se o trabalho realizado por Coslovich et al. (6) para a otimização de rotas de distribuição, o modelo VRP, desenvolvimentos do mesmo para uma melhor adaptação a condicionantes da carga a ser transportada e da frota (10), desenvolvimentos na gestão e dimensionamento das frotas (11), o problema relacionado com a gestão de rotas e poluição adjacente (PRP) e, finalmente, o estudo sobre a importante influência do comportamento do condutor nas emissões de poluentes e consumo de combustível (1).

Por fim este trabalho distingue-se por consistir num estudo comparativo aplicado a uma frota de veículos com recurso à utilização de dois modelos de cálculo distintos. De tal forma, é possível confrontar os resultados oriundos das diferentes metodologias entre si e com medições práticas. Adicionalmente é ainda possível usufruir-se das melhores potencialidades de cada modelo com vista a enriquecer a análise.

3 Metodologia

Neste capítulo é esquematizado o processo de elaboração do presente estudo. Este assenta na utilização de bibliografia sobre o tema, assim como, do modelo MOVES como ferramenta principal e, finalmente, do modelo COPERT4 para análise comparativa.

O fluxograma apresentado na Figura 1 representa a metodologia utilizada com vista a atingir os resultados pretendidos com este trabalho.

Numa fase posterior, é apresentado o método experimental de medição de dinâmica dos veículos e o modelo MOVES2010a.

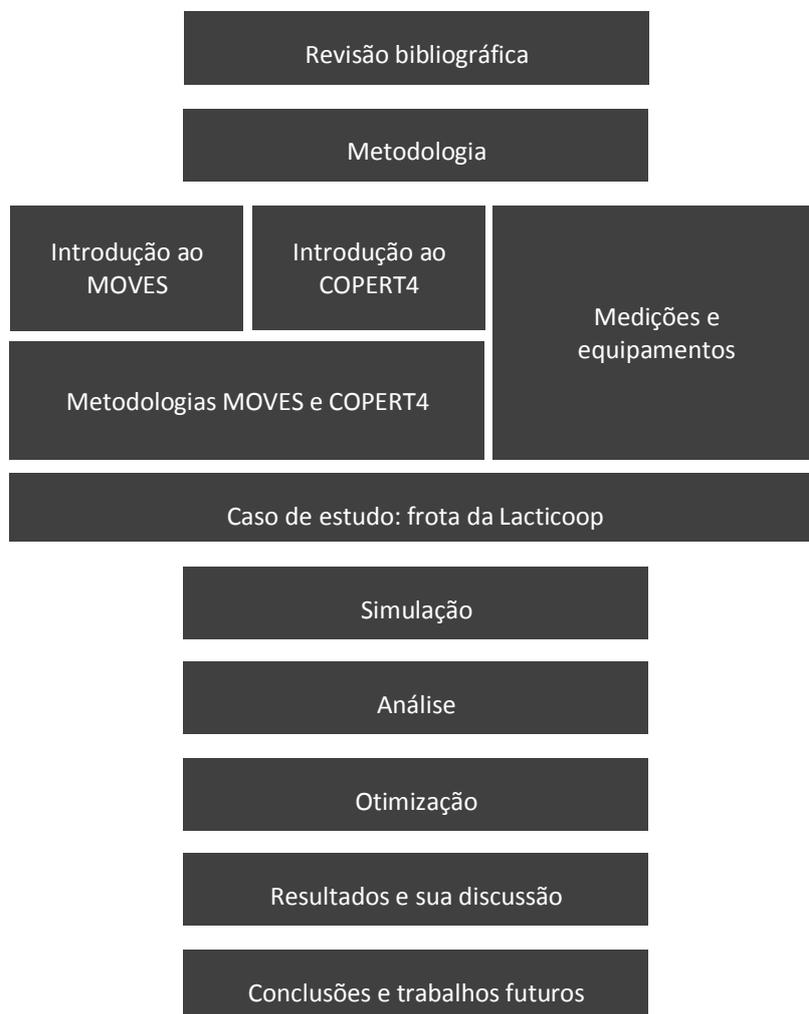


Figura 1 – Esquema metodológico

Para a realização deste trabalho foi respeitada a calendarização de tarefas enunciada no cronograma do Quadro 1.

Quadro 1 – Cronograma de tarefas

Tarefa	2012				
	Fevereiro	Março	Abril	Maiο	Junho
Revisão bibliográfica	■	■	■	■	■
Caracterização da frota da Lacticoop	■	■			
Medições a bordo das viaturas	■	■	■		
Cálculo do consumo energético e das emissões da frota de veículos pesados de mercadorias com o modelo MOVES	■	■	■		
Análise de diferentes cenários			■	■	
Comparação dos resultados do modelo MOVES com o modelo COPERT 4				■	
Escrita da Dissertação de Mestrado			■	■	■

3.1 Medições e equipamento

Com vista a recolher dados como coordenadas *GPS* e duração das rotas realizadas pelas viaturas, foi utilizado o dispositivo *GPS Travel Recorder*, modelo *BT-Q1000XT* ilustrado na Figura 2. Para estes percursos foram obtidas medições segundo a segundo das coordenadas geográficas. Posteriormente, os dados armazenados pelo equipamento a bordo foram processados para se obterem os perfis de velocidade e topográficos formatados à medida do modelo de simulação MOVES.



Figura 2 - *GPS Travel Recorder BT-Q1000XT*

O dispositivo BT-Q1000XT é desenhado e desenvolvido especificamente para armazenamento de dados relativos a viagens. Algumas das capacidades do dispositivo são: (27)

- Memória com capacidade de 40 dias
 - o Realizando uma viagem de 12h diárias com registos por cada 5 segundos, o Q1000XT tem capacidade para até 40 dias de armazenamento de dados, sendo assim uma mais-valia para viagens de longo curso. O dispositivo permite ainda o armazenamento de até 400000 pontos ao longo do percurso.
- Sensor de vibração integrado
 - o Com vista a uma maior eficiência, o dispositivo integra um sensor de vibração capaz de detetar movimento, podendo assim poupar memória e bateria.
- Cronograma temporal personalizado
 - o Através da função de gestão inteligente de registos, o dispositivo pode, automaticamente iniciar e parar os registos dependendo das personalizações introduzidas através do programa QTravel.
- Controlo de velocidade e aviso sonoro
 - o O dispositivo oferece a possibilidade de notificações sonoras para controlo de velocidade, indicação de pontos geográficos de interesse ou mesmo aviso de memória cheia.

O GPS Travel Recorder BT-Q1000XT tem as seguintes especificações: (27)

- o Chipset MTKII de 66 canais, com a alta sensibilidade de 165 dBm e baixo consumo de energia com autonomia de até 42 horas de utilização;
- o Iniciação rápida de menos de 15 segundos, através do sistema A-GPS com uma rápida sincronização com os satélites para uma boa resposta a possíveis solicitações de arranque repentino;
- o Botão POI (Ponto de Interesse) que permite uma fácil e imediata memorização de um ponto de interesse;
- o Permutador para modo *datalogger* (LOG) ou *datalogger* e recetor *GPS Bluetooth* (NAV);
- o Avisos sonoros de diversos estados do dispositivo;
- o Capacidade de calendarização de tarefas para um funcionamento autónomo durante múltiplos períodos de tempo devidamente pré-configurados;
- o Compatibilidade com sistema de correção de posição WAAS/EGNOS;
- o Conetividade Bluetooth e USB com dispositivos eletrónicos com conexão compatível e *software* de suporte para navegação;
- o Precisão de aproximadamente 3 metros sem DGPS e 2,5 metros com DGPS ativado;
- o Três modos possíveis de pré-configuração para registo automático (Log), registo por tempo, por distância percorrida ou registo para sempre que haja alteração de velocidade;
- o Capacidade de funcionamento como recetor de sinal *GPS Bluetooth* para navegação, ou simplesmente como *Datalogger*;
- o Ligação ao computador através de conexão USB 2.0, possibilitando transferência dos dados armazenados e alterações das configurações do dispositivo;
- o Dimensões: 72,2 (comprimento) x 46,5 (largura) x 20 (espessura) mm;
- o Massa: 65 g.

Para a utilização do *GPS Travel Recorder BT-Q1000XT*, existe o *software QTravel*, cujas especificações principais são: (27)

- o Plataforma desenvolvida para uma estrutura assente em bases de dados, promovendo uma fácil gestão da informação armazenado pelo dispositivo;
- o Possibilidade de escolha de múltiplas línguas;
- o Integração com o *Google Earth* para uma fácil e direta observação das rotas através do mapa da *Google™*, assim como, possibilidade de incorporação de fotografias georreferenciadas nos mapas dos percursos e descarregamento das mesmas para aplicações informáticas;
- o Edição e análise de rotas facilitando a geração de gráficos de velocidade e altitude;
- o Simulador de rotas;
- o Alteração e gestão de dados armazenados;
- o Sistema de informação para cada ponto de posicionamento armazenada pelo dispositivo através da simples passagem do cursor do rato sob o ponto desejado;
- o Armazenamento e gestão das bases de dados recolhidas do dispositivo, facilitando a pesquisa e edição das mesmas;
- o Integração direta com o *Google Maps*;
- o Capacidade de exportação de dados sob vários formatos diferentes: GPX / PLT / CSV / NMEA / *Google Earth*;
- o Possibilidade de acesso a dados originais e definição de parâmetros cujo interesse é mais relevante.

3.2 Recolha de dados a bordo das viaturas e metodologia VSP

A utilização do equipamento *GPS* para a recolha de dados a bordo das viaturas da Lacticoop teve como fundamento a utilização da metodologia de cálculo VSP (*Vehicle Specific Power*) para a simulação dos cenários reais da atividade dos veículos pesados de mercadorias da Lacticoop.

As condições de condução são extremamente influentes no processo de emissão de poluentes e consumo de energia. Alguns exemplos são o tipo e inclinação da via, qualidade do piso, condições climatéricas, como vento e chuva, e velocidade com que o veículo se desloca. Todas as variáveis que caracterizam o desempenho real de um veículo são de difícil aproximação em simulação. No entanto, através da variável VSP, pode-se realizar uma maior aproximação à realidade através do cálculo da potência específica exigida ao veículo em cada instante. Na Equação 1 é apresentada a relação analítica entre a potência e a massa do veículo. A potência é igual à derivada, em cada instante, da soma da energia cinética e potencial com o produto da velocidade com as forças de resistência ao ar e a atritos internos e externos (fricção interna e rolamento).

Equação 1 – Vehicle Specific Power (28)

$$VSP = \frac{Potência}{massa}$$

$$= \frac{\frac{d}{dt}(E_{Cinética} + E_{Potencial}) + F_{Rolamento} \cdot v + F_{Aerodinâmica} \cdot v + F_{Fricção\ interna}}{m}$$

Com os dados obtidos a bordo das viaturas através da utilização de equipamento *GPS* torna-se possível obter os valores de velocidade do veículo e inclinação da via a cada segundo. Desta forma é possível simular a situação real segundo a variável *VSP*, calculando com mais rigor a energia consumida durante a realização de cada rota. Adicionalmente à simulação baseada em velocidades médias presente no modelo *COPERT4*, o modelo *MOVES* oferece a possibilidade de processar estes dados obtidos segundo a segundo, simulando um cenário muito mais parecido com o real.

Portanto, a variável *VSP* tem a vantagem de relacionar diretamente o processo de emissão de poluentes com as exigências de potência, ter interpretação física direta e de poder ser calculada a partir de medições práticas na estrada (28).

3.3 MOVES2010a

O *MOVES2010a* é a mais recente versão do modelo *MOVES* desenvolvido pela *EPA*. Trata-se de um modelo de cálculo de emissões adequado ao estudo de uma frota de veículos, tendo como mais-valia poder trabalhar com bases de dados.

O modelo *MOVES* incorpora dados de entrada que incluem a caracterização da frota de veículos, características do tráfego, informação sobre o combustível e parâmetros meteorológicos. Com base nestes parâmetros de entrada, são então gerados inventários de emissões para a escala geográfica desejada (macro ou micro escalas), bem como para a dimensão temporal selecionada (ano, dia ou hora).

Quatro funções principais constituem a estrutura básica do *MOVES*: um gerador de atividade, um gerador de distribuição do modo de operação, um gerador de distribuição da fonte de identidade e uma calculadora de emissão (Figura 3) (29).

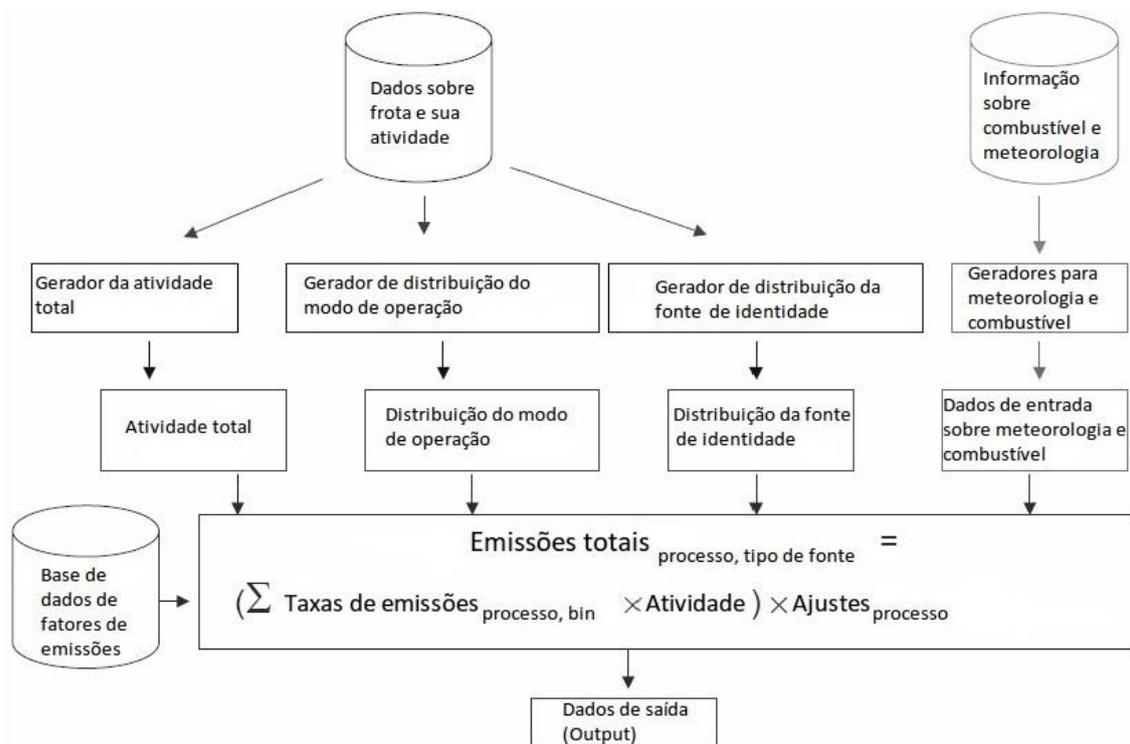


Figura 3 - Estrutura geral do modelo MOVES (adaptado de (29))

3.3.1 Módulos geradores e gestão de dados

No MOVES, os dados de atividade básicos são a população de veículos e as milhas percorridas pelos mesmos (VMT) para o ano base de 1999 (30). Inicialmente, a função da atividade no MOVES, gerador de atividade total (GAT), faz corresponder o ano base da população de veículos e MPV ao ano pretendido da análise e, posteriormente, faz a sua distribuição por tipo de via, classe do veículo, idade do veículo e período de tempo em conformidade com os dados observados nas várias fontes. A função da atividade do MOVES também realiza um processo de conversão dos dados, pois todas as atividades utilizadas para calcular as emissões são especificadas em unidades de tempo, à exceção do início do funcionamento do motor dos veículos. Por exemplo, o modelo define as horas de operação, *Source Hours Operating* (SHO), como atividades básicas para estimar as emissões de escape e evaporativas, assim como as emissões relacionadas com as travagens e desgaste de pneus (31).

O MOVES classifica os veículos em diferentes fontes de identidade. As fontes de identidade são definidas para representar combinações únicas de classes de veículos, grupo de modelo anual, peso de veículo, cilindrada do motor e tecnologia e tipo de combustível (30, 31). O gerador de distribuição da fonte de identidade, *Source Bin Distribution Generator* (SBDG), produz identidades personalizadas que são subsequentemente usadas para ponderar taxas de emissões.

O gerador de distribuição do modo de operação, *Operating Mode Distribution Generator* (OMDG), classifica os modos de operação dos veículos segundo diferentes identidades associadas com a potência específica do veículo, *Vehicle Specific Power* (VSP), e velocidade. Este desenvolve modos de distribuição baseados em quarenta estilos de condução pré-definidos (31). As taxas de emissões do modelo MOVES são função direta do modelo VSP, um método que possibilita cálculos de emissões mais realistas do que quando as mesmas taxas de emissões são baseadas

nas modelos fundamentados em velocidades médias dos veículos (32, 33). O utilizador pode ainda introduzir valores específicos de VSP localmente nas distribuições. O modelo VSP representa a potência exigida por um veículo quando este opera em variados modos e velocidades. Esta função produz frações de modos de operação para cada identidade que, posteriormente são usadas como um dos diversos dados de entrada para o cálculo base das taxas de emissões.

O módulo de cálculo de emissões do MOVES conjuga taxas de emissões modais com as atividades associadas aos veículos. No MOVES, as taxas de emissões base para cada processo de emissão, distinguidas por fontes de identidade e modo de operação, são primeiramente ajustadas por uma série de fatores tendo em conta fonte de combustível, temperatura e ar condicionado. As taxas de emissão ponderadas são então desenvolvidas com base nesses ajustes, sendo usadas frações das fontes de identidade e frações dos modos de operação, fornecidos pelo gerador de distribuição da fonte de identidade e pelo gerador de distribuição do modo de operação, respetivamente (31). Finalmente, as taxas de emissão ponderadas, em unidades de gramas por segundo por arranque, são relacionadas com atividades fornecidas pelo total do gerador de atividade. De seguida, o modelo gera quantidades de emissões por área, período de tempo, classe de veículo, ano do modelo e tipo de combustível.

O MOVES é desenvolvido em linguagem JavaTM, e faz uso do MySQL, uma relação estrutural entre linguagem de consulta e sistema de base de dados. (31) Os dados de entrada, dados de saída, atividades base, taxas de emissão base e todos os dados de cálculo intermédio do MOVES são armazenados e geridos em tabelas da base de dados MySQL. Assim, as funções de consulta do modelo MOVES, assim como a manipulação dos dados do MySQL, estão em conformidade com parâmetros especificados na interface gráfica do utilizador.

3.3.2 Características principais do modelo MOVES

- O MOVES inclui dados das taxas de emissões e de atividades de veículos pré-definidas. Portanto, na sequência de calcular fatores de emissões detalhados, o MOVES distingue inventários para diferentes tipos de detalhe geográfico. No MOVES, as emissões são agregadas a partir de uma análise mais abrangente dos tipos de estradas, tecnologias dos motores, e categorias de fontes de combustível.
- O MOVES desenvolve taxas de emissão de funcionamento associadas aos modos de funcionamento do veículo. As taxas de emissão são dependentes, segundo a segundo, do VSP e velocidade. Assim, os pares da atividade das viagens em conjunto com as taxas de emissão modais, são classificados em unidades de tempo. O MOVES converte a atividade das milhas percorridas pelo veículo ou de outro tipo de medida de atividade em unidades denominadas *Source Hours Operating* (SHO). Uma unidade SHO é simplesmente uma medida do número de horas que uma determinada viagem demora.
- O MOVES distribui os dados da atividade recorrendo a diferentes tipos de resolução temporal (horas de um dia, dias da semana, fim-de-semana, cada mês do ano) para que o inventário final de emissões possa ser agregado em vários tipos de dimensões temporais.
- O modelo MOVES é capaz de estimar o consumo de combustível e emissões para um vasto leque de poluentes e gases com efeito de estufa. Este modelo faz ainda distinção entre diferentes tipos de vias consoante as características do pavimento.
- O MOVES classifica os veículos com base em padrões de atividade, bem como em desempenho de emissões. Os resultados da classificação representam um subconjunto do sistema de monitorização do desempenho na rodovia, *Highway Performance Monitoring*

System (HPMS). Este esquema de classificação faz ligação entre os dados da atividade e os dados das emissões com vista à caracterização dos veículos.

- Finalmente, o MOVES incorpora funções para quantificar as incertezas dos resultados da modelação de emissões (contudo, não inclui incertezas associadas aos dados da atividade da viagem).

3.4 COPERT4

O COPERT4 é uma ferramenta internacional usada para calcular emissões de poluente do ar e de gases com efeito estufa provenientes dos transportes rodoviários. O desenvolvimento do COPERT é coordenado pela Agência Europeia do Ambiente (AEA), no âmbito das atividades do Centro Temático Europeu para a Poluição do Ar e Mitigação das Mudanças Climáticas. O Centro Comum de Investigação da Comissão Europeia gerencia o desenvolvimento científico do modelo. O COPERT foi desenvolvido oficialmente para elaboração de inventário de emissões dos transportes rodoviários nos países membros da AEA. No entanto, é aplicável a todas as pesquisas relevantes, aplicações científicas e académicas (34).

A metodologia deste programa faz parte do inventário de emissões para poluentes atmosféricos da AEA e é consistente com as diretrizes do Plano Intergovernamental para as Mudanças Climáticas (IPCC) de 2006 para o cálculo das emissões de gases de efeito estufa (35). O uso desta ferramenta para calcular as emissões de transporte rodoviário permite um processo transparente e padronizado de acordo com os requisitos das convenções e protocolos internacionais e legislação da UE (34).

As origens do COPERT4 remontam a uma metodologia desenvolvida por um projeto formado para o propósito em 1989 (COPERT 85). Este foi seguido pelo COPERT 90 em 1993, COPERT II em 1997 e COPERT III em 1999. A versão atual é fruto do combinar de resultados de projetos e atividades dedicadas como o projeto MEET (*Methodologies to Estimate Emissions from Transport*), o projeto PARTICULATES (*Characterisation of Exhaust Particulate Emissions from Road Vehicles*), o projeto ARTEMIS (*Assessment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory Systems*), projetos dedicados pelo *Joint Research Centre / Transport and Air Quality Unit*, programas de trabalho anuais realizados pelo ETC/ACM (*European Topic Centre for Air Pollution and Climate Change Mitigation*) e pelo programa ERMES (*European Research Group on Mobile Emission Sources*) (34).

A metodologia presente no COPERT4 foi desenvolvida para a elaboração de inventários nacionais segundo bases anuais. No entanto, tem sido demonstrado que esta metodologia pode também ser usada com um grau de certeza suficiente e elevada resolução. Isto é, para a elaboração de inventários de emissões urbanas com uma resolução espacial de $1 \times 1 \text{ km}^2$ e uma resolução temporal de 1 hora. Desta forma, o COPERT4 é um modelo de análise tipicamente macro quanto a intervalos de tempo, distâncias e velocidades a serem simuladas (34).

3.5 Análise comparativa entre MOVES e COPERT4

Nesta dissertação são utilizadas as ferramentas MOVES e COPERT4. Visto isto, uma análise comparativa entre as especificações de cada modelo torna-se interessante para uma melhor compreensão dos valores de cada um. No Quadro 2 é apresentada a comparação enunciada.

Quadro 2 – Análise comparativa entre MOVES e COPERT4

	MOVES	COPERT4
Características principais	Desenvolvido pela EPA de modo a permitir utilizar bases de dados e simular com base em perfis de velocidade e inclinação. Este é o modelo mais recente utilizado pela EPA.	Desenvolvido pela Universidade Aristotle Thessaloniki com capacidade de simular emissões produzidas por diversas categorias de veículos. Consegue ainda estimar emissões a quente, com arranque a frio, de NMVOC e efeitos de produção de calor.
Parâmetros de entrada	Descrição, escala, intervalos de tempo, limites geográficos, veículos e equipamentos, tipo de estrada, poluentes e processos. Perfis de velocidade e inclinação, valores médios de velocidade e inclinação para os diferentes tipos de via. Possibilidade de definir o grau de fluidez de cada troço, características do combustível e condições climatéricas.	Personalização do lugar geográfico, ano, combustível, tipo de veículo e tecnologia. Possibilidade de definir a carga do veículo, valores médios de velocidade para zona urbana, rural e autoestrada e, finalmente, inclinação média dos percursos. Este modelo permite a definição das características do combustível e das condições climatéricas.
Parâmetros de saída	<p>Lista vasta de fatores de emissão dos poluentes;</p> <p>Possibilidade de obter até 39 tipos de valores de saída, entre emissão de poluentes e consumo de energia;</p> <p>Diferenciação dos fatores de emissão a quente, a frio, evaporativos, associados ao reabastecimento e, gerados pelos pneus e travagens;</p> <p>Energia total consumida sobre a forma de diferentes unidades;</p> <p>Reconhecimento da degradação do veículo causada pelo tempo de vida do mesmo e quilometragem percorrida.</p>	<p>Lista vasta de fatores de emissão de poluentes;</p> <p>Possibilidade de obter até 24 tipos de valores de saída, entre emissão de poluentes e consumo de energia;</p> <p>Diferenciação dos fatores de emissão a quente, a frio e evaporativos;</p> <p>Energia total consumida;</p> <p>Reconhecimento da degradação do veículo causada pelo tempo de vida do mesmo e quilometragem percorrida.</p>

Condicionantes

Desenvolvimento futuro com vista a melhorar o método de interação com o utilizador de modo a que a mesma se torne mais aprimorada e completa.

Incorporação de combustíveis alternativos no modelo.

Lista de tipo de veículos reduzida e limitada quanto à motorização e massa.

Interface de gestão de dados pouco intuitiva;

Falta de ferramenta para simular variações de carga de veículos de transporte de mercadorias.

Limitação quanto à utilização de legislação de emissões diferentes do padrão (norte-americanas).

Impossibilidade de simulações baseadas em perfis de velocidade.

Limitação quanto à utilização de legislação de emissões diferentes do padrão (europeias).

4 Caso de estudo: frota da Lacticoop

A Lacticoop, União de Cooperativas de Produtores de Leite de Entre Douro e Mondego (URCL), é uma união de 23 cooperativas agrícolas cuja atividade principal é a recolha e concentração de leite. Atualmente a Lacticoop é responsável pela recolha de 185 mil toneladas de leite por ano junto de 3750 explorações agrícolas (36).

No processo de recolha de leite são mantidos circuitos que integram locais de recolha viáveis, em termos de qualidade e volume das entregas, e definidos em função da localização das unidades fabris da Lactogal onde se opera a descarga. A Lacticoop pretende fidelizar explorações que pela sua localização, dimensão e continuidade, garantam um volume de entregas nunca abaixo do atual e que respondam aos requisitos de qualidade e salvaguarda das condições ambientais e de bem-estar animal exigidas (36).

Neste capítulo é caracterizada detalhadamente a frota de veículos da Lacticoop, a nível da idade, tara, quilómetros percorridos, consumos médios de combustível anunciados, capacidades de carga, entre outros fatores. São ainda estabelecidas e analisadas algumas das rotas habituais que os veículos da empresa fazem atualmente. Finalmente, são analisados os dados experimentais medidos nos veículos da frota da Lacticoop, tais como velocidades médias, perfis topográficos e outros eventos relevantes para a caracterização do perfil de consumos de veículos nos trajetos definidos.

4.1 Pressupostos e limitações

Nesta Dissertação foram recolhidos dados relativos às rotas realizadas pelas viaturas constituintes da frota da Lacticoop. Portanto, é apresentada a análise daquelas que foram consideradas como rotas com informação suficiente para uma possível simulação. Existem dois tipos de simulações principais. A primeira é a modelação de emissões de poluentes e consumo de combustível com base nas distâncias e velocidades médias para cada rota. A segunda é baseada nos perfis de velocidade e topografia, provenientes da análise e recolha de informação a bordo da viatura nos respetivos percursos.

Devido a limitações de cariz temporal, a maioria das rotas analisadas foram resultado de simulações baseadas em velocidades médias, enquanto uma minoria foi analisada detalhadamente com recurso à recolha de velocidades segundo a segundo e posicionamento geográfico com vista a incorporar o máximo de variáveis na modelação.

4.1.1 Condicionantes da recolha de leite para cada volta

Para cada rota existem quatro tipos de condicionantes para a recolha de leite. Em seguida, cada uma das quatro é enunciada com os respetivos detalhes relevantes.

1. CONDICIONANTES DOS PRODUTORES DE LEITE:

- Hora de Ordenha
- Capacidade dos tanques de frio
- Acessos às explorações leiteiras (Portões e Vias)
- Temperatura do leite
- Tipo de lavagem dos tanques de frio
- Recolha alternada / diária

2. CONDICIONANTES DE CONDUÇÃO:

- Hora de início da jornada
- Quilómetros percorridos na volta
- Tempo máximo de condução efetiva:
 - Máximo de 9 horas de condução ou 10, quando duas vezes por semana
- Tempo de trabalho diário por motorista: condução, carregar, descarregar (15 horas)
- Descanso diário dos motoristas – mínimo de 11 horas, sendo admissível uma redução para 9 horas (três vezes entre dois períodos de repouso semanal)
- Período de condução semanal: 56 horas
- Interrupção do tempo de condução: 45 minutos após 4,5 horas de condução

3. CONDICIONANTES DA VIATURA:

- Relação: Produção dos Produtores / Capacidade da Cisterna
- Alteração de Produção dos Produtores de leite
- Pesagem das viaturas: capacidade de transporte legal
- Tempo de utilização das tomadas de força

4. CONDICIONANTES DA FÁBRICA:

- Horas de descarga nas fábricas

Os diversos condicionantes referidos tornam a escolha e gestão de rotas num processo algo complexo, visto que se trata de um produto alimentar com requisitos de conservação e horários de produção e descarga pouco flexíveis. Conjuntamente com estes fatores há a considerar os direitos e deveres dos condutores relativamente a horários de trabalho. Adicionalmente, surgem ainda as características de cada viatura disponível que, podem apresentar limitações para a recolha em determinados pontos devido, por exemplo, à sua capacidade de carga. Finalmente, e enquadrado nas condicionantes relativas ao produto a ser transportado, surgem os horários dos

produtores, uma vez que se trata de um bem natural proveniente de animais que têm as suas próprias condicionantes naturais de produção.

4.2 Objetivos pretendidos na recolha de informação

O esquema seguinte apresenta a estrutura de recolha e processamento da informação sobre o caso de estudo.

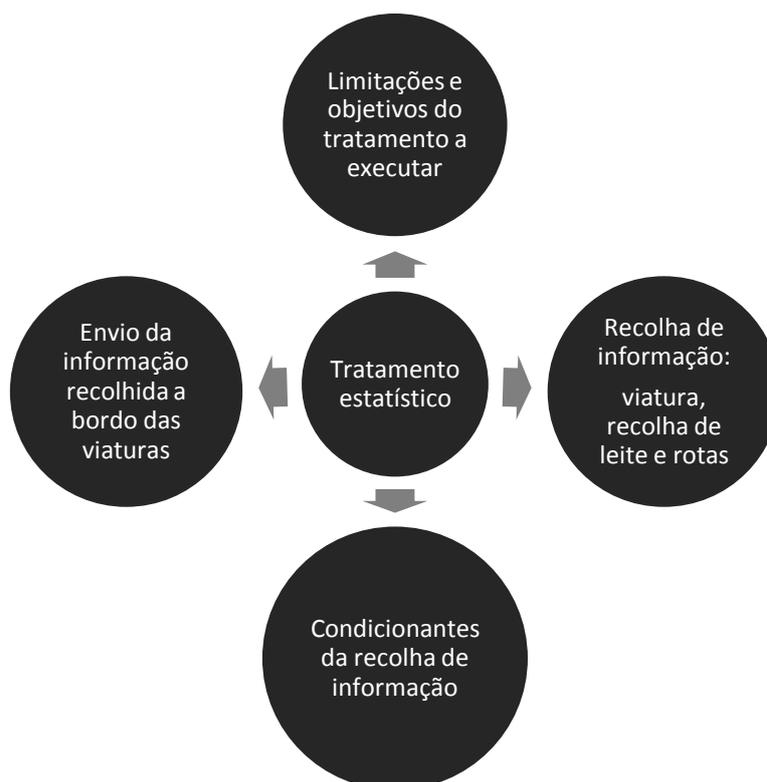


Figura 4 – Esquema da recolha e tratamento de informação

4.2.1 Recolha de Informação

No processo da recolha de informação foram selecionados, cuidadosamente, os parâmetros necessários ao estudo pretendido entre um conjunto generalizado de dados.

Relativamente a cada viatura, foram selecionados os seguintes parâmetros para o estudo:

- Velocidade
- Temperatura do motor
- Consumo médio
- GPS – registo de rotas a bordo
- Registo de paragens

Em relação ao processo da recolha e transporte de leite foram tidos em consideração os seguintes parâmetros:

- Monitorização da temperatura das amostras
- Litros recolhidos por produtor
- Hora de recolha
- Código do produtor
- Número da volta
- Número da viatura
- Número do motorista
- Distâncias percorridas
- Compartimentos utilizados na recolha
- Volumes das amostras

Finalmente foi recolhida informação sobre o estilo de condução de cada motorista por rotas, tipo de estrada, período de condução (manhã, tarde ou noite) e distâncias percorridas.

4.2.2 Relação entre normas europeias e norte-americanas

O modelo MOVES foi utilizado para simular rotas com base em perfis de velocidade e topografia. Tendo em conta que o COPERT4 é desenvolvido para normas europeias, não oferece esta mesma funcionalidade. Contudo, o MOVES utiliza normas de emissões de poluentes norte-americanas, levando à necessidade de um processo de adaptação. Para tal, foi realizada uma pesquisa relativa às possibilidades de incorporação ou adaptação dos parâmetros internos do modelo MOVES para as normas europeias. Segundo a mesma, verificou-se que, ainda não é possível a introdução ou alteração de normas de emissões diferentes das pré-definidas (norte-americanas). Porém Koupal et al. (37) publicaram um artigo onde referem algumas das limitações do modelo, nomeadamente a possibilidade de incorporar normas europeias e o possível desenvolvimento das mesmas capacidades para uma próxima versão.

O desenrolar da pesquisa sobre possibilidades de incorporação de normas europeias no modelo MOVES proporcionou o contacto de entidades responsáveis pelo desenvolvimento do mesmo. Com isto verificou-se que o modelo não oferece possibilidade de incorporar legislação estrangeira, mas que, há possibilidade de tal funcionalidade ver a ser disponibilizada brevemente. Esta informação reforça o potencial valor da utilização deste modelo de simulação, uma vez que num futuro próximo se espera que o mesmo possibilite uma boa adaptação à situação europeia, facultando todo o potencial da análise VSP com utilização de perfis de velocidade e inclinações.

Para a maior aproximação possível ao cenário europeu e à obtenção de dados realistas, realizou-se uma adaptação de normas de emissões de poluentes europeus para norte-americanas. Ou seja, para cada viatura foram desenvolvidas simulações individualmente para recolher cada um dos poluentes. Por exemplo, para o poluente NO_x foi feita a correspondência entre o limite máximo para um veículo pesado de mercadorias europeu e um veículo do mesmo tipo americano, cuja idade representasse um valor igual ou semelhante de emissões do mesmo poluente.

No Quadro 3 estão representadas as normas europeias para as emissões de poluentes em veículos pesados a gasóleo, enquanto no Quadro 4 estão representadas as normas norte-americanas.

Quadro 3 – Normas de emissões europeias para veículos pesados a gasóleo em g/kWh (38)

Norma	Data	PM	NOx	CO
Euro I	1992, < 85kW	0,61	8,0	4,5
	1992, > 85kW	0,36		
Euro II	1996	0,25	7,0	4,0
	1998	0,15		
Euro III	2000	0,10	5,0	2,1
Euro IV	2005	0,02	3,5	1,5
Euro V	2008-2013	0,01	0,4	1,5

Quadro 4 - Normas de emissões norte-americanas para veículos pesados a gasóleo em g/kWh (38)

Data	PM	NOx	CO
1988	0,80	14,5	20,8
1990		8,0	
1991	0,34	6,7	
1994	0,13		
1998		5,4	
2004		2,7	
2007	0,01	0,3	

Com base nas duas legislações apresentadas foi feita uma correspondência em que, para cada situação específica de idade do veículo europeu e poluente em causa, foi determinado o veículo norte-americano cuja idade correspondesse a uma norma de emissão semelhante.

No Quadro 5 é apresentado um exemplo da analogia entre normas para o veículo MAN TGA 18.284 do ano 1999 da frota da Lacticoop.

Quadro 5 – Correspondência entre normas europeias e americanas para MAN de 1999

Emissões (g/kWh)	Normas EURO	Norma americana (Ano correspondente)
NO _x	7,0	6,7 (1997)
PM	0,15	0,13 (2004)
CO	4,0	20,8 (1999)

No caso do NO_x foi escolhido o ano correspondente de 1997 porque é o mais próximo do ano do veículo que respeita uma norma americana mais semelhante à europeia.

Nesta situação verifica-se que existe uma variação de cerca de 4% para os limites legais de NO_x e, uma variação de 13% para as partículas (PM).

É ainda notório que a maior variação entre limites de emissões é a relativa ao CO, contudo, uma maior aproximação não é possível, visto que, a legislação norte-americana não se mostra muito exigente quanto às emissões deste poluente. O cálculo das emissões deste poluente representa assim uma das principais limitações para a simulação realista no modelo MOVES. Apesar desta evidência, não deixa de ser importante realçar que estes valores representam apenas os limites legais, sendo que, os veículos não tenham de apresentar obrigatoriamente tal diferença no seu desempenho.

4.2.3 Fatores relevantes na medição de dados

Através do processo de recolha de dados relativos a consumos de combustível e gestão das rotas a efetuar pelos veículos da frota da Lacticoop verificaram-se alguns parâmetros a ter em conta neste estudo. Os registos da média de consumo de combustível para cada veículo chegam a ter uma variação de 38%. Tal facto deve-se ao tipo de condução adotada por cada um dos condutores, à variação das exigências de transporte de leite para cada dia e aos fatores de influência do meio, tais como, condições climatéricas (39).

Para as simulações realizadas no modelo MOVES, foram recolhidas informações sobre a temperatura e humidade relativa para as diversas regiões de atuação da frota da Lacticoop durante o ano em estudo (2011). Uma vez que, cada rota engloba mais do que uma cidade, foi estimada uma média para os registos climatéricos desejados com base na região de atuação.

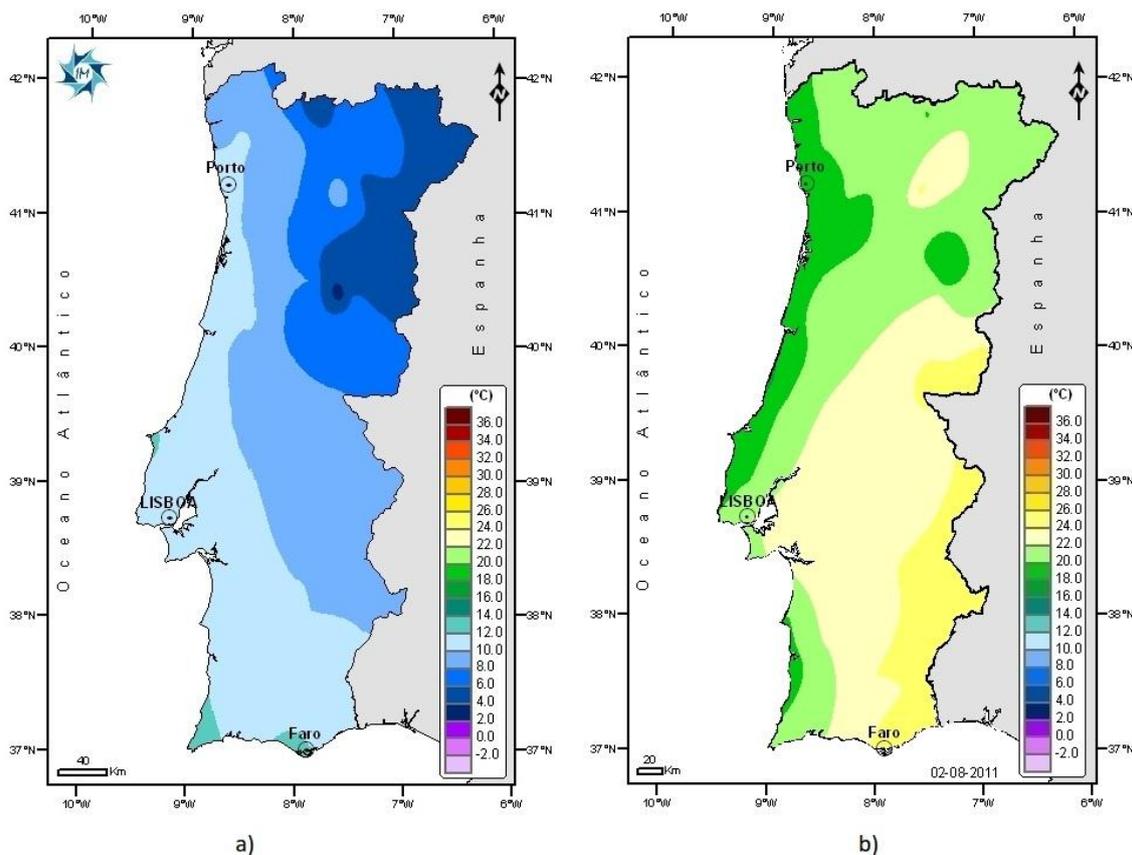


Figura 5 - Temperaturas média de Janeiro (a) e Julho (b) de 2011 (40)

Na Figura 5 é ilustrado o mapa de registos climatéricos utilizados para as simulações de cada rota no MOVES. Foram utilizados os registos de Janeiro para representar as simulações de Inverno e, os de Julho para as de Verão.

4.3 Caracterização da frota da Lacticoop

Os veículos de transporte de leite constituintes da frota da Lacticoop pertencem todos à categoria de veículos pesados de mercadorias no modelo MOVES, assim como segundo os critérios das normas europeias e norte-americanas

A frota em estudo é composta por quatro marcas distintas de veículos motorizados:

- o IVECO
- o MAN
- o SCANIA
- o VOLVO

No caso dos veículos articulados, existe dois tratores MAN e um SCANIA, sendo que, os respetivos semirreboques PARCISA têm capacidade desde 25728 até 27369 litros. De tal forma, estes articulados são os veículos com maior capacidade e, conseqüentemente, os mais pesados.

AVALIAÇÃO ENERGÉTICA DE UMA FROTA DE VEÍCULOS PESADOS DE MERCADORIAS

No Quadro 6 são descritos detalhadamente os diversos veículos MAN constituintes da frota da Lacticoop. No Quadro 7 podem ser observados os veículos IVECO, no Quadro 8 estão apresentados os SCANIA, no Quadro 9 os VOLVO e, finalmente, estão ainda listados no Quadro 10 os semirreboques constituintes desta frota.

Quadro 6 - Lista dos veículos de transporte de leite MAN da frota da Lacticoop

MATRÍCULA	DATA MATRÍCULA	MODELO	KM TOTAIS	PESO BRUTO	TARA	CARGA ÚTIL (Kg)	CARGA UTIL (litros)	CAPACIDADE REAL	MÉDIA ESP./DESVIO	Nº Eixos	Nº CÂMARAS	Nº PNEUS
66-81-NN	08-06-99	TGA 18.284	728353	19000	7675	11325	10995	10250	29.0/2.0	2	3	6
00-50-ZU	19-04-05	TGA 26.310 D20	353075	26000	11275	14725	14296	16600	35.0/2.0	3	3	8
00-54-ZU	19-04-05	TGA 26.310 D20	301652	26000	11275	14725	14296	16600	48.0/2.0	3	3	8
00-55-ZU	19-04-05	TGA 26.310 D20	311672	26000	11275	14725	14296	16600	48.0/2.0	3	3	8
46-BF-40	13-02-06	TGA 26.310 D20	409981	26000	10518	15482	15031	16600	38.0/2.0	3	3	8
46-BF-41	13-02-06	TGA 26.310 D20	200202	26000	11275	14725	14296	16600	36.0/2.0	3	3	8
43-58-VM	17-09-03	TGA 26.313 D28	405962	26000	11180	14820	14388	16600	33.0/2.0	3	3	8
43-59-VM	17-09-03	TGA 26.313 D28	592351	26000	12070	13930	13524	16600	35.0/2.0	3	3	8
10-HG-72	05-02-09	TGA 35.360 D20	253604	32000	13380	18620	18078	22200	33.0/2.0	3	4	12
46-BF-38	13-02-06	TGA 35.350 D20	564523	32000	13585	18415	17879	22200	33.0/2.0	4	4	10
46-BF-39	13-02-06	TGA 35.350 D20	486721	32000	13585	18415	17879	22200	33.0/2.0	4	4	10
43-54-VM	17-09-03	TGA 35.363 D28	1073100	32000	13585	18415	17879	22200	30.0/2.0	4	4	10
43-57-VM	17-09-03	TGA 35.363 D28	675191	32000	13585	18415	17879	22200	33.0/2.0	4	4	10
43-60-VM	17-09-03	TGA 35.363 D28	896611	32000	13585	18415	17879	22200	33.0/2.0	4	4	10
69-JL-64	06-07-10	TGX 18.440 D20	15126	40000	6875	33125	32160	Trator	33.0/2.0	2	---	6
90-72-VX	15-01-04	TGA 18.463 D28	1216023	40000	7195	32805	31850	Trator	37.0/2.0	2	---	6

Quadro 7 – Lista dos veículos de transporte de leite IVECO da frota da Lacticoop

MATRÍCULA	DATA MATRÍCULA	MODELO	KM TOTALS	PESO BRUTO	TARA	CARGA ÚTIL (Kg)	CARGA UTIL (litros)	CAPACIDADE REAL	MÉDIA ESP./DESVIO	Nº Eixos	Nº CÂMARAS	Nº PNEUS
71-21-EI	03-11-94	MT190E24	655370	19000	8490	10510	10204	10250	29.0/2.0	2	3	6
71-22-EI	03-11-94	MT190E24	751313	19000	8490	10510	10204	10250	29.0/2.0	2	3	6
76-79-ET	27-01-95	MT190E24	510611	19000	8185	10815	10500	10250	32.0/2.0	2	3	6
80-73-NU	22-07-99	MT190E24	451058	19000	6110	12890	12515	10250	32.0/2.0	2	3	6
56-87-EI	02-11-94	MT190E27	474355	19000	8185	10815	10500	10750	35.0/2.0	2	3	6
56-88-EI	02-11-94	MT190E27	478353	19000	8185	10815	10500	10750	32.0/2.0	2	3	6
56-89-EI	02-11-94	MT190E27	538474	19000	8185	10815	10500	10750	35.0/2.0	2	3	6
73-23-ES	13-01-95	MT190E27	324821	19000	8185	10815	10500	10750	32.0/2.0	2	3	6
73-22-ES	13-01-95	MT190E27	452292	19000	8185	10815	10500	10750	32.0/2.0	2	3	6

Quadro 8 - Lista dos veículos de transporte de leite SCANIA da frota da Lacticoop

MATRÍCULA	DATA MATRÍCULA	MODELO	KM TOTALS	PESO BRUTO	TARA	CARGA ÚTIL (Kg)	CARGA UTIL (litros)	CAPACIDADE REAL	MÉDIA ESP./DESVIO	Nº Eixos	Nº CÂMARAS	Nº PNEUS
XN-66-94	12-11-91	P 113 H	679699	26000	10740	15260	14816	15600	40.0/2.0	3	4	10
19-99-LV	25-09-98	P 124 GA	1205215	40000	6743	33257	32288	Trator	35.0/2.0	2	--	6

Quadro 9 - Lista dos veículos de transporte de leite VOLVO da frota da Lacticoop

MATRÍCULA	DATA MATRÍCULA	MODELO	KM TOTALS	PESO BRUTO	TARA	CARGA ÚTIL (Kg)	CARGA UTIL (litros)	CAPACIDADE REAL	MÉDIA ESP./DESVIO	Nº Eixos	Nº CÂMARAS	Nº PNEUS
57-66-ER	03-01-95	FS 720	572748	19000	8505	10495	10189	10250	36.0/2.0	2	3	6
57-67-ER	03-01-95	FS 720	687570	19000	8505	10495	10189	10250	30.0/2.0	2	3	6
57-69-ER	03-01-95	FS 720	949436	19000	8505	10495	10189	10250	32.0/2.0	2	3	6
47-74-OG	13-10-99	FM 7- 46	429940	19000	8685	10315	10015	10250	36.0/2.0	2	3	6
47-76-OG	13-10-99	FM12	697300	19000	9145	9855	9568	10250	32.0/2.0	2	3	6
52-83-PS	09-06-00	FM12	1262724	32000	11795	20205	19617	20250	32.0/2.0	4	4	

Quadro 10 - Lista dos semirreboques de transporte de leite PARCISA da frota da Lacticoop

MATRICUL A	DATA MATRICUL A	MODELO	KM TOTAIS	PESO BRUTO	TARA	CARGA ÚTIL (Kg)	CARGA ÚTIL (litros)	CAPACIDADE DE REAL	Nº EIXOS	Nº CÂMARAS	Nº PNEUS
L-172037	10-05-2004	S.REBOQUE	226627	34000	7500	26500	25728	3000	3	5	6
AV-40817	22-05-2005	S.REBOQUE	293374	35000	6810	28190	27369	30000	3	5	6
AV-47952	05-01-2011	S.REBOQUE	9414	35000	6810	28190	27369	25000	2	5	4

4.4 Rotas e simulações

Nesta fase são introduzidas as rotas em estudo neste trabalho, assim como, algumas das informações e considerações importantes a seu respeito. Visto isto, numa fase inicial são explicadas algumas das considerações tidas em conta no estudo, seguidamente, são apresentadas as rotas cuja análise incluiu registos dinâmicos a bordo da viatura operante e, finalmente, as restantes rotas alvo de análise baseada apenas em velocidades médias.

As simulações e respetivos resultados apresentados resultam do processamento da informação disponibilizada pela Lacticoop, sendo que, algumas das rotas, cujo conjunto de informação correspondente era insuficiente, não foram simuladas na perspetiva de obter e analisar resultados com o maior grau de fidedignidade possível. As rotas analisadas partilham do mesmo local de partida e chegada, sendo este na sede da Lacticoop da Tocha. Na modelação destas foram realizadas simulações isoladamente para os meses de janeiro e julho, na finalidade de representar condições de inverno e verão respetivamente. A principal variação verificou-se nas emissões evaporativas, caso em que os valores são mais elevados durante o verão. No entanto, os resultados das simulações exibiram uma variação inferior a 2%, pelo que, os valores abaixo apresentados representam um perfil climatérico anual. É de notar também que as rotas apresentadas em análise podem ser alvo de alterações, nomeadamente, quanto à seleção de veículos para as mesmas, devido, por exemplo, a variação nas necessidades do transporte de leite.

4.4.1 Características principais das viaturas e mapas das rotas em análise

Os mapas das respetivas rotas (Figura 6 a 10 (42),(43)) representam os percursos das rotas analisadas e as respetivas paragens para troca de leite. Para os mapas gerados por recolha de dados a bordo das viaturas operantes, as paragens surgem assinaladas com pontos amarelos, enquanto os mapas teóricos das restantes rotas apresentam as paragens a verde. Em ambos os casos estes pontos de troca de mercadoria são indicados com as letras designatórias enunciadas no Quadro 11. Para todas as rotas, a partida coincide com a chegada na sede da Lacticoop da Tocha. Finalmente, as características principais das rotas analisadas podem ser visualizadas no Quadro 12.

Quadro 11 – Características principais das rotas em análise e designações adotadas

Rota	Extensão (km)	Nº de paragens	Designação das paragens (letras)	Partida/chegada (letra)
3	179	3	B a D	A
4	178	5	B a F	G
5	166	8	B a I	J
6	138	12	B a M	N
7	42	10	B a K	L
8	27	10	B a K	L
9	60	6	B a G	H
19	69	14	B a O	P
27	63	13	B a N	O
33	47	20	B a V	W
51	132	10	B a L	A
61	234	7	B a H	I
62	243	11	B a L	M
63	405	3	B a D	A
67	413	4	B a E	A
76	540	5	B a F	A

As rotas 6, 7, 8, 9, 19, 27, 33 e 51 apresentam um elevado número de paragens para a sua extensão. Tal facto proporciona uma expectativa de consumos de combustível mais elevados derivados dos arranques consecutivos. Para a rota 51, verifica-se ainda, segundo dados da Lacticoop, que os consumos de combustível chegam a variar até 30%, dependendo do dia e condutor em questão (39). As rotas 67 e 76 são realizadas por uma viatura composta por trator e atrelado, enquanto as restantes por viaturas rígidas, sendo este outro fator influente na massa total dos veículos e consequentes prestações.

AVALIAÇÃO ENERGÉTICA DE UMA FROTA DE VEÍCULOS PESADOS DE MERCADORIAS

Quadro 12 – Características principais das viaturas operantes para as rotas simuladas

Rota correspondente	3 e 4	5 e 6	7, 8 e 9	19	27	33 e 51	61 e 62	63	67	76
Marca & Modelo	MAN TGA 35.363 D20	MAN TGA 26.310 D20	VOLVO FM 7 - 46	MAN TGA 18.284 D20	MAN TGA 26.313 D20	MAN TGA 26.310 D20	MAN TGA 26.310 D20	MAN TGA 35.350 D20	MAN TGX 18.440 D20	MAN TGA 18.463 D28
Ano / Norma EURO	2003 / EURO III	2005 / EURO IV	1999 / EURO II	1999 / EURO II	2003 / EURO III	2005 / EURO IV	2006 / EURO IV	2006 / EURO IV	2010 / EURO V	2004 / EURO III
Matrícula	43-54-VM	00-50-ZU	47-74-OG	66-81-NN	43-58-VM	00-54-ZU	46-BF-41	46-BF-38	69-JL-64	90-72-VX
Peso bruto (kg)	32000	26000	19000	19000	26000	26000	26000	32000	40000	32000
Consumo médio de combustível anunciado (L/100km)	30 ± 2	35 ± 2	36 ± 2	29 ± 2	33 ± 2	48 ± 2	36 ± 2	33 ± 2	33 ± 2	37 ± 2

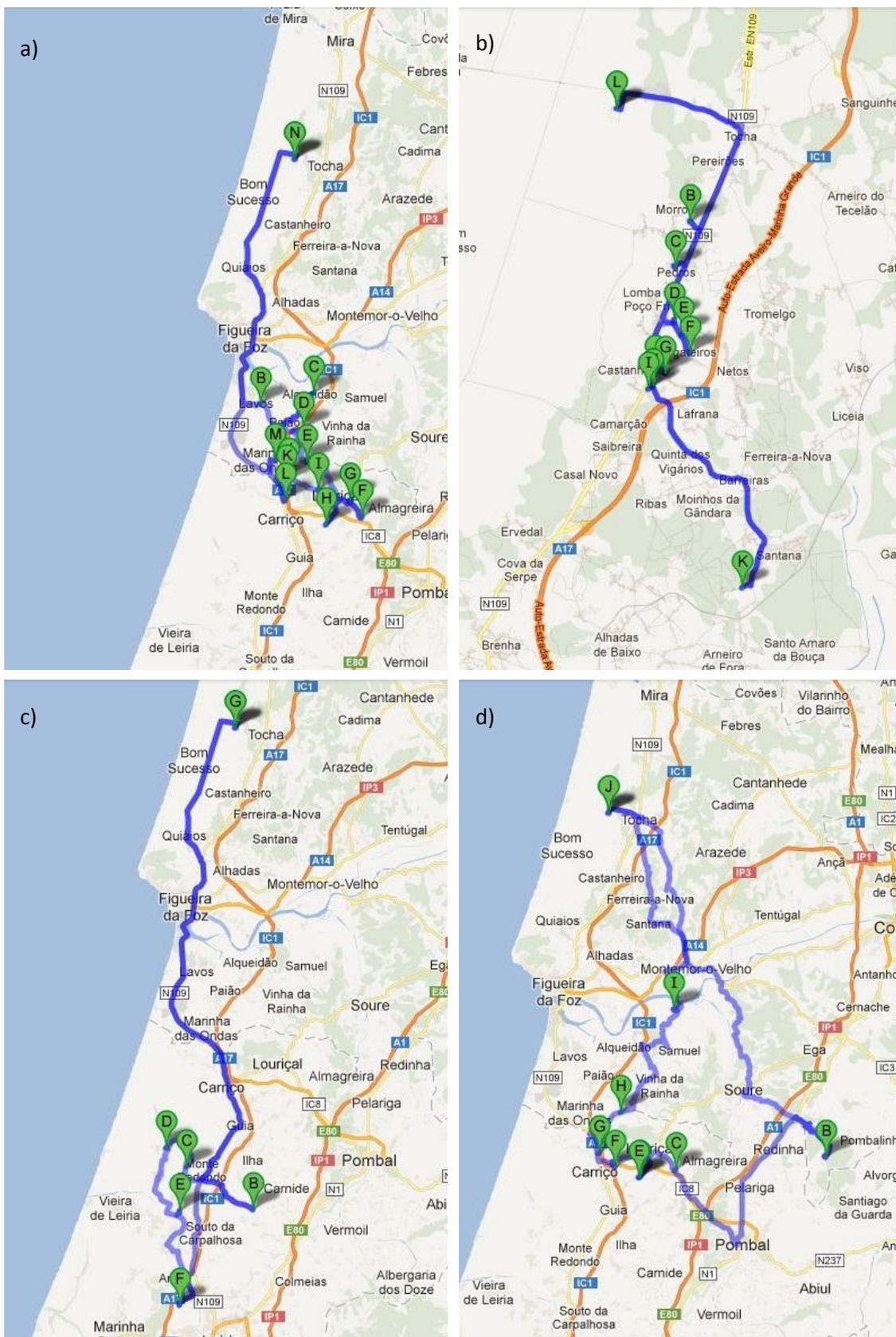


Figura 6 – Mapas das rotas 4 (a), 5 (b), 6 (c) e 7 (d)

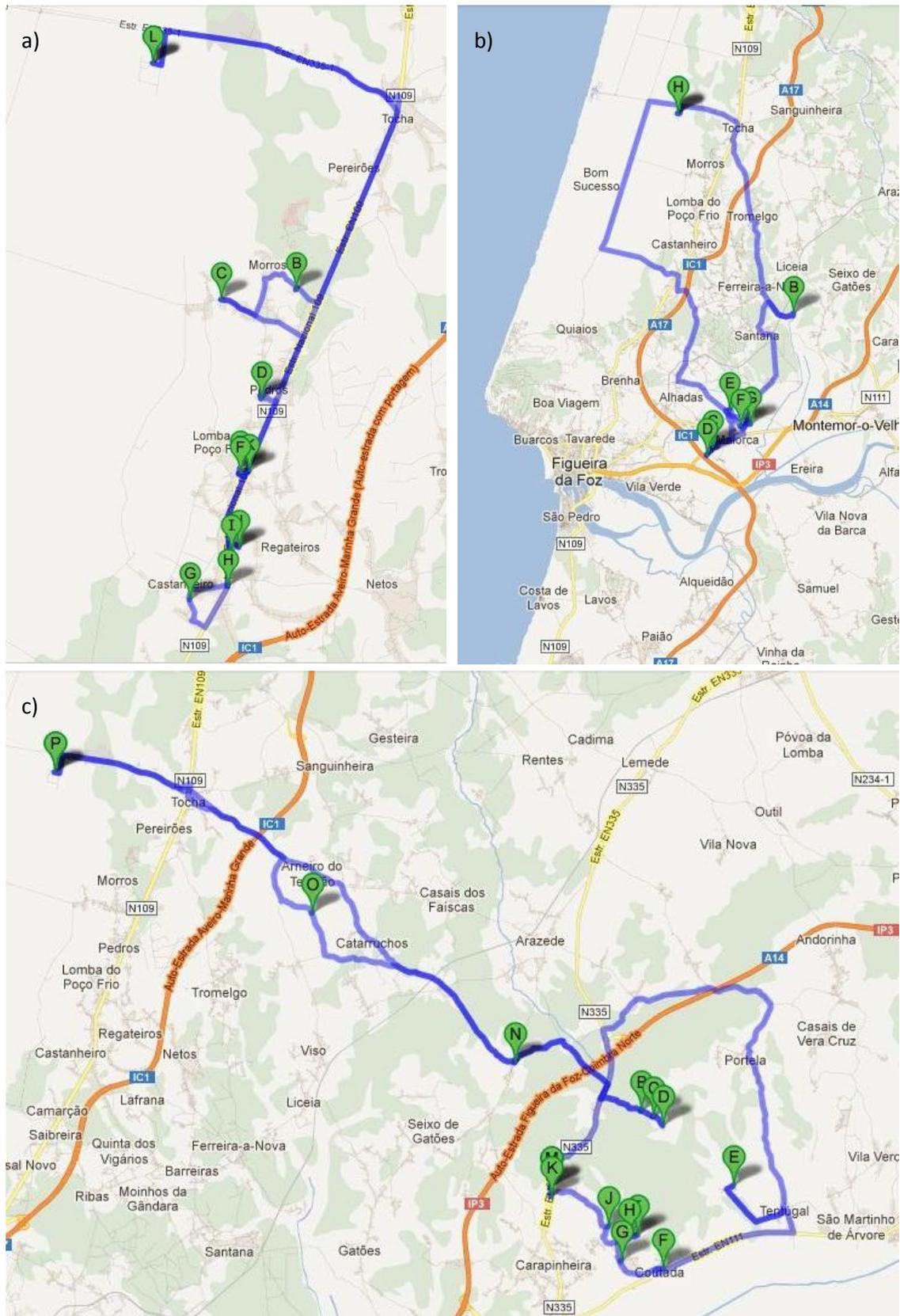


Figura 7 – Mapas das rotas 8 (a), 9 (b) e 19 (c)

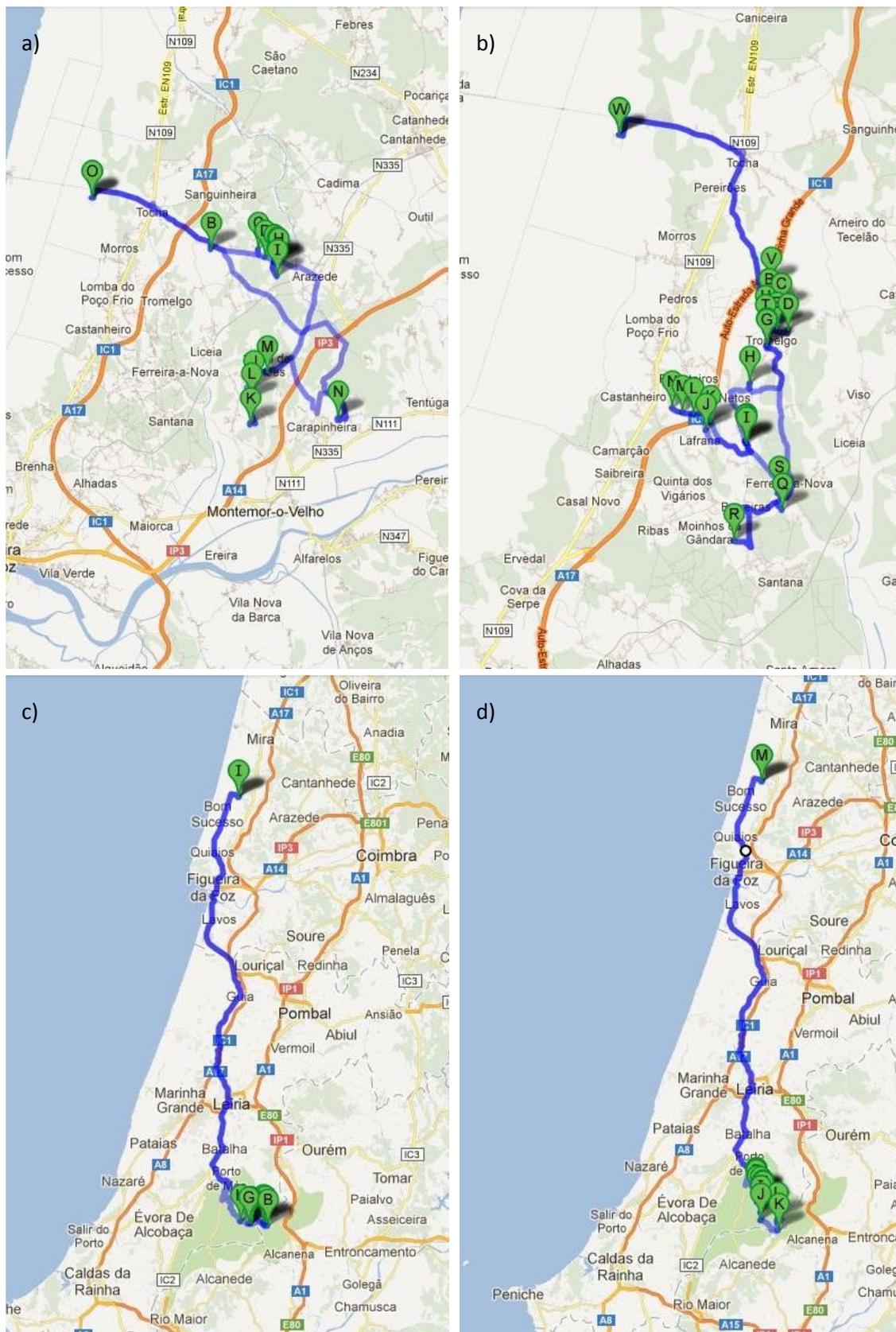


Figura 8 – Mapas das rotas 27 (a), 33 (b), 61 (c) e 62 (d)

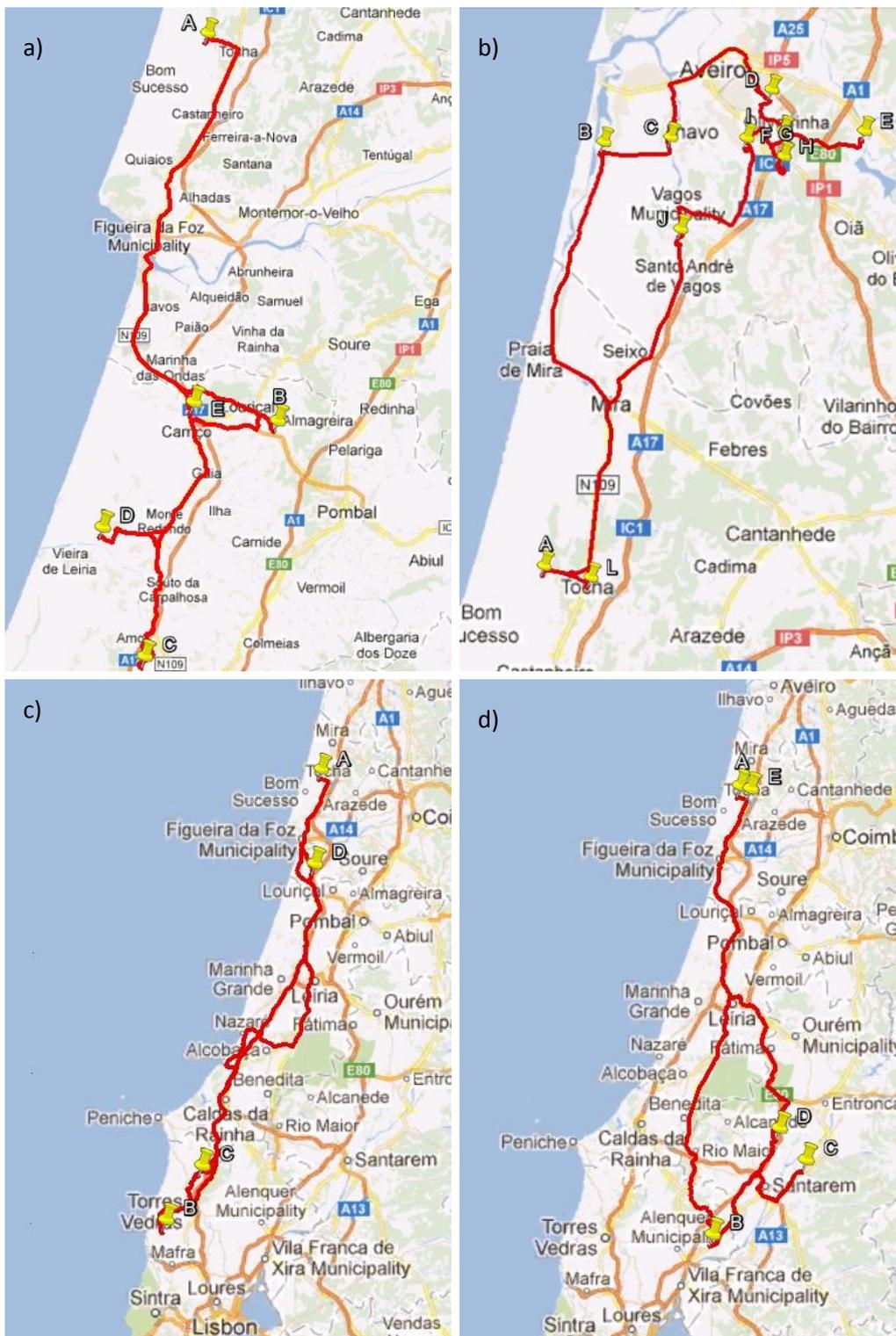


Figura 9 – Mapas das rotas 3 (a), 51 (b), 63 (c) e 67 (d)



Figura 10 – Mapa da rota 76 (43)

4.4.2 Considerações para as análises realizadas e metodologia VSP

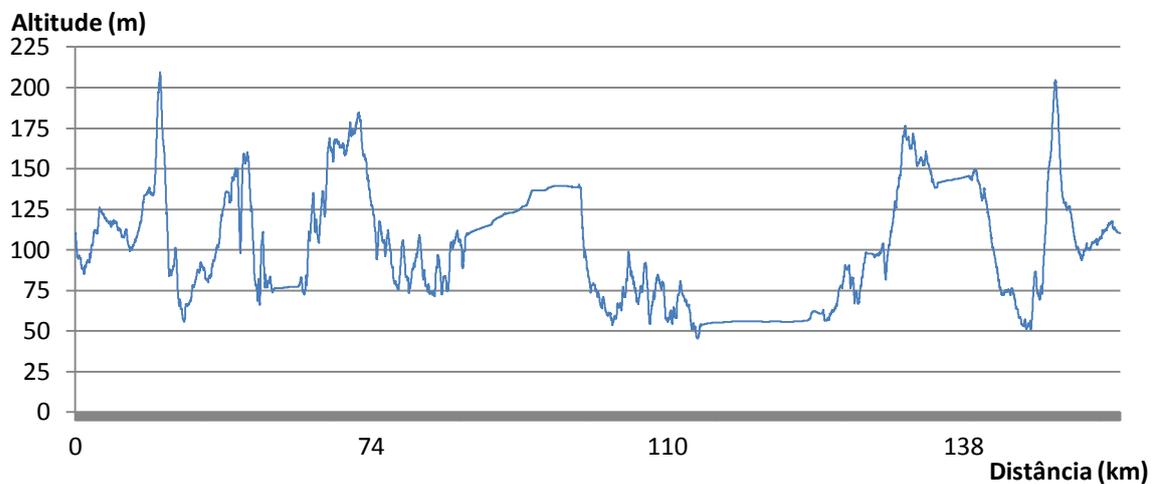
As rotas simuladas foram alvo de uma análise através do modelo MOVES e COPERT4, sendo que, foram utilizados valores médios de velocidade para os percursos respetivos em ambos os modelos. Na determinação das velocidades médias foram tidas em conta as características dos respetivos percursos, tais como, tipo de estrada e paragens correspondentes.

Para as rotas 3, 51, 63, 67 e 76 foram realizadas análises baseadas nos respetivos perfis de velocidade e inclinação, resultado das medições a bordo das respetivas viaturas operantes. Paralelamente a esta análise realizada com o modelo MOVES, modelaram-se as mesmas rotas com uma distribuição de valores médios de velocidade no mesmo programa. Por fim, com vista a obter um meio de comparação das simulações realizadas entre o modelo norte-americano e europeu, utilizou-se o COPERT4 para modelar a mesmas rotas.

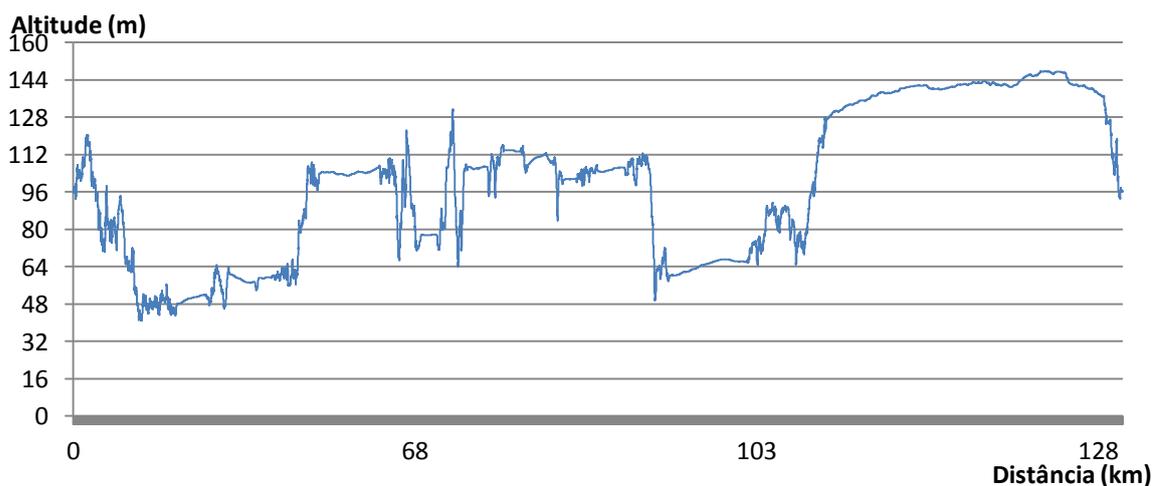
Com vista a obter uma simulação mais rigorosa das rotas com o modelo COPERT4, foi realizada uma adaptação do perfil de velocidades obtido a bordo do veículo operante. Ao contrário do MOVES, o modelo europeu COPERT4 não tem a capacidade de simular perfis de velocidade, como tal, foi desenvolvido um algoritmo para gerar uma distribuição de velocidades a partir do perfil. Nesta distribuição, cada percurso foi dividido em segmentos segundo a velocidade e tempo em que o veículo operou, ou seja, foi determinada a distância que o veículo percorreu, por exemplo, com velocidades entre 20 e 30 km/h. Através desta segmentação do perfil original segundo a segundo, foi possível realizar várias simulações (uma para cada fração de velocidades) no COPERT4. Deste modo, obteve-se um resultado mais próximo do obtido através de modelação

pela metodologia VSP com o MOVES. No caso da simulação da mesma rota com o COPERT4 sem a adaptação do perfil de velocidade e inclinação, as variações face aos resultados anunciados foram maiores em cerca de 15% para o consumo de combustível. Os restantes poluentes obtiveram desvios maiores do que a modelação adaptada anteriormente explicada. Para além dos desvios maiores face a valores reais, esta simulação, sem adaptação, obteve desvios de cerca de 16% para o consumo de combustível face às correspondentes realizadas com o MOVES. Assim, para obter os resultados pretendidos com esta metodologia foram realizadas 4 simulações, com o modelo COPERT4, para cada uma das rotas medidas a bordo das viaturas. Através do algoritmo desenvolvido foram selecionados, a partir do perfil de velocidade original de cada rota, os períodos em que a viatura atuou entre 0 e 20 km/h, 20 e 40 km/h, 40 e 60 km/h e, finalmente, 60 e 90 km/h.

Nas Figuras 11 e 12 são apresentados os perfis de altitude obtidos a bordo das viaturas durante o período de medições. Estes foram devidamente utilizados com o intuito de se realizar simulações mais realistas quanto às solicitações instantâneas de potência do veículo e, consecutivamente, de uma mais profunda análise das rotas em questão.

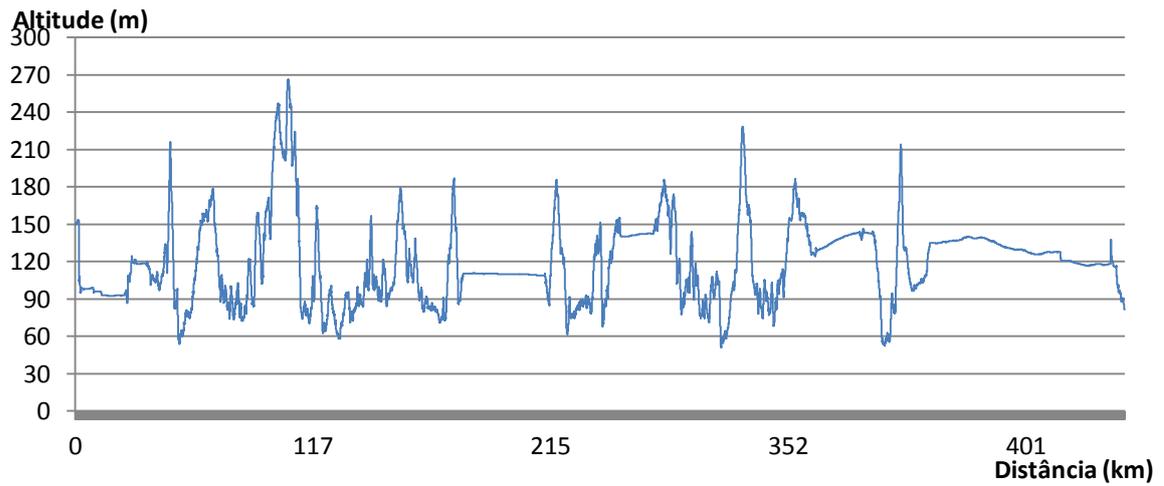


a)

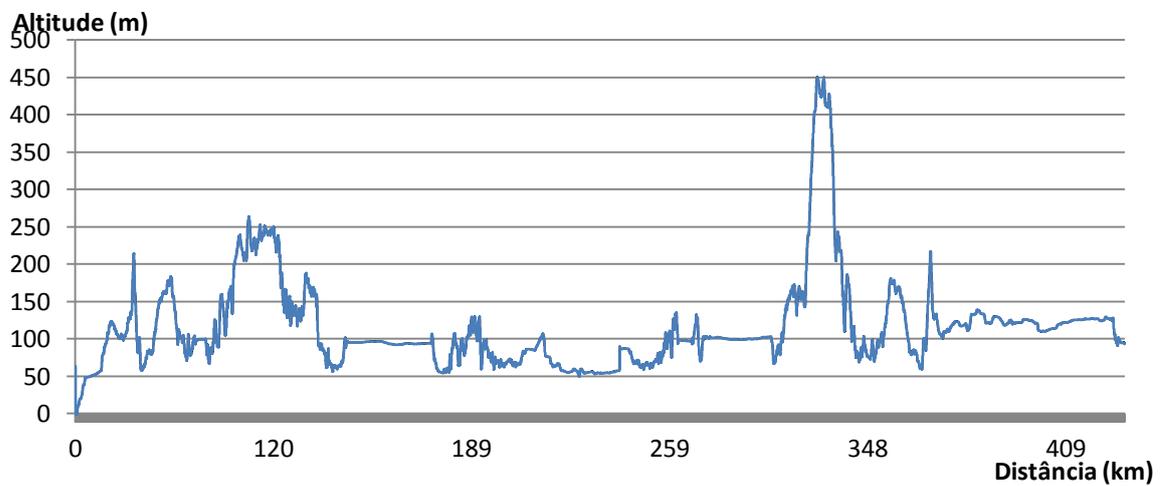


b)

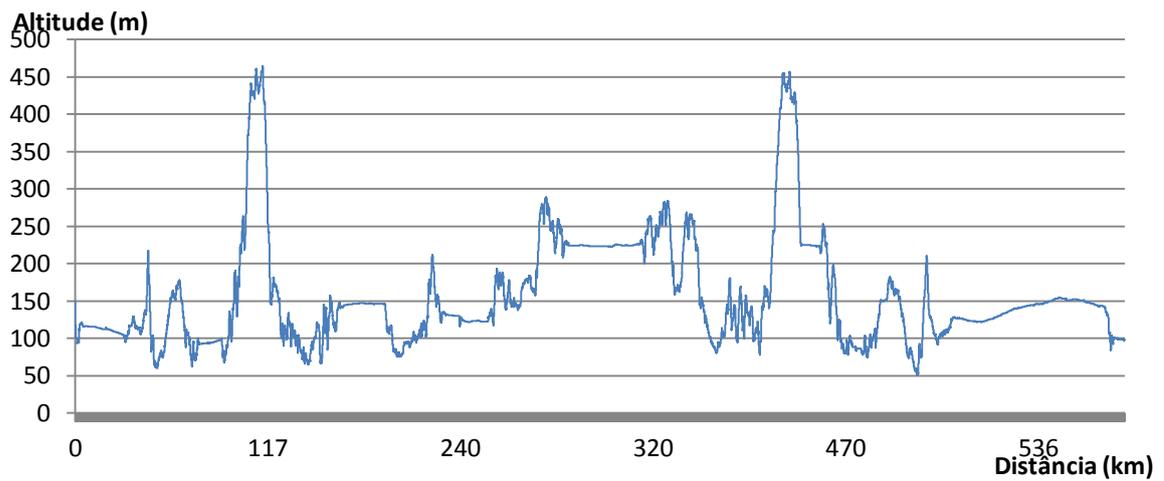
Figura 11 - Perfil topográfico das rotas 2 (a) e 51 (b) em metros de altitude (eixo vertical)



a)



b)



c)

Figura 12 - Perfil topográfico das rotas 63 (a), 67 (b) e 76 (c) em metros de altitude (eixo vertical)

5 Resultados e sua Discussão

Neste capítulo são apresentados, comparados e comentados os resultados das simulações das diversas rotas descritas no capítulo anterior. Adicionalmente é também realizada uma discussão e otimização dos mesmos para cada trajeto.

5.1 Resultados para as rotas analisadas com recurso a medições a bordo da viatura

Os resultados obtidos são seguidamente apresentados segundo o método de simulação e modelos utilizados. São resultado das simulações com o modelo MOVES e metodologia VSP, com base na distribuição de velocidades médias por tipo de troço e, da simulação com o modelo COPERT4, por adaptação previamente explicada, dos dados recolhidos a bordo da viatura. Na perspetiva de facilitar o agrupamento dos resultados, os valores destas simulações são designados como MOVES (VSP), para a modelação VSP no modelo MOVES, como MOVES (Vm), para a modelação a partir de perfis médios de velocidade no MOVES e como COPERT4, para a modelação de perfis médios de velocidades com o modelo COPERT4.

Com vista a aprofundar a análise das rotas, cujos dados foram recolhidos a bordo das viaturas respetivas, foram realizadas simulações para averiguar o efeito da variação da carga nas emissões de poluentes e consumo de combustível. A capacidade de escolher a carga do veículo a simular, presente no modelo COPERT4 associada à metodologia de distribuição de velocidades previamente explicada, levou a que as rotas 3, 51, 63, 67 e 76 tivessem sido simuladas 12 vezes com o mesmo modelo. Estas simulações consideraram três variações de carga de cada veículo operante: 50%, 75% e 100%.

Os resultados das simulações com o modelo MOVES (VSP), MOVES (Vm) e COPERT4, são apresentados no Quadro 13. Neste quadro podem ser observados os desvios, arredondados às unidades de percentagem, entre os resultados baseados na modelação de perfis de velocidades médias, com o modelo COPERT4 e MOVES, e os resultados da modelação baseada em perfis de velocidade segundo a segundo.

Quadro 13 a) - Resultados das simulações para as rotas com medições a bordo das viaturas operantes

Rota	MOVES (VSP)	MOVES (V _m)	COPERT4	DESVIO (%) MOVES VSP/V _m	DESVIO (%) MOVES VSP/COPERT4	DESVIO (%) MOVES V _m /COPERT4
CO (g/km)						
3	2,928	2,935	1,788	0	39	39
51	3,255	2,782	0,932	15	71	66
63	3,075	3,171	0,860	3	72	73
67	0,309	0,919	1,650	66	81	44
76	2,255	3,039	2,321	26	3	24
NO_x (g/km)						
3	5,739	6,688	6,856	14	16	2
51	7,120	5,683	5,424	20	24	5
63	8,650	7,965	5,394	8	38	32
67	5,787	2,429	3,034	58	48	20
76	5,939	7,960	7,905	25	25	1
VOC (g/km)						
3	0,734	0,600	0,295	18	60	51
51	0,804	0,854	0,056	6	93	93
63	0,332	0,624	0,053	47	84	91
67	0,032	0,030	0,033	4	5	8
76	0,529	0,692	0,287	24	46	58
CO₂ (g/km)						
3	785,1	771,6	804,1	2	2	4
51	897,9	886,4	879,2	1	2	1
63	854,5	883,9	889,1	3	4	1
67	902,1	886,3	894,2	2	1	1
76	1014	999,2	939,1	1	7	6

Quadro 13 b) - Resultados das simulações para as rotas com medições a bordo das viaturas operantes

Rota	MOVES (VSP)	MOVES (V _m)	COPERT4	DESVIO (%) MOVES VSP/V _m	DESVIO (%) MOVES VSP/COPERT4	DESVIO (%) MOVES V _m /COPERT4
Consumo de combustível (L/100km)						
3	29,69	29,18	30,66	2	3	5
51	33,96	33,53	33,51	1	1	5
63	32,32	33,44	33,89	3	5	1
67	34,12	33,52	34,09	2	0	2
76	38,34	37,79	35,79	1	7	5
PM10 (g/km)						
3	0,359	0,345	0,197	4	45	43
51	0,015	0,022	0,129	30	88	83
63	0,010	0,025	0,101	57	90	76
67	0,016	0,016	0,125	3	87	87
76	0,446	0,504	0,257	12	42	49

Analisando o Quadro 13 verifica-se que a variação do consumo de combustível e emissão de CO₂ apresentam um valor máximo de apenas 7%, para a rota 76, entre a simulação VSP no MOVES e a de distribuições de velocidades médias no COPERT4. Porém, existem variações significativas para as emissões de partículas (PM10), CO, NO_x e VOC. Estas variações entre os modelos provêm, nomeadamente, de limitações no processo de inclusão de normas europeias no modelo norte-americano MOVES. Como já referido anteriormente, o modelo MOVES não permite a incorporação daquelas normas na simulação, pelo que teve de ser feita uma correspondência entre normas europeias e norte-americanas com vista a ter o menor erro possível. Não menos importante é o facto do limite legal de emissões de CO nos veículos norte-americanos ser muito maior do que o limite europeu, como pode ser verificado no capítulo “Relação entre normas europeias e norte-americanas” (38). Esta limitação é uma das principais explicações para a variação de CO de até 81% entre o modelo COPERT4 e MOVES com metodologia VSP. A variação das emissões de NO_x atinge um valor máximo de 58% na rota 67 para as simulações com o modelo MOVES. Esta variação significativa entre os valores provenientes da simulação baseada em velocidades médias e baseada no perfil de velocidade e inclinação segundo a segundo leva a concluir que a simulação através da metodologia VSP está na origem das diferenças, uma vez que os valores obtidos pelo COPERT4 são mais semelhantes com os obtidos pelo MOVES através da utilização de valores médios de velocidade. Por exemplo, no caso da rota 67, a variação das emissões de CO no MOVES (VSP) face ao COPERT4 passa de 81% para 44% utilizando velocidades

médias, enquanto no caso do NO_x passa de 48% para 20%. Para todas as rotas, os valores de consumo de combustível encontram-se dentro da gama de valores anunciados pela Lacticoop, à exceção da rota 51 que, ao contrário dos 48 ± 2 L/100km anunciados, apresenta valores de 33,9 L/km para a simulação MOVES (VSP) e 33,5 L/100km para a MOVES (Vm) e COPERT4. Neste caso o valor mais próximo do anunciado pela Lacticoop é o da simulação baseada nos dados medidos a bordo da viatura, MOVES (VSP), contudo, a diferença é ainda significativa e pode ser justificada com a variação de até 30% nos valores reais de consumo de combustível que foram registados para esta volta.

Em relação aos resultados obtidos para estas rotas é de salientar a realização de algumas simulações experimentais com o modelo MOVES na perspetiva de tentar obter valores de PM10 cujo desvio em relação ao modelo europeu COPERT4 fosse menor, contudo, verificou-se que uma grande alteração de emissão de PM10, para o mesmo veículo em diferentes anos, nunca correspondia a uma aproximação dos valores obtidos pelo COPERT4. Este fato leva a concluir que o modelo MOVES reconhece um avanço na tecnologia do veículo a este nível que proporciona reduções tão drásticas das emissões deste poluente, que o valor obtido se afasta sempre do obtido pelo COPERT4 por defeito ou excesso. À semelhança deste processo, realizaram-se simulações experimentais para os restantes poluentes cuja variação era maior. Tendo em conta que os valores apresentados no Quadro 13 derivaram da correspondência entre as normas europeias e as americanas, verificou-se que o modelo MOVES reconhece um avanço significativo na tecnologia do veículo a partir do ano 2007 para a rota 51. A partir deste ano verifica-se uma diminuição drástica nas emissões de VOC, assim como uma grande aproximação das emissões de CO em relação ao modelo COPERT4. No Quadro 14 pode-se observar a aproximação dos valores enunciados considerando o mesmo veículo com o ano de matrícula de 2007 no MOVES. Daqui se conclui a existência de limitações na adaptação das normas europeias às norte-americanas, sendo que o desvio para as emissões de CO passa de 71% para 18% e, para o VOC, o sofre uma redução de 93% para 0%. Este facto serve apenas para evidenciar o ano a partir do qual o modelo MOVES reconhece uma alteração significativa das referidas emissões, sendo que os valores enunciados dizem respeito apenas à simulação VSP. Para a rota 63 verificou-se que, a partir do ano 2007, o MOVES reconhece avanços significativos também ao nível das emissões de NO_x, sendo que o desvio face ao COPERT4 passa de 38% para 16%. Para as restantes rotas não se verificaram aproximações de relevância significativa.

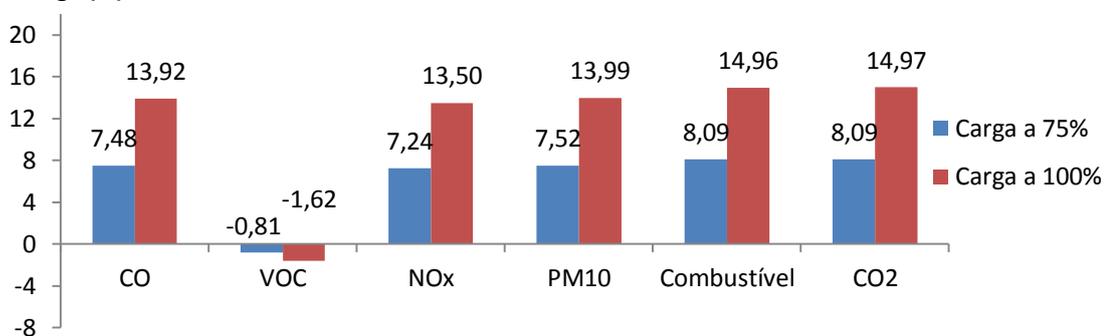
Quadro 14 - Aproximações resultantes de simulações experimentais no MOVES (VSP)

Rota	CO (g/km)			NO _x (g/km)			VOC (g/km)		
	MOVES	COPERT4	DESvio (%) MOVES/COPERT4	MOVES	COPERT4	DESvio (%) MOVES/COPERT4	MOVES	COPERT4	DESvio (%) MOVES/COPERT4
51	1,134	0,932	18	-	-	-	0,062	0,056	0
63	2,036	0,869	58	6,392	5,394	16	0,045	0,053	16

5.1.1 Influência da variação da carga

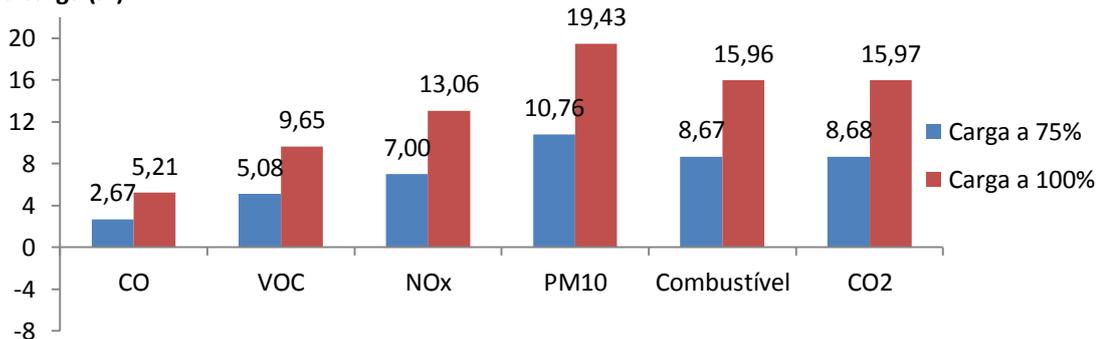
Para se perceber a influência da variação da carga média do veículo operante ao longo do percurso, realizaram-se 12 simulações com o modelo COPERT4. É ainda de realçar que os resultados apresentados para cada rota se referem a uma carga média de 50%, como tal, as variações de emissões e consumo de combustível associados à carga de 75% e 100% são apresentados em percentagem face a 50% na Figura 13. Nesta figura as variações dos valores obtidos em simulação surgem representados na forma de percentagem positiva ou negativa consoante o aumento ou diminuição dos mesmos respetivamente. O consumo de combustível surge representado por “Combustível”.

Desvio face a 50% da carga (%)



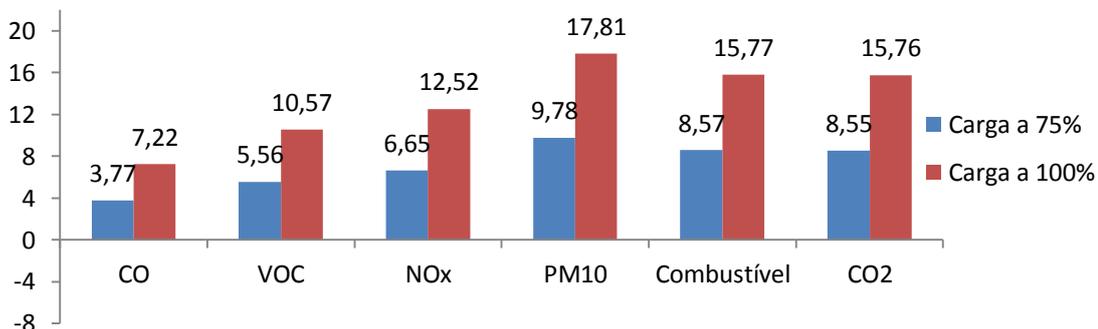
a)

Desvio face a 50% da carga (%)



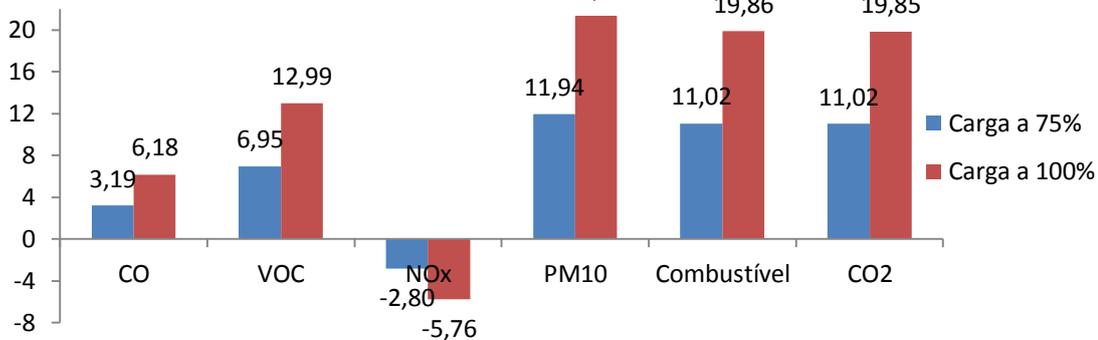
b)

Desvio face a 50% da carga (%)



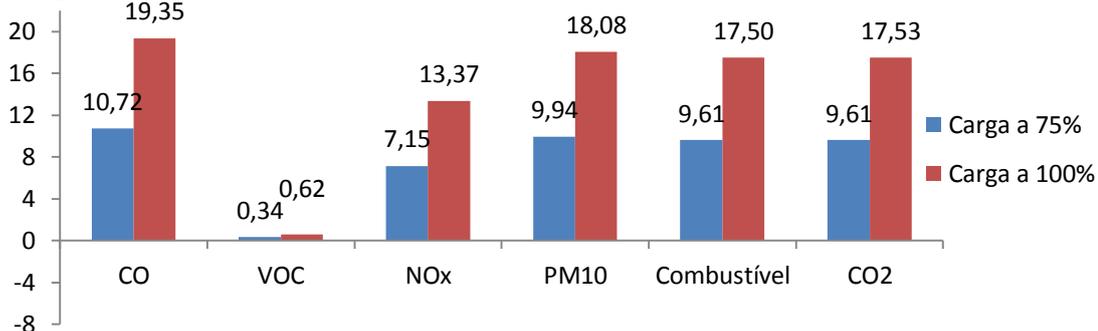
c)

Desvio face a 50% da carga (%)



d)

Desvio face a 50% da carga (%)



e)

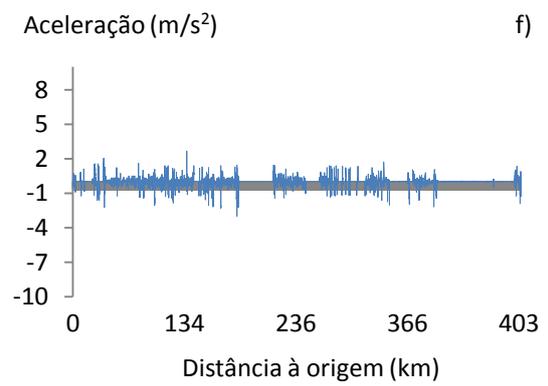
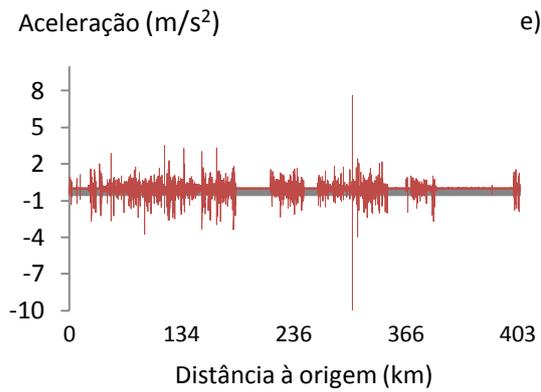
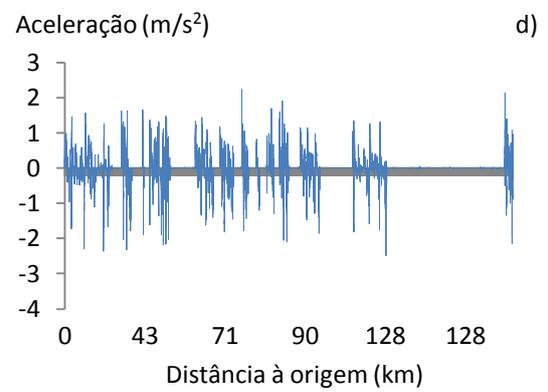
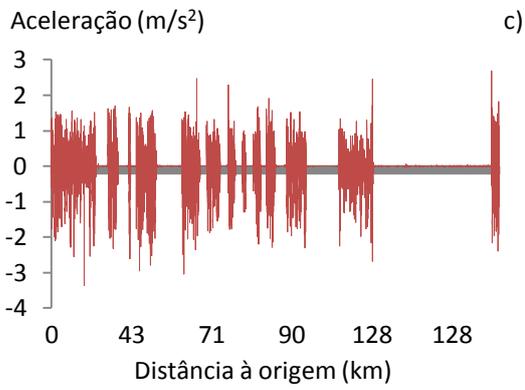
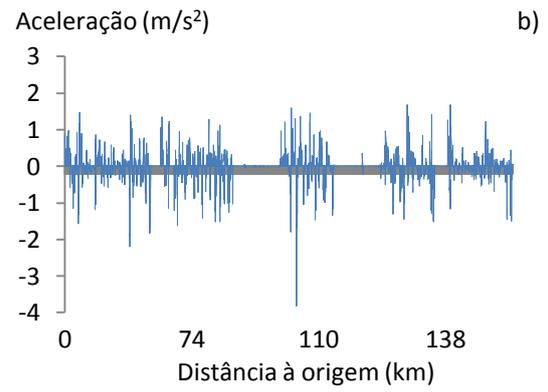
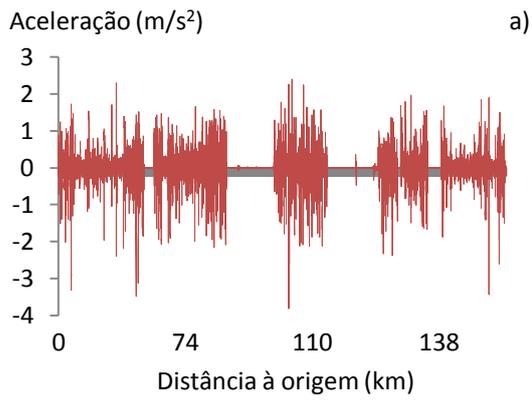
Figura 13 – Influência da variação da carga da viatura da rota 3 (a), 51 (b), 63 (c), 67 (d) e 76 (e) face a 50%

Pela observação da Figura 13 constata-se que as emissões sofrem um aumento para todos os poluentes à semelhança do consumo de combustível para um aumento da carga do veículo. É de notar ainda que, para as rotas 51, 63 e 67, as PM10 apresentam a maior percentagem de aumento para ambos os valores de aumento de carga. Para a rota 3, o CO₂ a par do consumo de combustível revelam o maior aumento, enquanto para a rota 76 é o CO. As emissões de NO_x sofrerem uma diminuição à medida que a carga aumenta para a rota 67. De facto, verificou-se ao longo das simulações que as emissões deste poluente diminuem para valores de velocidade entre 20 e 60 km/h para esta rota. Quanto às emissões de VOC, registaram um aumento muito ligeiro com o aumento da carga do veículo para a rota 76 e apresentaram uma redução para a rota 3. Ao longo dos testes foram executadas várias simulações para cada intervalo de velocidades com o COPERT4 através da adaptação do perfil de velocidades segundo a segundo. Com isto, verificou-se que, apesar do total de emissões de VOC crescer com o aumento de carga na maioria das rotas, para valores de velocidade entre 0 e 60 km/h as emissões deste poluente diminuem com o mesmo aumento de carga.

5.1.2 Otimização

Perante a análise dos perfis de velocidade e aceleração das rotas 3, 51, 63, 67 e 76, verificou-se que são inúmeros os momentos em que surgem acelerações ligeiras mas evitáveis. Com isto, momentos que poderiam ser realizados a velocidades constantes apresentam variações ligeiras de velocidade na ordem de 1 a 3 km/h que evidenciam uma condução mais agressiva face aos obstáculos regulares do fluxo de trânsito. Para um veículo de elevada massa, como é o caso dos pesados de mercadorias em análise, os momentos de aceleração estão diretamente relacionados com exigência de potência e, por isso, têm uma elevada influência na encomia de combustível e cuidado com o ambiente comparativamente a momentos de condução a velocidade constante (44). Visto isto, surgiu a hipótese de utilizar as potencialidades da variável VSP através do modelo MOVES para perceber quais os resultados de uma otimização do perfil de aceleração e velocidade das rotas analisadas. O modo de condução adotado pelo condutor nas respetivas rotas revela a sua atitude perante os obstáculos (semáforos, entroncamentos e incidentes diversos na via) que, consecutivamente está também condicionado pelo fluxo de trânsito da via onde este circula. Assim, o condutor pode adotar uma condução mais ou menos agressiva dentro de uma margem de manobra possibilitada pelo meio onde atua. Determinados momentos em que o condutor adota uma postura mais agressiva acelerando com mais intensidade e proporcionando travagens desnecessárias podem ser evitados proporcionando poupanças energético-ambientais. Perante isto, foi desenvolvido um algoritmo que identifica variações de velocidade reduzidas, na ordem de 1 a 3 km/h, e suaviza os momentos de velocidade constante, por exemplo, na ordem dos 90 km/h. Desta forma não foi posta em causa a segurança da condução quanto às travagens ou valores de velocidade registados. Ao invés, foram suavizadas acelerações e conservado o tempo de realização das rotas. Após otimizados, os perfis de velocidade não apresentam variações facilmente perceptíveis, no entanto, os perfis de aceleração anunciam melhorias ao nível de arranques mais fugazes. Com isto, verifica-se que é um processo perfeitamente exequível e, com consequências negativas aparentemente inexistentes. Na Figura 14 podem ser visualizados os perfis de aceleração originais e otimizados para cada rota. Para ambos os gráficos relativos aos perfis de aceleração, o eixo das abcissas representa a distância percorrida desde a origem do trajeto.

AVALIAÇÃO ENERGÉTICA DE UMA FROTA DE VEÍCULOS PESADOS DE MERCADORIAS



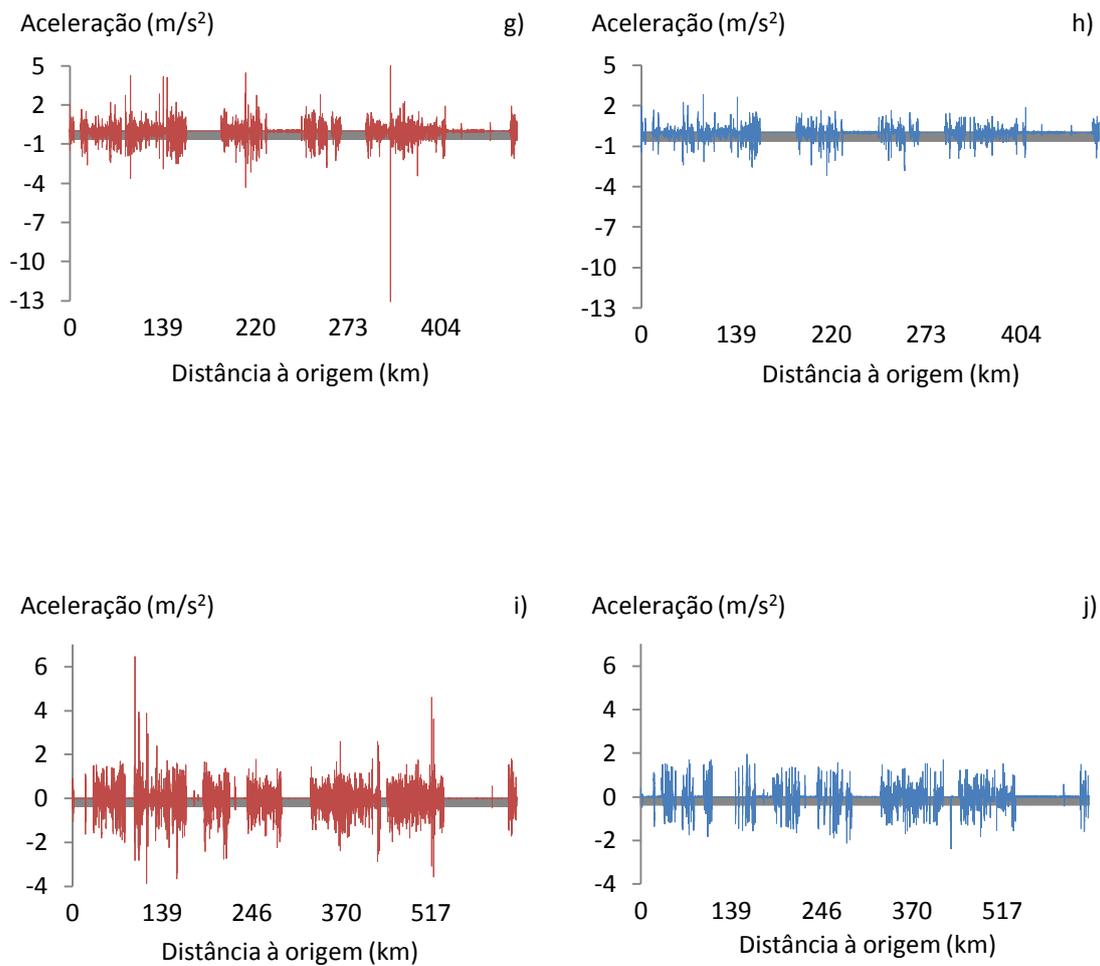


Figura 14 – Perfis de aceleração originais e otimizados para as rotas 3 (a, b), 51 (c, d), 63 (e, f), 67 (g, h) e 76 (i, j)

Na Figura 14 é possível verificar o processo de suavização de arranques através da eliminação de muitos dos valores mais altos de aceleração nos perfis otimizados face aos originais. No caso das acelerações negativas (travagens) também alguns picos são eliminados devido à suavização de arranques, ou seja, em determinados momentos uma aceleração brusca após um período de estagnação está relacionada com travagens bruscas. A suavização destes arranques proporciona assim a eliminação de travagens desnecessárias. No entanto, as travagens, ainda que bruscas, que correspondem a reduções significativas de velocidade ou paragem não são postas em causa no processo de otimização. Apenas picos instantâneos e desnecessários são eliminados. Os resultados do processo de otimização são apresentados no Quadro 15.

Quadro 15 – Percentagem de otimização das rotas 3, 51, 63, 67 e 76

Rota	Original	Otimizado	Redução (%)	Original	Otimizado	Redução (%)	Original	Otimizado	Redução (%)
	CO (g/km)			NO _x (g/km)			VOC (g/km)		
3	2,928	2,899	1	5,739	5,623	2	0,734	0,677	8
51	3,255	3,090	5	7,120	6,701	6	0,804	0,705	12
63	3,075	3,016	2	8,650	8,331	4	0,332	0,313	6
67	0,309	0,304	2	5,787	5,184	10	0,032	0,029	7
76	2,255	2,241	1	5,939	5,272	11	0,529	0,495	6
	CO ₂ (g/km)			FC (L/100km)			PM10 Total		
3	785,1	750,3	4	29,69	28,38	4	0,359	0,337	6
51	897,9	826,6	8	33,96	31,27	8	0,015	0,014	11
63	854,5	802,0	6	32,32	30,34	6	0,010	0,010	5
67	902,1	775,6	14	34,12	29,34	14	0,016	0,013	16
76	1014	864,9	15	38,35	32,72	15	0,446	0,359	20

Como pode ser observado no Quadro 15, obteve-se uma redução global das emissões e consumo de combustível. Interessante é ainda o facto do consumo de combustível, a par das emissões de CO₂, ter sofrido uma redução de 14%, trazendo assim um considerável benefício ambiental e económico. As maiores reduções de consumo de combustível verificam-se para as rotas 67 e 76. Um dos principais motivos é o facto de estas rotas serem realizadas por viaturas compostas por trator e atrelado, e cujo peso está associado ao alto consumo de combustível, proporcionando uma maior margem de potencial para redução do mesmo consumo. Os períodos de grandes solicitações de arranque têm, mais do que para outras viaturas de menor massa, uma grande exigência de potência, pelo que, está associado a grande percentagem do consumo total de combustível do percurso. Para a rota 3, os valores de consumo de combustível anunciados pelos registos da Lacticoop e determinados em simulação são relativamente baixos face às restantes rotas, proporcionando uma margem de manobra para otimização mais reduzida. Adicionalmente, o perfil de velocidade registado para esta volta revelou-se representativo de uma condução mais exemplar, não possuindo grandes picos de aceleração e contendo períodos de velocidade muito constante. Por estes últimos motivos, a rota 3 foi a que apresentou menor redução de consumo de combustível e emissão de CO₂. O poluente que sofreu menor redução foi o CO para todas as rotas, porém, o simples facto do processo de otimização não ter provocado o aumento da emissão do mesmo já é muito positivo. Desta forma não se encontram entraves aparentes para a aplicação prática deste método de otimização. A economia de combustível pode proporcionar uma poupança de até 10€ por cada 100km. No entanto, o modo de condução simulado por esta

otimização proporciona ainda economia de custos associada à redução do desgaste de pneus e componentes mecânicos dos veículos. Finalmente, o impacto global deste método de otimização é muito positivo, não causando contrapartidas, sendo de fácil execução, dando prioridade a uma condução segura e evitando a extensão do período de execução das rotas.

5.2 Resultados para as rotas analisadas sem recurso a medições a bordo da viatura

Nesta fase são apresentados e discutidos os resultados das rotas cuja análise não implicou dados obtidos a bordo das viaturas operantes. Estas rotas foram simuladas com o modelo MOVES a partir de velocidades médias para os diversos troços à semelhança da metodologia utilizada pelo COPERT4. Os resultados das simulações são apresentados no Quadro 16 (a e b).

Quadro 16 a) - Resultados das simulações para as rotas sem medições a bordo das viaturas operantes

Rota	MOVES (V _m)	COPERT4	Desvio (%) MOVES/C OPERT4	MOVES (V _m)	COPERT4	Desvio (%) MOVES/C OPERT4	MOVES (V _m)	COPERT4	Desvio (%) MOVES/C OPERT4
	CO (g/km)			NO _x (g/km)			VOC (g/km)		
4	2,827	1,788	37	6,333	6,856	8	0,625	0,295	53
5	3,714	1,121	70	7,582	5,508	27	0,950	0,067	93
6	3,867	1,166	70	8,077	5,656	30	0,904	0,070	92
7	3,797	1,929	49	14,09	10,26	27	0,903	0,660	27
8	3,875	1,767	54	14,42	9,685	33	0,933	0,611	35
9	3,836	1,695	56	14,26	9,345	34	0,915	0,578	37
19	3,493	1,552	56	12,37	8,485	31	0,789	0,493	37
27	2,811	1,908	32	5,694	7,150	20	0,880	0,398	55
33	3,499	1,340	62	0,355	6,119	94	0,753	0,081	89
61	3,194	1,228	62	7,490	6,093	19	0,474	0,075	84
62	3,365	1,322	61	8,614	6,067	30	0,694	0,080	88

Quadro 16 b) - Resultados das simulações para as rotas sem medições a bordo das viaturas operantes

Rota	MOVES (V _m)	COPERT4	Desvio (%) MOVES/C OPERT4	MOVES (V _m)	COPERT4	Desvio (%) MOVES/C OPERT4	MOVES (V _m)	COPERT4	Desvio (%) MOVES/C OPERT4
	CO ₂ (g/km)			FC (L/100km)			PM10 Total		
4	772,9	804,2	4	29,19	30,66	5	0,340	0,197	42
5	898,4	870,6	3	33,19	33,21	0	0,425	0,111	74
6	899,8	896,3	0	34,03	34,19	0	0,429	0,119	72
7	902,9	905,9	0	34,15	34,55	1	0,394	0,251	36
8	922,2	855,91	7	34,88	32,64	6	0,402	0,232	42
9	911,6	824,2	10	34,48	31,43	9	0,397	0,225	43
19	816,0	740,7	9	30,87	28,25	8	0,364	0,216	41
27	881,3	800,8	9	33,33	30,54	8	0,412	0,239	42
33	939,0	978,9	4	35,52	37,34	5	0,025	0,124	80
61	978,8	984,2	1	37,15	37,54	1	0,025	0,128	81
62	989,3	969,3	2	37,42	36,97	1	0,027	0,121	78

Analisando o Quadro 16 verifica-se que as emissões de CO₂ apresentam um desvio reduzido entre os dois modelos à semelhança do consumo de combustível. Para estes, o maior desvio surge associado à rota 9 e tem o valor de 10% para o CO₂ e 9% para o consumo de combustível. No entanto, os valores do consumo de combustível estão dentro dos intervalos anunciados pela Lacticoop para todas os casos à exceção da rota 9 que apresenta um valor de 31,4 L/100km face aos 36 ± 2 L/100km anunciados. As emissões de CO, VOC e PM10 apresentam desvios significativos tal como para as simulações realizadas com dados recolhidos a bordo das viaturas. Os motivos dos valores mais elevados para estes desvios, assim como para as emissões de NO_x são os já anteriormente enunciados para as rotas previamente analisadas. As emissões de CO apresentam um desvio máximo de 70% entre os modelos para as rotas 5 e 6, as de VOC chegam a atingir 93% para a rota 5 e as de PM10 sofrem um desvio máximo de 81% para a rota 61. O desvio máximo das emissões de NO_x corresponde a 94% para a rota 33, no entanto, para as restantes rotas varia entre 8% a 34%. O principal motivo dos valores elevados de desvio para estes poluentes deve-se, principalmente, às limitações associadas ao processo de correspondência de legislação entre os modelos, no entanto, os valores de CO₂ e consumo de combustível revelam-se credíveis e com desvios bastante reduzidos.

Derivado das simulações experimentais anteriormente enunciadas e realizadas com o modelo MOVES, são apresentados, no Quadro 17, alguns resultados para as mesmas viaturas mas, de ano de matrícula diferente segundo as normas norte-americanas. Os valores para as rotas 5, 6 e 33

correspondem ao ano 2007. Para as rotas 7, 8, 9 e 19, os anos a partir dos quais se notou alteração drástica nos valores obtidos em simulação foram 1999, 2003 e 2007 para os poluentes NO_x, VOC e CO respetivamente. Para a rota 27 as aproximações são referentes ao ano 2000. Os poluentes apresentados são o CO, NO_x e VOC uma vez que estiveram na origem de desvios significativos para os resultados das simulações originais. No caso das partículas PM10, não se obtiveram resultados de interesse relevante pelo motivo referido nas aproximações anteriores.

Quadro 17 - Aproximações resultantes de simulações experimentais no MOVES para rotas sem medições a bordo das viaturas operantes

Rota	CO (g/km)					NO _x (g/km)					VOC (g/km)				
	MOVES	COPERT4	DESVIO (%)	MOVES/ COPERT4		MOVES	COPERT4	DESVIO (%)	MOVES/ COPERT4		MOVES	COPERT4	DESVIO (%)	MOVES/ COPERT4	
5	1,253	1,121	10		4,673	5,508	15			0,056	0,067			16	
6	1,514	1,166	10		5,333	5,656	6			0,054	0,070			23	
7	1,515	1,929	21		8,986	10,26	12			0,702	0,660			6	
8	1,525	1,767	14		9,148	9,685	6			0,727	0,611			16	
9	1,520	1,695	10		9,052	9,345	3			0,711	0,578			19	
19	1,481	1,552	5		8,306	8,485	2			0,600	0,493			18	
27	-	-	-		7,271	7,150	2			-	-			-	
33	1,525	1,340	12		5,416	6,119	11			0,056	0,081			31	

Através das simulações experimentais para a rota 5, as emissões de CO passam de 70% para 10%, enquanto as de NO_x de 27% para 15% e, as de VOC de 93% para 16%. No caso da rota a variação de emissões de CO passa de 70% para 10%, enquanto a de NO_x de 30% para 6% e, a de VOC de 92% para 23%. Para a rota 7, a variação de emissões de CO passa de 49% para 21%, a de NO_x de 27% para 12% e, a de VOC de 27% para 6%. Quanto à rota 8, a variação de emissões de CO passa de 54% para 14%, a de NO_x de 33% para 6% e, a de VOC de 35% para 16%. Na rota 9, a variação de emissões de CO passa de 56% para 10%, a de NO_x de 34% para 3% e, a de VOC de 37% para 19%. Para a rota 19, os valores de CO apresentam uma variação entre os modelos que passa de 56% para 5%, enquanto a de NO_x de 31% para 2% e, a de VOC de 37% para 18%. No caso da rota 27, não se obteve resultados de interesse significativo para o CO e VOC, no entanto, a variação de emissões de NO_x sofreu uma redução de 20% para 2%. Finalmente, para a rota 33, a variação de emissões de CO passa de 62% para 12%, a de NO_x de 94% para 11% e, a de VOC de 89% para 31%.

6 Conclusões e trabalhos futuros

O objetivo desta Dissertação consistiu na análise energético-ambiental da frota de veículos pesados de mercadorias da Lacticoop. No seu seguimento foi também realizada a comparação dos principais modelos de simulação de emissões de poluentes e consumo de combustível, da Europa e dos Estados Unidos: COPERT4 e MOVES. Com os dois modelos foi possível verificar a variação dos resultados face a parâmetros de configuração o mais semelhantes possível, detetar as limitações de cada modelo acima de tudo, fazer uso das melhores potencialidades de cada um. Um bom exemplo disto foi o estudo realizado para perceber o efeito da variação da carga dos veículos das rotas 3, 51, 63, 67 e 76 da Lacticoop. Neste estudo, o modelo COPERT4 foi, sem dúvida, o mais adequado, por, não só, incluir a opção de definição da percentagem de carga, mas também, por possuir mais informação sobre a massa de diversos tipos de veículos. Em contrapartida, O MOVES possui uma lista de tipos de veículos muito limitada e não permite selecionar os mesmos por massa. Através das simulações com variação de carga percebeu-se que as emissões de poluentes e consumo de combustível crescem com o aumento da carga, à exceção das emissões de VOC na rota 3 e NO_x na rota 67, que baixaram até -1,6% e -5,8% respetivamente. Apesar destas reduções pouco significativas de VOC e NO_x, tal facto verificou-se devido ao aumento das emissões destes poluentes para valores de velocidades compreendidos até 60 km/h.

No caso das simulações recorrendo a uma metodologia microescala (segundo-a-segundo), o MOVES esteve claramente em vantagem face ao modelo europeu COPERT4 que, não permitia a simulação de perfis de velocidade. Por isso, o processo de otimização realizado para as rotas com medições a bordo das viaturas operantes foi executado com o MOVES, possibilitando assim a gestão direta de perfis de aceleração e velocidade.

Na maioria das simulações realizadas, os consumos de combustível obtidos estavam dentro dos valores anunciados pelos dados da Lacticoop. A exceção verificou-se para a rota 51 cujo valor de consumo de combustível obtido por simulação se afastou por defeito do valor anunciado de 48L/100km. Contudo, verificou-se que segundo outros dados facultados pela Lacticoop, a viatura operante apresentava variações grandes de consumo na ordem dos 30%. Foi o que se passou com a rota 33 que, uma vez realizada pela mesma viatura da rota 51, apresentou consumos de combustível, simulados e reais, inferiores. Tal variação de valores nos registos da Lacticoop deveu-se, em grande parte, ao modo de condução dos condutores. Por esta razão, pelos valores obtidos pelos três diferentes tipos de simulação e pelo facto da viatura operante da rota 51 ser a mesma da rota 33, considerou-se que os resultados obtidos têm um grau aceitável de fidedignidade.

Após as simulações realizadas verificou-se que para as rotas 33, 61, 62 e 76 se obtiveram os maiores valores de consumo de combustível e de emissões de CO₂. No que diz respeito apenas às simulações de rotas com perfis de velocidades, foi desenvolvido um processo de otimização das mesmas com vista a simular um perfil de condução mais económico e amigo do ambiente, no modelo MOVES. Para a realização desta otimização foi desenvolvido um algoritmo que reconhece pequenas e desnecessárias oscilações de velocidade na ordem de 2 km/h. Com o reconhecimento destas oscilações, o algoritmo gera uma suavização do perfil de aceleração e, conseqüentemente, de velocidade. Este processo de otimização gerou um resultado interessante, revelando redução no consumo de combustível e emissões de poluentes para todas as rotas simuladas. No caso da rota 76, as reduções de consumo de combustível e emissões de CO₂ chegaram a 15%. Este resultado, ao preço atual dos combustíveis (45), corresponderia a uma poupança de cerca de 47 €

por volta, pelo que se torna uma redução bastante significativa quando este percurso é realizado com frequência.

A metodologia utilizada na otimização do desempenho dos veículos para as rotas 3, 51, 63, 67 e 76, além de fácil execução prática, apresenta ainda algumas vantagens no que diz respeito ao desgaste e manutenção e no que toca à segurança da condução pois não sendo esta nunca posta em causa, ainda pode diminuir o risco de incidentes. A nível comercial, a otimização realizada apresenta-se muito intuitiva, sem necessidade de investimentos financeiros, sem entraves para os recursos humanos por não implicar perdas de postos de trabalho, sem extensão do período de execução das rotas e altamente rentável. Posteriormente, a empresa poderia ainda complementar esta medida com sistemas de monitorização em tempo real do desempenho do veículo. Finalmente, o impacto global deste método de otimização é muito positivo, não causando contrapartidas e, demonstrando-se exequível.

Em suma, a utilização dos modelos MOVES e COPERT4 necessitou de alguma adaptação e, demonstrou alguma falta de coerência nomeadamente para as emissões de CO, NO_x e PM10, contudo, os benefícios da conjugação de potencialidades dos dois modelos facultou uma análise mais abrangente e detalhada. Tal facto deve-se não só à possibilidade de utilizar as melhores potencialidades de cada modelo, como também, de poder ter diversos resultados para cada caso específico na finalidade de os comparar e confrontar.

Trabalhos futuros

O presente estudo oferece ainda a possibilidade de ser aprimorado através da recolha e análise de dados a bordo das viaturas para diversas rotas. A empresa em estudo possui um vasto leque de rotas em execução, logo, da análise da dinâmica segundo-a-segundo e do cálculo do VSP das mesmas poderão surgir resultados mais fidedignos, alargando assim as possibilidades de otimização do desempenho da frota. Numa fase posterior, seria interessante poder monitorizar toda a frota da Lacticoop através da metodologia VSP, podendo desta forma confrontar os valores reais com os simulados e, tentar perceber onde estão as possibilidades de otimização. Porém, este desenvolvimento está um pouco dependente da evolução do MOVES, uma vez que, com a adaptação de normas americanas para europeias se verificaram desvios consideráveis para o CO, NO_x e PM10. No entanto, e apesar de ter uma interface pouco intuitiva, o MOVES apresenta resultados consistentes para a variável VSP, simulando resultados com pouco desvio para o CO₂ e consumo de combustível. Sendo assim, numa fase em que o MOVES incorporasse a possibilidade de importar dados sobre diferentes normas de emissões correspondentes a legislações de outros países, tornar-se-ia um modelo muito interessante para uso europeu. Com vista ao desenvolvimento da utilização do modelo VSP para as simulações, seria ainda interessante associar um sistema de medição de emissões e consumo de combustível às viaturas da frota da Lacticoop. Desta forma poder-se-ia estabelecer comunicação de dados em tempo real com um modelo computacional. Com isto, seria interessante o controlo em rede do funcionamento de cada viatura para, nomeadamente, controlar o modo de condução de cada motorista. Contudo, a principal limitação desta medida é o controlo prático do comportamento dos condutores, por isso, o desenvolvimento de um sistema de monitorização para cada viatura possibilitaria uma gestão rigorosa dos desempenhos de cada veículo e respetivo motorista. Após a implementação deste sistema, os perfis de velocidade, aceleração e altitude, de cada rota, poderiam ser cuidadosamente analisados e otimizados. Deste modo, mais facilmente conseguiria monitorizar o desempenho dos condutores. A simulação com base nos modelos utilizados neste trabalho é ainda reconhecida pelo seu reduzido custo e pelas suas potencialidades a nível da poupança financeira e ambiental para a Lacticoop.

Outro estudo complementar a este trabalho poderia consistir em recolher informações reais sobre todos os veículos da frota da Lacticoop, analisar o perfil das rotas executadas e, consoante as características de cada viatura, atribuir a melhor viatura para uma determinada rota. Isto é, tentar otimizar o consumo de combustível e emissões de poluentes consoante as características das rotas e veículos. Uma viatura com menor massa que consiga ter volume de carga suficiente para uma rota com um perfil de altitude mais vincado proporcionaria, à partida, menores consumos e emissões. Esta é uma das características a ter em causa, tal como, a idade das viaturas, extensão das rotas, sinuosidade do percurso, entre outras.

Em março de 2012, a EPA disponibilizou a mais recente atualização do MOVES, o MOVES2010b. Como a US EPA refere (4), os melhoramentos são mínimos, pelo que esta versão apresenta melhorias mais significativas a nível da velocidade de simulação e funcionamento em rede. Na execução de simulações chega a ser 10% mais rápido. Algumas funcionalidades de deteção de erros e desenvolvimentos na recuperação de dados durante falhas na rede tornam a operação em rede mais eficiente. Foram também desenvolvidos melhoramentos na interface de gestão de dados. Além disto, foram desenvolvidos mecanismos de deteção de erro para a introdução de dados. Na nova versão do MOVES é possível distinguir zonas separadas para cada simulação, podendo-se assim obter dados individualmente para as emissões de poluentes e consumos de energia respetivos a cada zona.

7 Referências bibliográficas

1. Schweitzer L, Brodrick C-J, Spivey SE. Truck driver environmental and energy attitudes – an exploratory analysis. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2008;13(3):141-50.
2. EEA. TERM 2011: transport indicators tracking progress towards environmental targets in Europe. European Environment Agency, 2011 Relatório nº 7/2011.
3. AEA. Agência Europeia do Ambiente. 2011 [17 de Dezembro de 2011]; Disponível em: <http://www.eea.europa.eu/themes/air>.
4. U.S.EPA. Agência de Proteção Ambiental Norte-Americana. 2011 [5 de Junho de 2012]; Disponível em: <http://www.epa.gov>.
5. EMISIA. COPERT4. 9.0 ed2012.
6. Coslovich L, Pesenti R, Ukovich W. Minimizing fleet operating costs for a container transportation company. *European Journal of Operational Research*. 2006;171(3):776-86.
7. Vidović M, Radivojević G, Raković B. Vehicle routing in containers pickup up and delivery processes. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 2011;20(0):335-43.
8. Kang S, Medina JC, Ouyang Y. Optimal operations of transportation fleet for unloading activities at container ports. *Transportation Research Part B: Methodological*. 2008;42(10):970-84.
9. Zhang Y-y, Li J-b. Dynamic Optimal Model of Vehicle Fleet Size and Exact Algorithm. *Systems Engineering - Theory & Practice*. 2007;27(2):83-91.
10. Belfiore Pc, Yoshida Yoshizaki HT. Scatter search for a real-life heterogeneous fleet vehicle routing problem with time windows and split deliveries in Brazil. *European Journal of Operational Research*. 2009;199(3):750-8.
11. Repoussis PP, Tarantilis CD. Solving the Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem with Time Windows via Adaptive Memory Programming. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2010;18(5):695-712.
12. Bielli M, Bielli A, Rossi R. Trends in Models and Algorithms for Fleet Management. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 2011;20(0):4-18.
13. Nesbitt K, Sperling D. Fleet purchase behavior: decision processes and implications for new vehicle technologies and fuels. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2001;9(5):297-318.
14. Bektaş T, Laporte G. The Pollution-Routing Problem. *Transportation Research Part B: Methodological*. 2011;45(8):1232-50.
15. Lee S, Turner J, Daskin MS, Homem-de-Mello T, Smilowitz K. Improving fleet utilization for carriers by interval scheduling. *European Journal of Operational Research*. 2012;218(1):261-9.
16. CERT. User's Guide to Comprehensive Modal Emissions Model (CMEM), versão 3.01. Center for Environmental Research & Technology; 2012 [5 de Janeiro de 2012]; Disponível em: <http://www.cert.ucr.edu/cmem/index.html>.
17. He C, Wang Q. Vehicle emission factors determination using CMEM in Beijing. *Environmental Sciences*. 2006:109–12.

18. Zhang K, Batterman S, Dion F. Vehicle emissions in congestion: Comparison of work zone, rush hour and free-flow conditions. *Atmospheric Environment*. 2011;45(11):1929-39.
19. Borrego C, Miranda A, Costa A, Tchepel O, Amorim J, Martins H. Air quality modelling in european cities: a local scale perspective. 8th Int Conf on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes 2002. p. 244-8.
20. EMFAC. Calculating emission inventories for vehicles in California, User's Guide (version 2.30). 2007 [7 de Janeiro de 2012]; Disponível em: http://www.arb.ca.gov/msei/onroad/latest_version.htm.
21. Huai T, Shah SD, Wayne Miller J, Younglove T, Chernich DJ, Ayala A. Analysis of heavy-duty diesel truck activity and emissions data. *Atmospheric Environment*. 2006;40(13):2333-44.
22. Shah SD, Johnson KC, Wayne Miller J, Cocker Iii DR. Emission rates of regulated pollutants from on-road heavy-duty diesel vehicles. *Atmospheric Environment*. 2006;40(1):147-53.
23. U.S.EPA. User's Guide to MOBILE6.1 and MOBILE6.2 2003 14 de Janeiro de 2012. Disponível em: <http://www.epa.gov/otaq/mobile.htm>.
24. Gkatzoflias D, Kouridis C, Ntziachristos L, Samaras Z. Computer programme to calculate emissions from road transport, User manual (version 5.0) 2007 4 de Fevereiro de 2012. Disponível em: <http://lat.eng.auth.gr/copert/>.
25. Beddows DCS, Harrison RM. Comparison of average particle number emission factors for heavy and light duty vehicles derived from rolling chassis dynamometer and field studies. *Atmospheric Environment*. 2008;42(34):7954-66.
26. U.S.EPA. Motor Vehicle Emission Simulator (MOVES2010a), User Guide 2010 21 de Dezembro de 2011. Disponível em: <http://www.epa.gov/otaq/models/moves/index.htm>.
27. QStarz. [30 de Março de 2012]; Disponível em: <http://www.qstarz.com/Products/GPS%20Products/BT-Q1000XT-F.htm>.
28. Jiménez JL, McClintock P, McRae GJ, Zahniser DD NaMS. Vehicle Specific Power: A Useful Parameter for Remote Sensing and Emission Studies. 9th CRC On-Road Vehicle Emissions Workshop; 21 de Abril de 1999; San Diego, Estados Unidos da América 1999.
29. Beardsley M. MOVES Fleet and Activity Inputs: 1999 Base Year. CRC On-road Emissions Workshop; San Diego, California 2004.
30. U.S.EPA. MOVES2004 Highway Vehicle Population and Activity Data (Draft). In: Quality OoTaA, editor.: U.S. Environmental Protection Agency; 2004.
31. U.S.EPA. Motor Vehicle Emission Simulator Highway Vehicle Implementation (MOVES-HVI) Demonstration Version: Software Design and Reference Manual Draft 2007; EPA420-P-07-001.
32. Koupal J, H. Michaels, M. Cumberworth, C. Bailey, and D. Brzezinski. . EPA's Plan for MOVES: A Comprehensive Mobile Source Emissions Model. Agência de Proteção Ambiental Norte-Americana. 2002.
33. U.S.EPA. Methodology for Developing Modal Emission Rates for EPA's Multi-Scale Motor Vehicle and Equipment Emission System 2002; EPA420-R-02-027.
34. EMISIA. Mission For Environment. [13 de Fevereiro de 2012]; Disponível em: <http://www.emisia.com>.

35. Penman J, Gytarsky M, Hiraishi T, Irving W, Krug T. 2006 IPCC GUIDELINES FOR NATIONAL GREENHOUSE GAS INVENTORIES. In: Change IPOC, editor.: IPCC; 2006.
36. Lacticoop. [3 de junho de 2012]; Disponível em: <http://www.lacticoop.pt/main.html>.
37. Koupal J, Beardsley M, Brzezinski D, Warila J, Faler W. U.S. EPA's MOVES2010 vehicle emission model: overview and considerations for international application2000.
38. DieselNet. [15 de Fevereiro de 2012]; Disponível em: <http://www.dieselnet.com/standards>.
39. Lacticoop. Tabela dinâmica de consumos de combustível por volta. 2011.
40. IM. Instituto de Meteorologia, IP Portugal. METEO; [5 de Março de 2012]; Disponível em: <http://www.meteo.pt/pt/oclima/acompanhamento/index.jsp?selTipo=m&selVar=tt&selAna=me&selAno=-1>.
41. U.S.EPA. Categorias de veículos por peso. [20 de Janeiro de 2012]; Disponível em: <http://www.epa.gov/otaq/standards/weights.htm>.
42. Google. Google maps. [15 de março de 2012]; Disponível em: <http://maps.google.pt/maps>.
43. Google. Google Earth. 2012.
44. Hellström E, Ivarsson M, Åslund J, Nielsen L. Look-ahead control for heavy trucks to minimize trip time and fuel consumption. Control Engineering Practice. 2009;17(2):245-54.
45. DGGE. Direção Geral de Geologia e Energia. 2012 [15 de Maio de 2012]; Disponível em: <http://www.precoscombustiveis.dgge.pt/>.
46. MOVES. MOVES2010a ed: U.S.EPA; 2010.

Anexo A – Modelo MOVES

1. Introdução à interface de utilizador do MOVES

A interface gráfica do MOVES é constituída por uma barra de menu principal, um painel de navegação e um painel de detalhes. A barra de menu principal e o painel de navegação estão sempre presentes nas diversas janelas que o usuário poderá utilizar até à fase da simulação. Na Figura 15 é representada a interface base do MOVES (26).

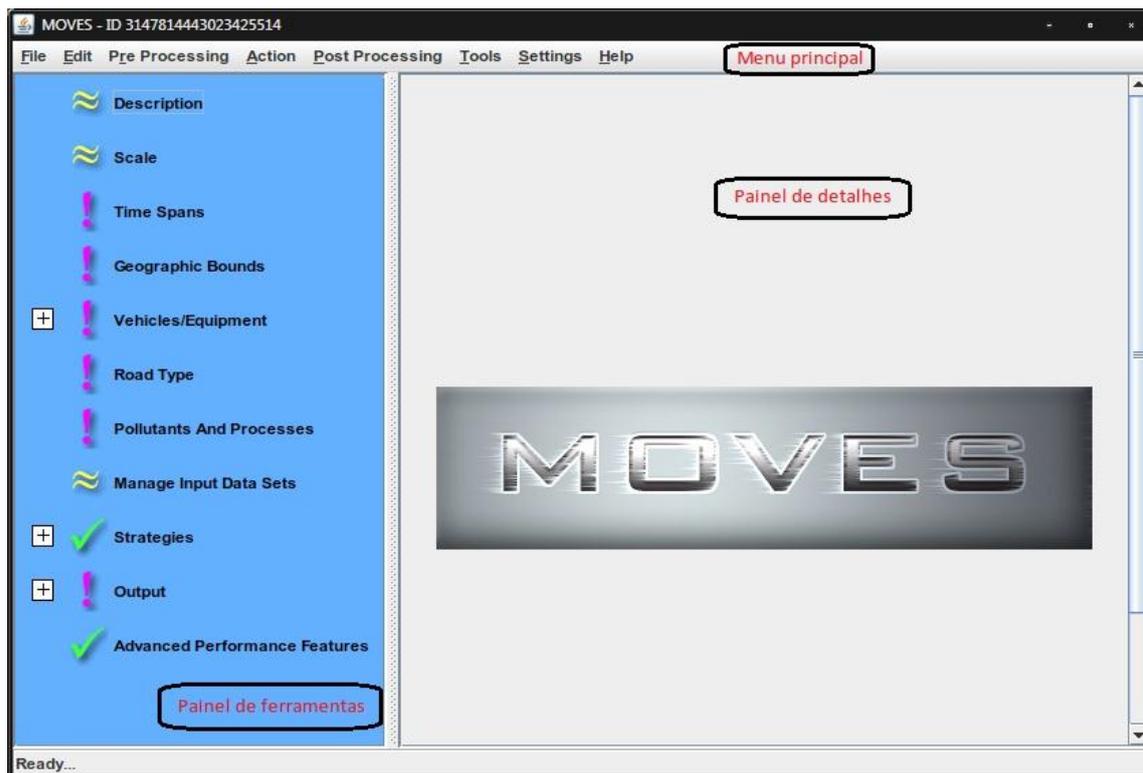


Figura 15 - Interface base do MOVES (46)

1.1. Painel de navegação

O painel de navegação (Figura 16) encontra-se no lado direito da janela principal do MOVES. Este inclui os principais parâmetros a considerar pelo utilizador para preparar a simulação.

Ao ser selecionado um item no painel de navegação é automaticamente aberto um formulário no painel de detalhes onde o utilizador tem a possibilidade de introduzir diversos parâmetros de entrada.



Figura 16 - Painel de navegação (46)

No painel de navegação existem alguns detalhes a ter em conta que são enunciados e explicados no Quadro 18.

Quadro 18 - Ícones do painel de navegação e seu significado (46)

Ícone	Descrição
	Expandir ou colapsar informação (respetivamente)
	Informação não introduzida mas sem entraves para correr a simulação
	Necessário informação adicional por parte do utilizador
	Suficientemente preenchido para correr

1.2. Descrição ("Description")

Selecionado o parâmetro "Description" (Figura 17) no painel de navegação, o utilizador tem a possibilidade de discriminar o trabalho a desenvolver. Para tal, a informação desejada poderá ser introduzida na respetiva janela do painel de detalhe.

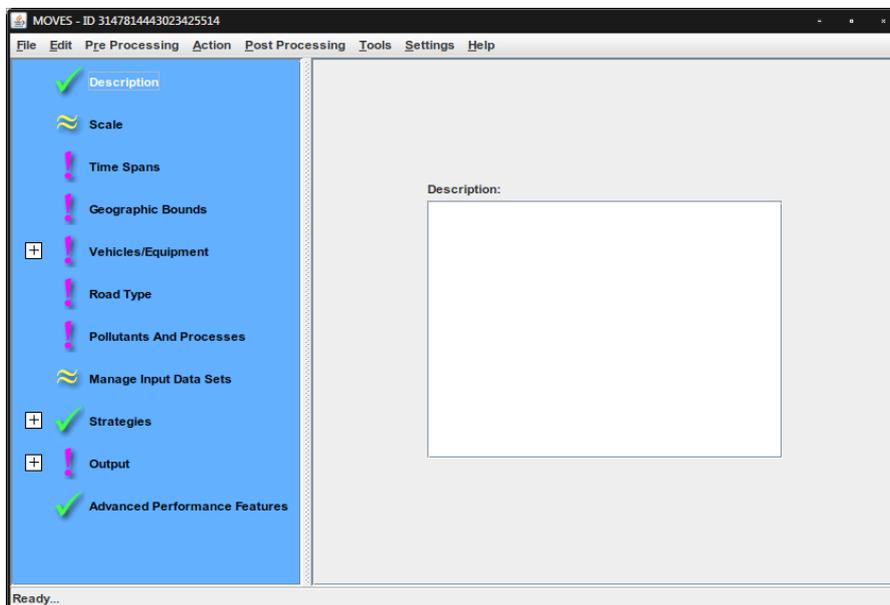


Figura 17 - Descrição ("Description") (46)

1.3. Escala

Ao seleccionar o parâmetro escala "Scale" (Figura 18) no painel de navegação pode ser escolhido o nível de detalhe dos dados a introduzir no MOVES e definir se é desejado que o modelo calcule o somatório das emissões ou as taxas das mesmas.

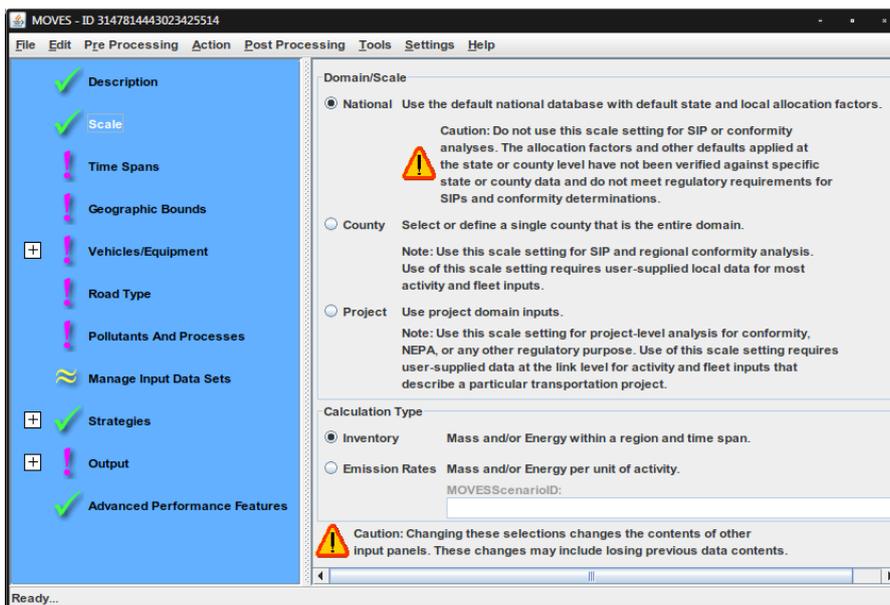


Figura 18 - Escala ("Scale") (46)

“Domain/Scale”

Neste menu o parâmetro pré-definido é o Nacional (“*National*”). Caso este esteja selecionado, os dados a serem introduzidos são atribuídos a estados (“*State*”) ou municípios/condados (“*County*”). Como tal, a escolha entre estes atribui o nível de análise das emissões, sendo que no caso de estado a análise tem um carácter mais macro. Sendo assim, para um mais elevado nível de detalhe de uma área particular, o utilizador pode seleccionar a opção “*County*”. Neste caso os dados a ser introduzidos pelo utilizador serão utilizados pelo MOVES ao invés dos dados incluídos no parâmetro “*National*”.

O parâmetro de modelação com maior nível de detalhe presente no MOVES é o “*Project Domain/Scale*”. Este permite ao utilizador modelar as emissões de um grupo específico de determinado tipo de vias e/ou de uma única zona fora da rede comum de estradas. Optando por este parâmetro, o utilizador é obrigado a introduzir mais informação específica do que segundo outros.

Finalmente, é de realçar que as escolhas realizadas pelo utilizador no menu “*Domain*”/“*Scale*” irão afetar as seleções no menu das limitações geográficas.

Tipo de cálculo (“*Calculation Type*”)

Nesta secção, o utilizador pode optar pelo tipo de cálculo a ser efetuado pelo MOVES. Caso seja escolhida a opção “*Inventory*”, o modelo irá calcular a quantidade de emissões e/ou energia usada numa região e intervalo temporal.

Ao ser seleccionada a opção “*Emission Rates*”, as emissões e consumo de energia ser relacionados com a unidade de atividade.

1.4. Intervalos de tempo (“*Time Spans*”)

Ao ser seleccionado o parâmetro “*Time Spans*” (Figura 19), o utilizador pode definir os períodos de tempo específicos. Nesta fase é possível definir o período de tempo (anos, meses, dias, horas) em cujas emissões serão modeladas no painel de detalhes.

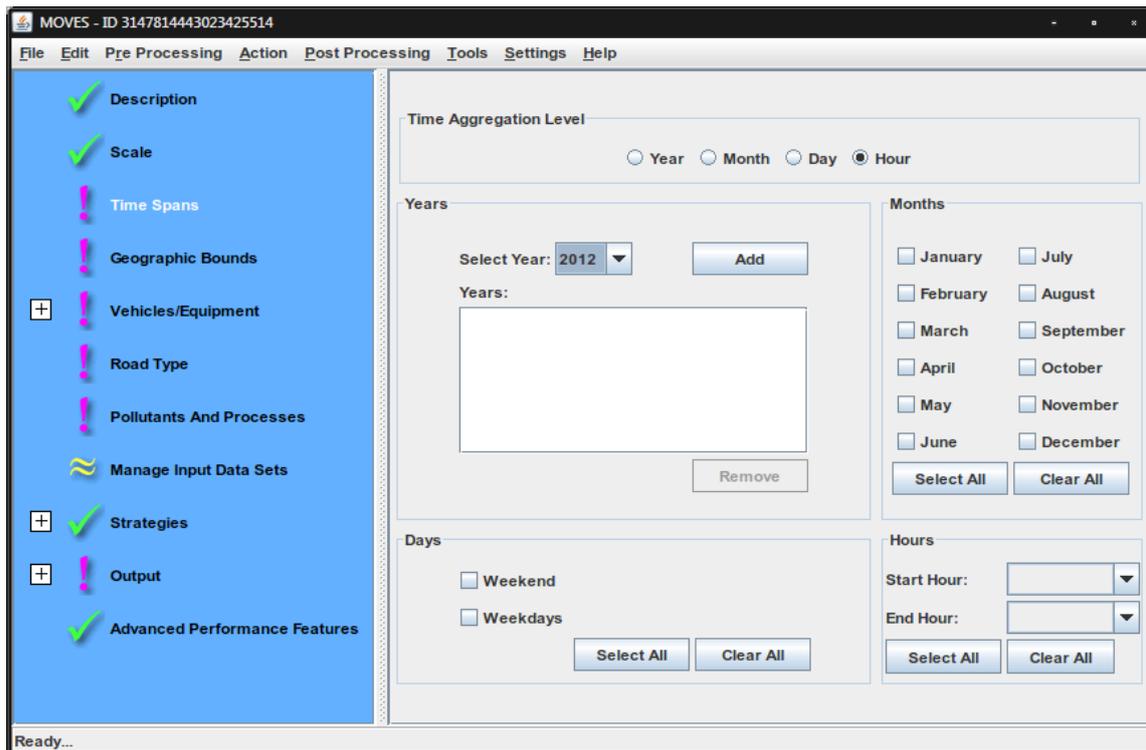


Figura 19 - Intervalos de tempo ("Time Spans") (46)

1.5. Limites geográficos ("Geographical Bounds")

Ao selecionar "Geographical Bounds" é possível determinar a região a modelar. A opção disponível no painel de navegação depende da escolha feita nos parâmetros "Domain/Scale" e "Calculation Type".

Caso o utilizador tenha optado por selecionar a opção "Inventory calculations" no parâmetro escala "National", a janela da Figura 20 aparecerá.

Os três botões "Nation", "State" e "County" estão normalmente disponíveis.

Ao escolher a opção "Nation" (Figura 21), o utilizador pode criar um inventário das emissões ao nível nacional dos EUA.

Caso o utilizador tenha interesse em estudar estados ou territórios específicos dentro dos EUA, a melhor opção a ser escolhida será "State" (Figura 22). Nesta opção duas partes devem ser preenchidas, sendo elas os "States" e "Selections".

A opção "County" (Figura 20) permite ao utilizador selecionar municípios/condados específicos em cada estado.

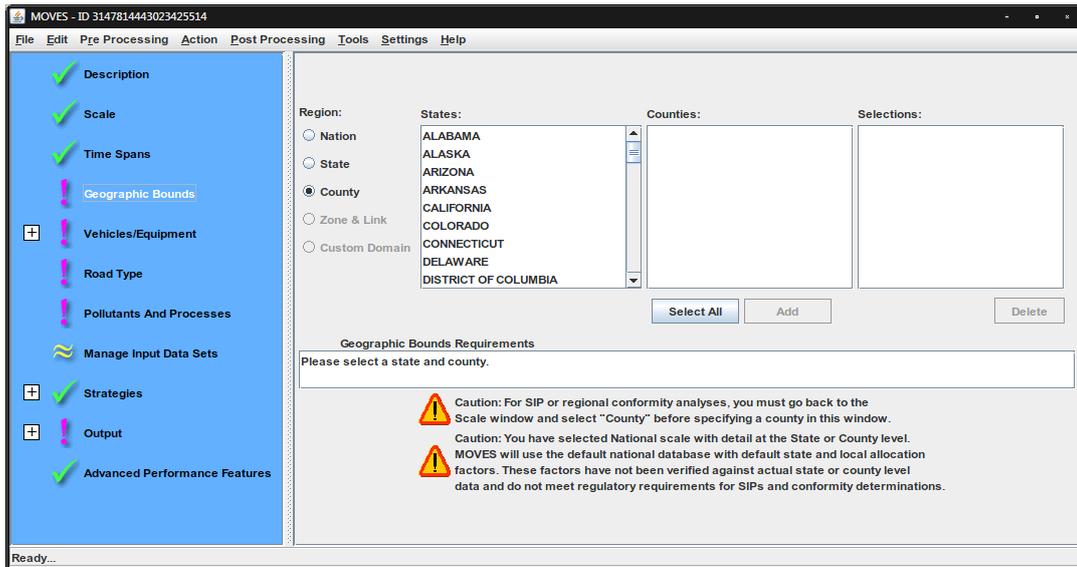


Figura 20 - Limites geográficos – "County" (46)

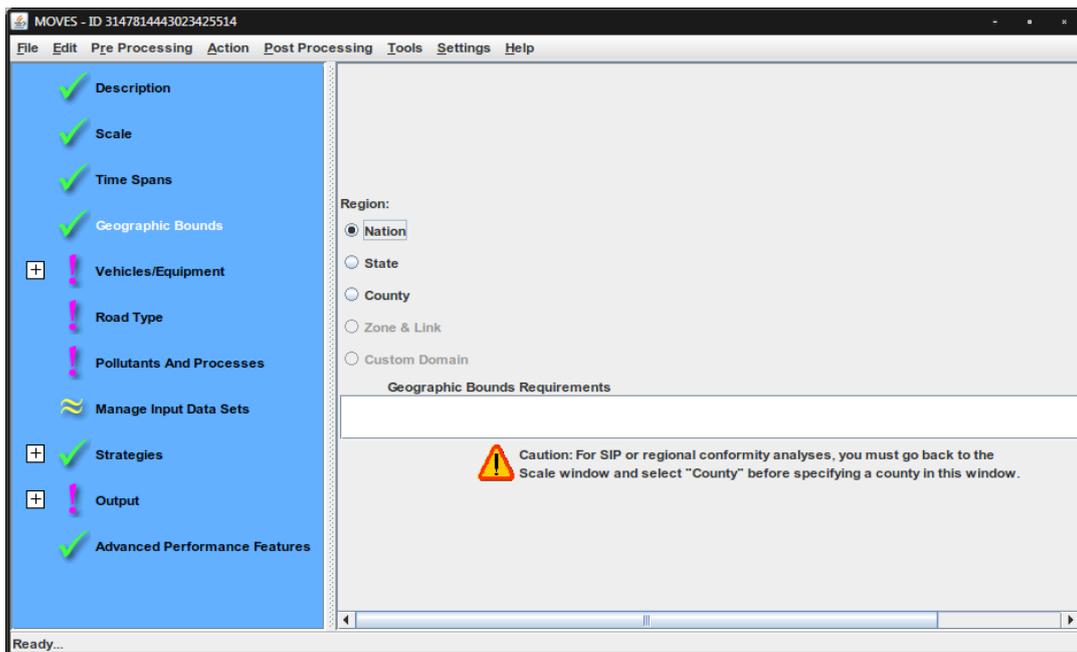


Figura 21 - Limites geográficos - "Nation" (46)

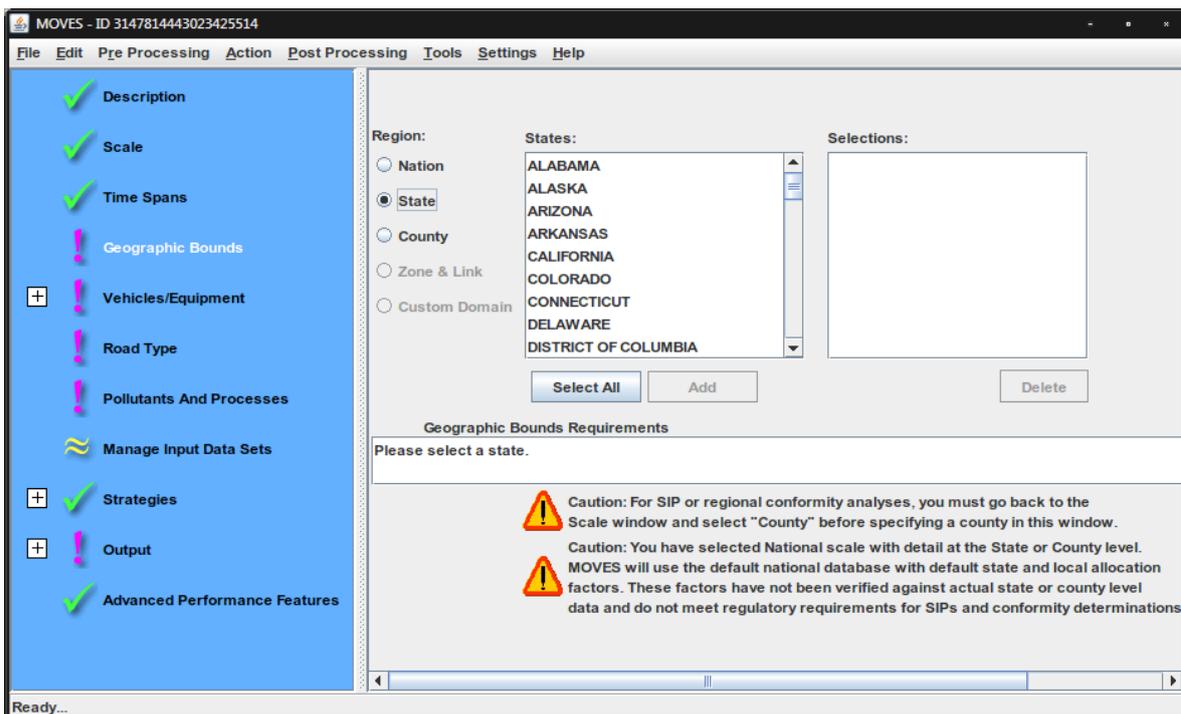


Figura 22 - Limites geográficos - "State" (46)

Na situação em que o utilizador selecionou "County" ou "Project" no parâmetro "Scale" do painel de navegação, torna-se possível definir um município personalizado ao selecionar "Custom Domain" na área "Region" do parâmetro "Geographic Bounds" (Figura 23).

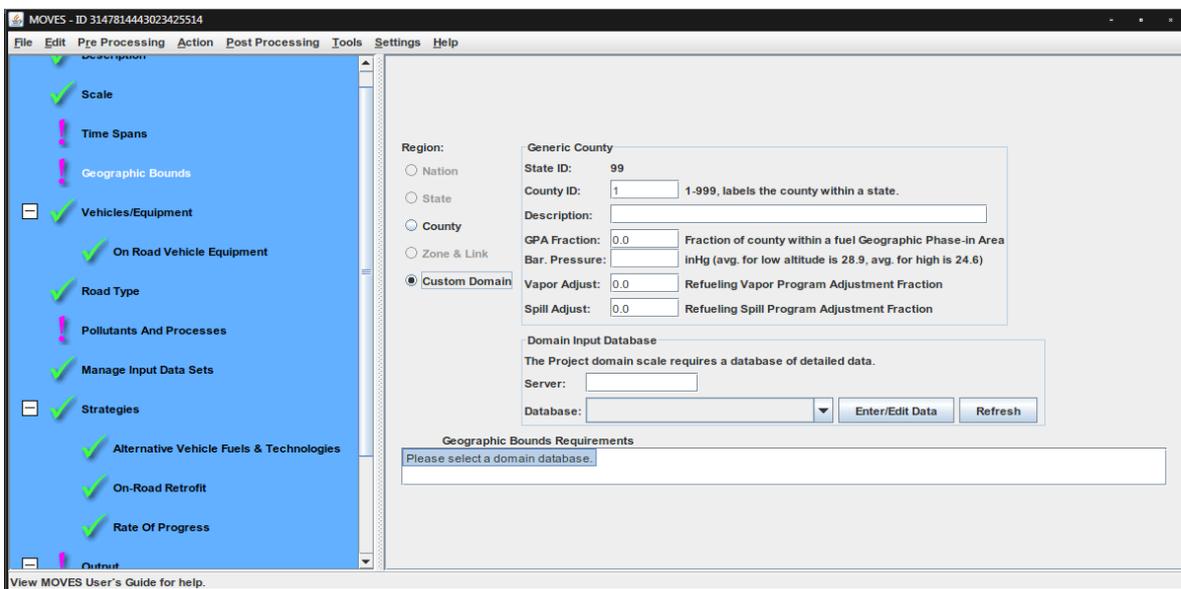


Figura 23 - Limites geográficos - "Custom Domain" (46)

1.6. Veículos/equipamentos (“Vehicles/Equipment”)

No parâmetro “*Vehicles/Equipment*” (Figura 24) do painel de navegação, o utilizador pode seleccionar os diversos tipos de veículos que constituem a frota a ser estudada.

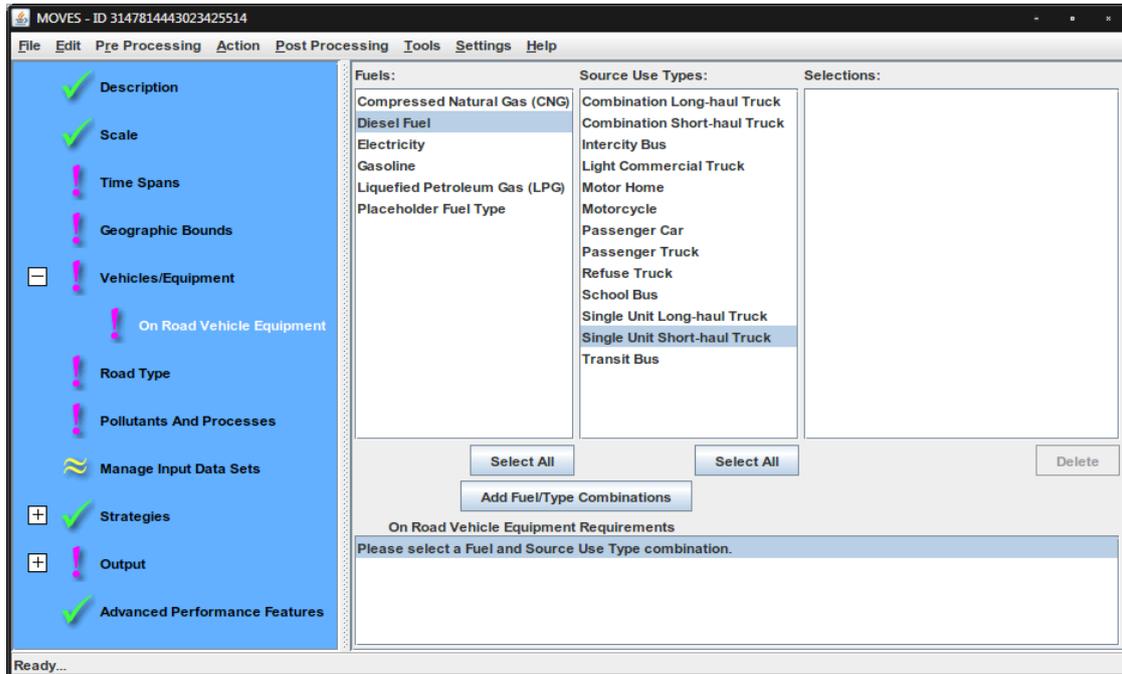


Figura 24 - Veículos e equipamentos (46)

1.7. Tipo de via (“Road Type”)

Após ter sido introduzida informação no parâmetro “*Vehicles/Equipment*”, torna-se disponível a seleção do tipo de via no parâmetro “*Road Type*” do painel de navegação (Figura 25).

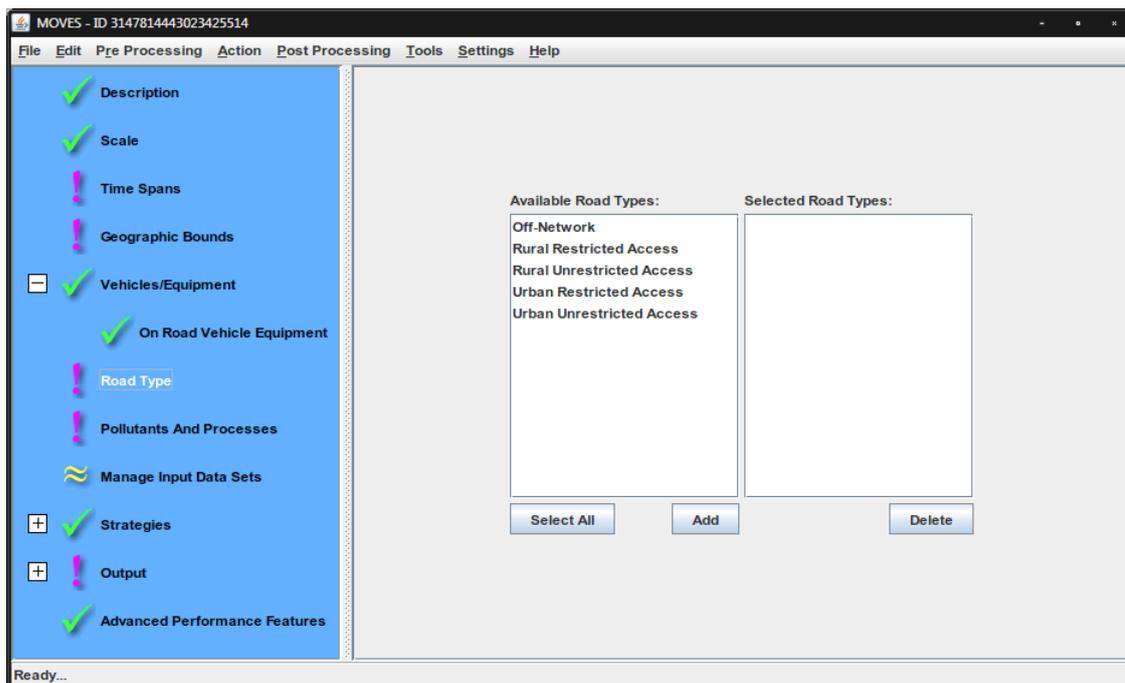


Figura 25 - Tipo de via ("Road Type") (46)

1.8. Poluentes e processos

Para escolher os poluentes e processos a incluir na simulação, o utilizador deve seleccionar o parâmetro "Pollutants and Processes" (Figura 26) no painel de navegação. Após ter sido seleccionado este parâmetro, uma matriz aparecerá no painel de detalhe onde podem ser seleccionados os poluentes e desejados listados por linhas, assim como os respetivos processos listados em colunas.

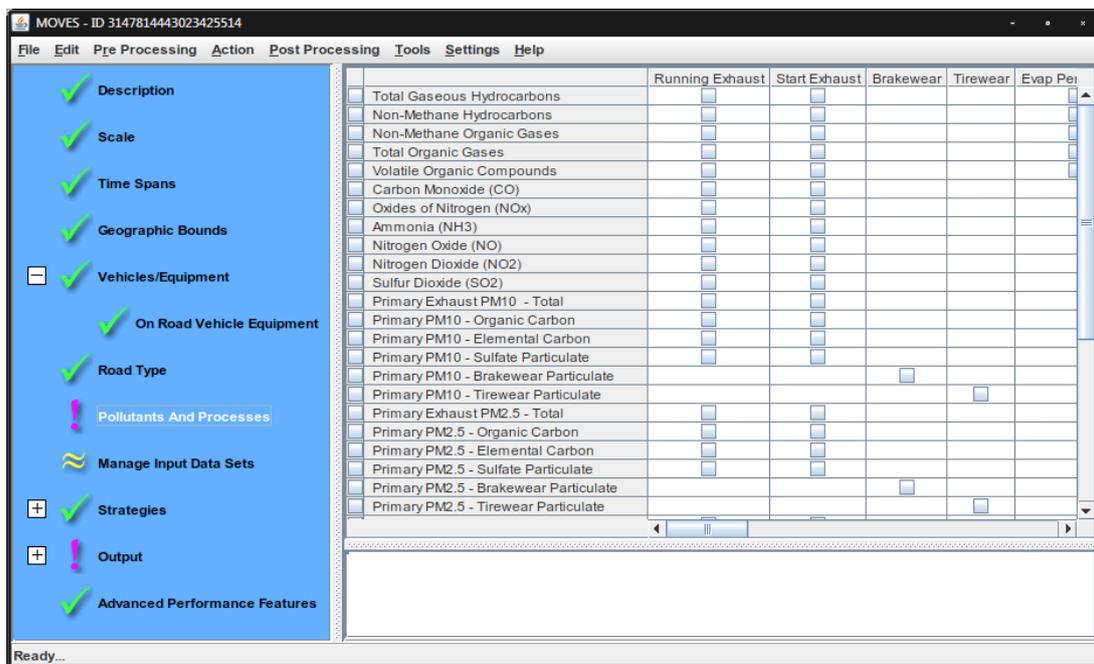


Figura 26 - Poluentes e processos ("Pollutants and Processes") (46)

Relativamente ao “*Process*”, este refere-se ao tipo de processo que leva à formação de um determinado poluente, tais como arranque do motor, emissões evaporativas originadas pelo abastecimento do veículo ou mesmo travagem.

No caso de “*Pollutants*”, trata-se do tipo de poluentes e consumo de energia dos quais o utilizador deseja recolher informação após a simulação.

1.9. Gestão dos grupos de dados de entrada (“*Manage Input Data Sets*”)

Ao seleccionar “*Manage Input Data Sets*” (Figura 27) no painel de navegação o utilizador pode especificar as bases de dados a ser usadas para o modelo ler com vista a realizar a simulação. As bases de dados introduzidas segundo este parâmetro pelo utilizador substituem dados existentes do modelo por predefinição caso estes existam.

As bases de dados a serem introduzidas pelo utilizador devem corresponder ao esquema utilizado pelo MOVES (DBMS). Isto significa que as tabelas das bases de dados do utilizador devem ter designações semelhantes às pré-existentes no MOVES. Para mais detalhes sobre a gestão das bases de dados, o utilizador pode consultar o esquema usado pelo modelo no manual *Software Design Reference Manual* (26).

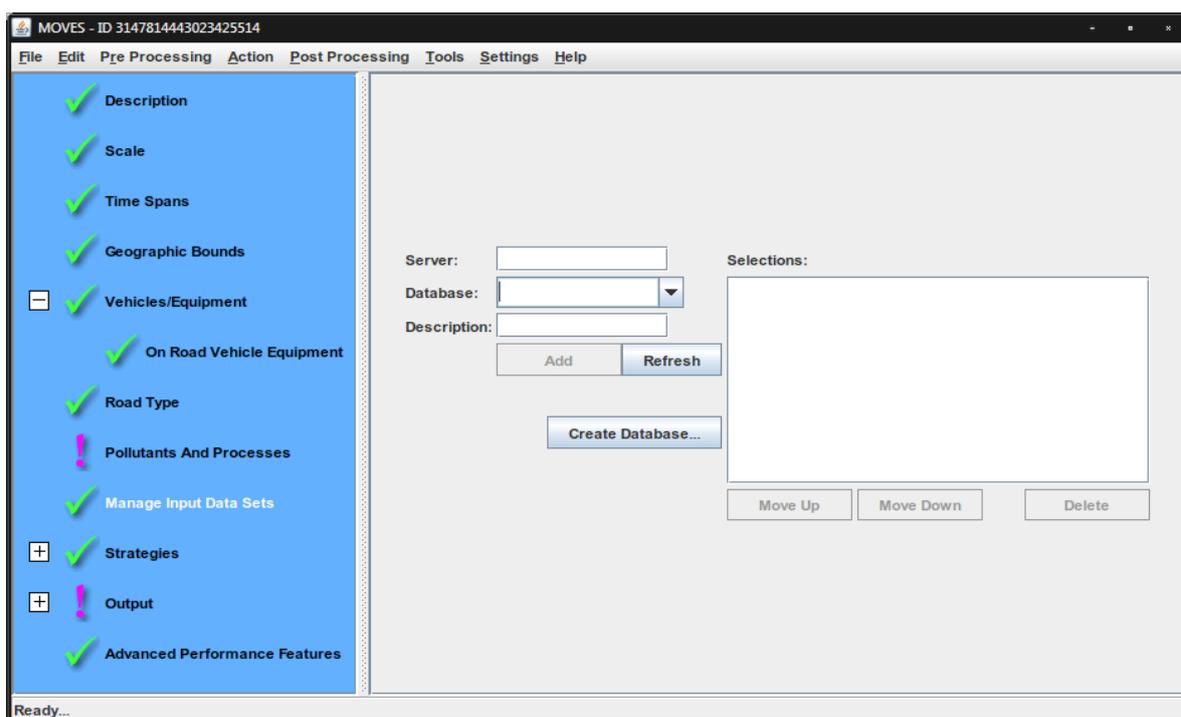


Figura 27 - Gestão dos grupos de dados de entrada (“*Manage Input Data Sets*”) (46)

1.10. Criação e utilização de estratégias de controlo interno (“*Creating and Using Internal Control Strategies*”)

No MOVES, a informação inserida em “*Strategies*” substitui dados pré-existentes no modelo. Deste modo, o utilizador tem a possibilidade de criar cenários de estudo com maior grau de personalização. O MOVES tem dois controlos internos de estratégias. Um é o parâmetro

“*Aternate Vehicle Fuels & Technologies*” (AVFT) (Figura 28) que permite ao utilizador alterar a fração dos veículos que usam diferentes combustíveis e tecnologias em cada ano do modelo.

O outro controlo encontra-se no parâmetro estratégia “*On-Road Retrofit*” (Figura 29). Este último oferece ao utilizador a capacidade de inserir informação sobre veículos pesados de mercadorias a gasóleo ou autocarros que tenham sido alvo de implementação de equipamento de controlo de emissões.

O uso de estratégias é opcional, como tal, caso o utilizador não insira informação sobre as mesmas, os dados pré-existentes no MOVES serão utilizados para a simulação.

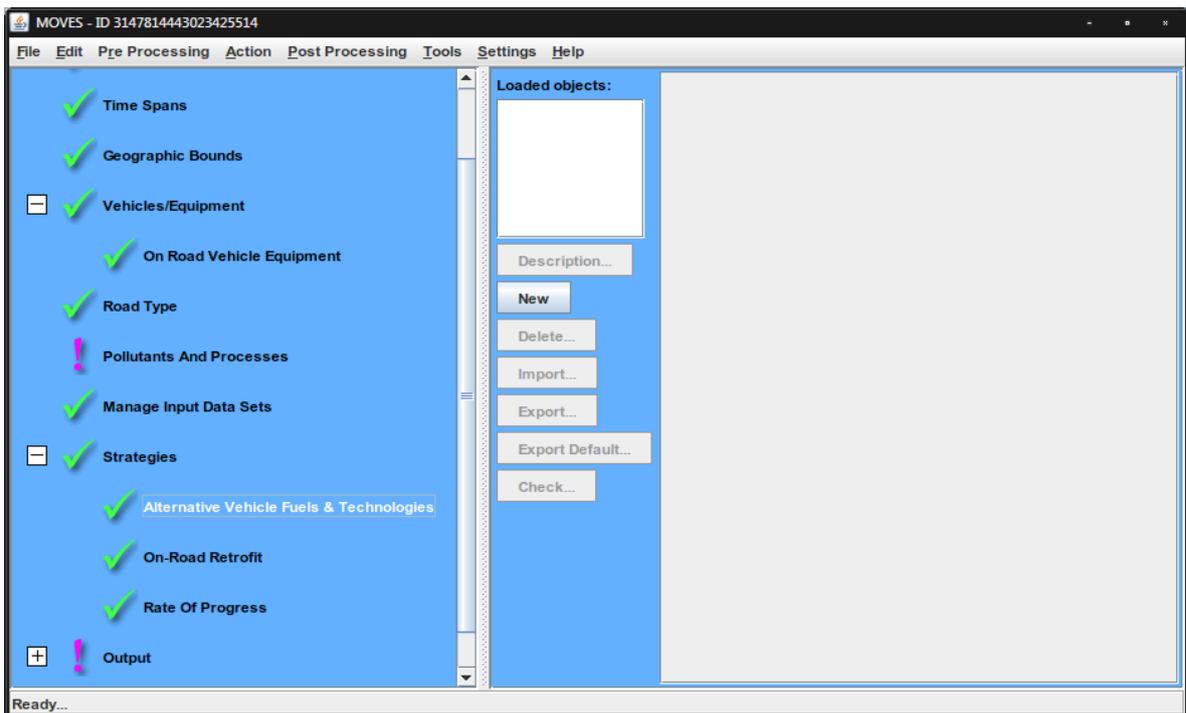


Figura 28 – Estratégias - veículos alternativos e tecnologias (46)

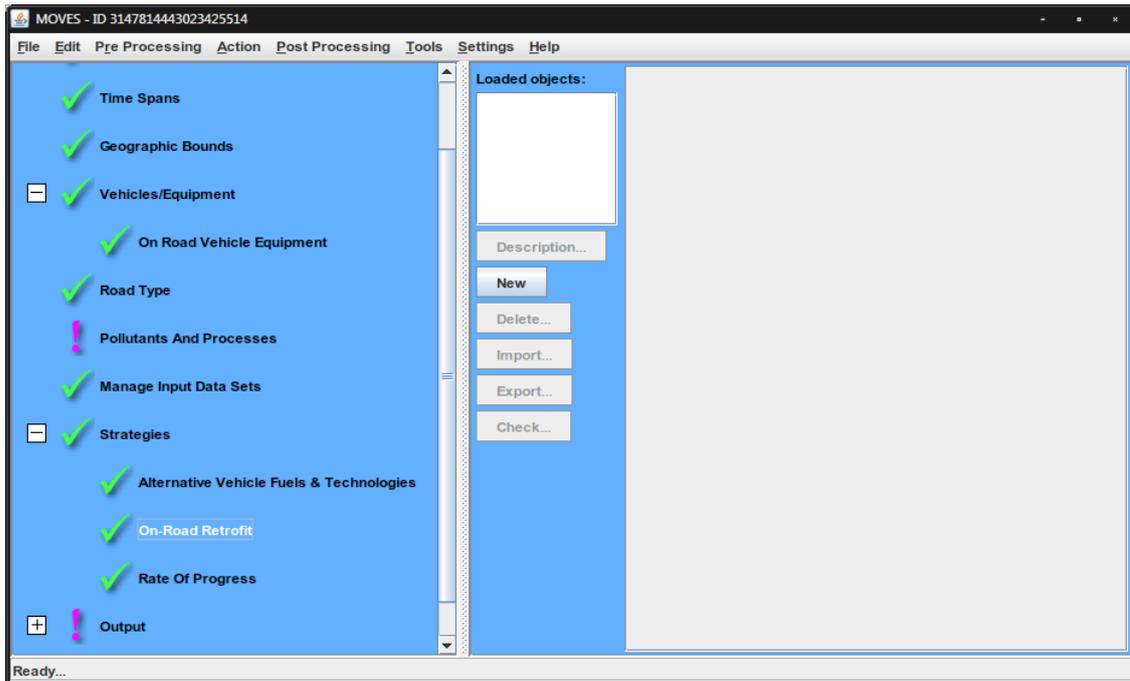


Figura 29 - Estratégias – Reajuste e controlo de emissões (46)

Caso o utilizador seleccione o parâmetro “*Strategies – Rate Of Progress*” no painel de navegação, a opção “*Compute Rate-of-Progress – No clean Air Amendments*” (Figura 30) pode ser ativada. Com esta opção ativada, o MOVES atribuirá as taxas de emissão do modelo do ano 1993 a todos os veículos posteriores a esta data. Segundo a Lei, para ser calculada a taxa de progresso, é necessário calcular as emissões afetadas ou não pelo *Clean Air Amendments* do ano 1990.

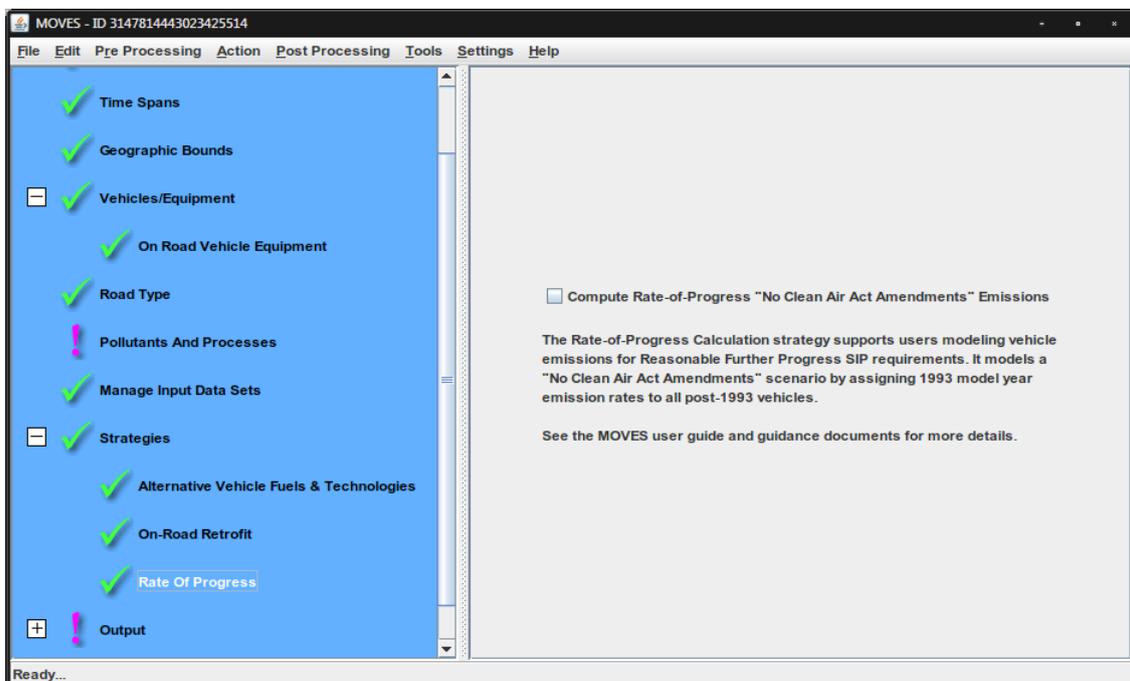


Figura 30 - Estratégias - Taxa de progresso (46)

1.11. Resultados (“Output”)

Ao ser selecionado o parâmetro “Output” no painel de navegação, dois parâmetros são exibidos no mesmo painel. Estes são “General Output” e “Output Emissions Detail”.

Especificar a base de dados, período temporal e unidades nos resultados

No parâmetro “General Output” (Figura 31), a base de dados de resultados, unidades e tipo de atividades reportadas podem ser especificadas. Este painel é então constituído por “Output Database”, “Units” e “Activity” respetivamente para cada informação enunciada.

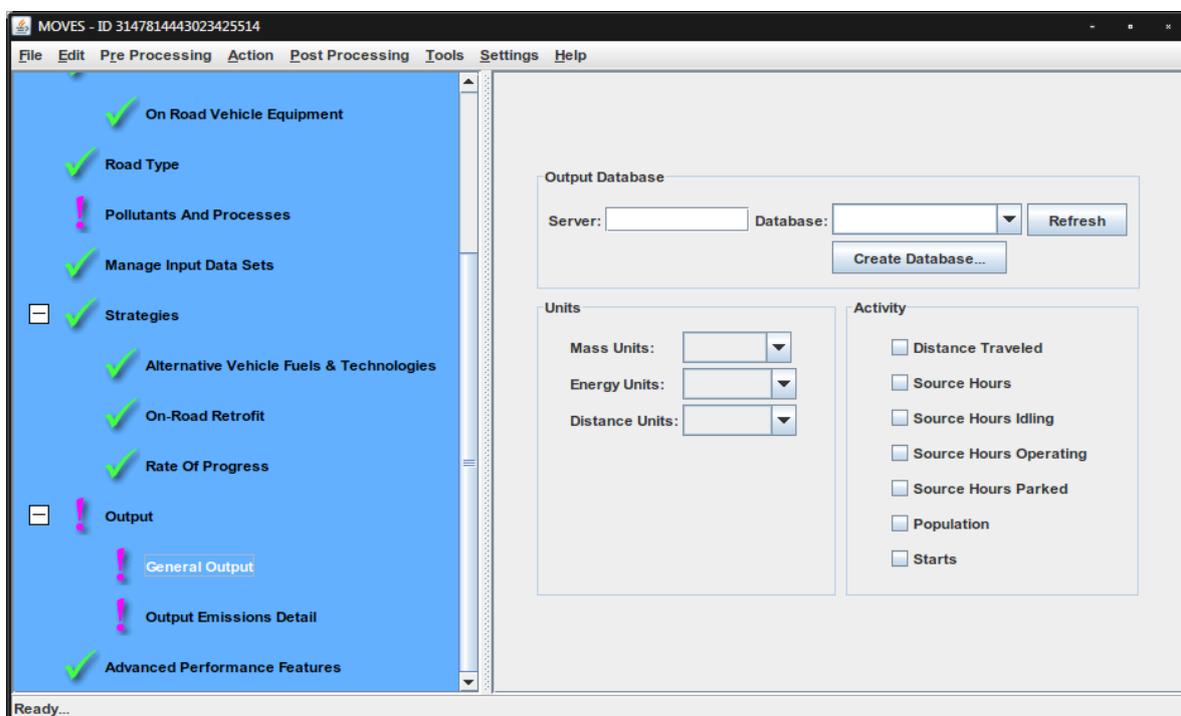


Figura 31 - Resultados gerais (46)

No painel “Output Database”, o servidor e nome da base de dados a ser exportada podem ser definidos. Caso não seja introduzida informação no parâmetro “server”, o diretório de base de dados MySQL predefinido será utilizado.

Especificar os resultados detalhados de emissões

Ao ser selecionado o parâmetro “*Output Emissions Detail*” (Figura 32) no painel de navegação, os dados correspondentes aos resultados da simulação podem ser especificados e distinguidos consoante desejado pelo utilizador. Neste painel podem ser escolhidas as seguintes opções do Quadro 19 com os respetivos significados:

Quadro 19 - Parâmetros de “*Output Emissions Detail*”

Parâmetro	Significado
Sempre (“ <i>Always</i> ”)	Lembra que as dimensões temporais, localização e poluentes estão incluídos na base de dados de saída. Neste parâmetro pode ser definida a unidade de tempo e localização.
Para todas as categorias de veículos/equipamentos (“ <i>for all Vehicle/Equipment Categories</i> ”)	Neste parâmetro podem ser escolhidos o ano do modelo, tipo de combustível e processos de emissões a serem exibidos nos dados a exportar.
Dentro e fora de estrada (“ <i>On Road/Off Road</i> ”)	Nesta versão do MOVES ainda não é possível modelar emissões fora de estrada (“ <i>Off Road</i> ”)
Incerteza da estimativa (“ <i>Estimate Uncertainty</i> ”)	Nesta versão do MOVES ainda não está disponível determinar a incerteza da estimativa.

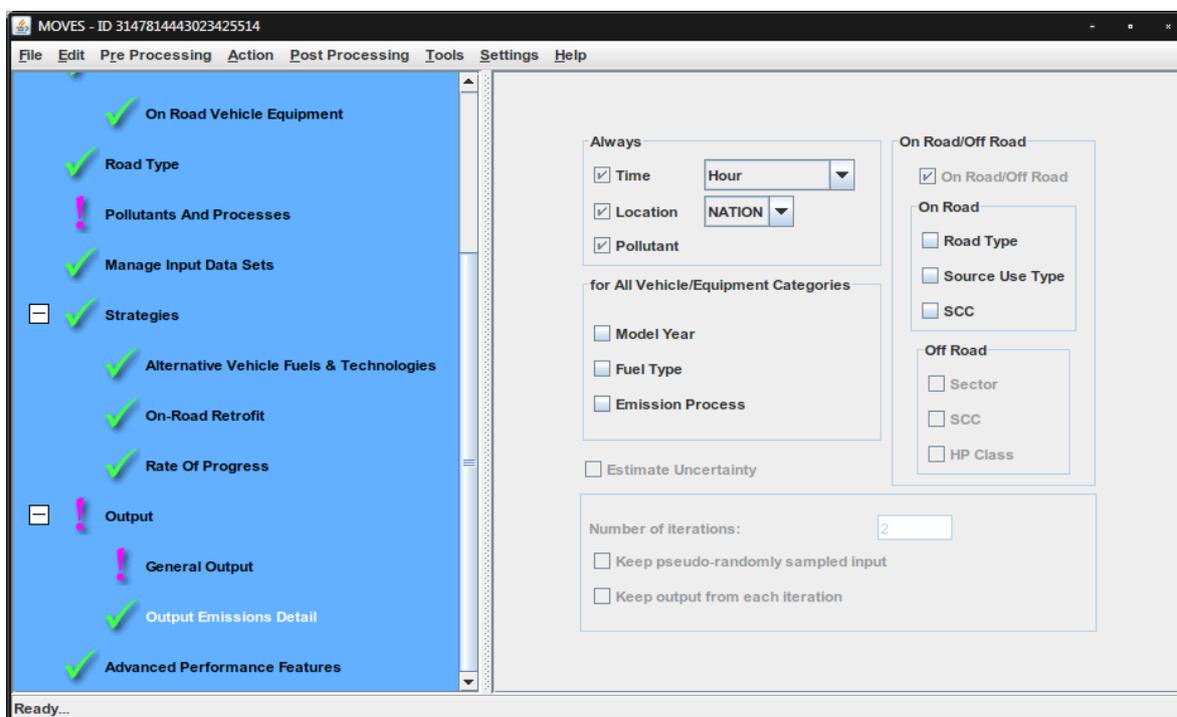


Figura 32 - Resultados detalhados de emissões (46)

1.12. Funcionalidades de desempenho avançado (“Advanced Performance Features”)

O parâmetro “Advanced Performance Features” (Figura 33) inclui uma variedade de opções. Algumas poderão ser usadas por muitos utilizadores, outras necessitam de conhecimento específico.

Muitas das funcionalidades presentes nos parâmetros “Advanced Performance Features” podem ser usadas para diagnosticar problemas com o modelo, ou para melhorar a modelação de longas simulações permitindo guardar resultados intermédios. Para o uso destas funções é requerido um conhecimento detalhado dos componentes do modelo MOVES, tais como os dados a introduzir que este necessita como os dados que posteriormente produz. Como tal, caso o utilizador esteja interessado em utilizar estas funcionalidades deve recorrer ao auxílio do manual (26).

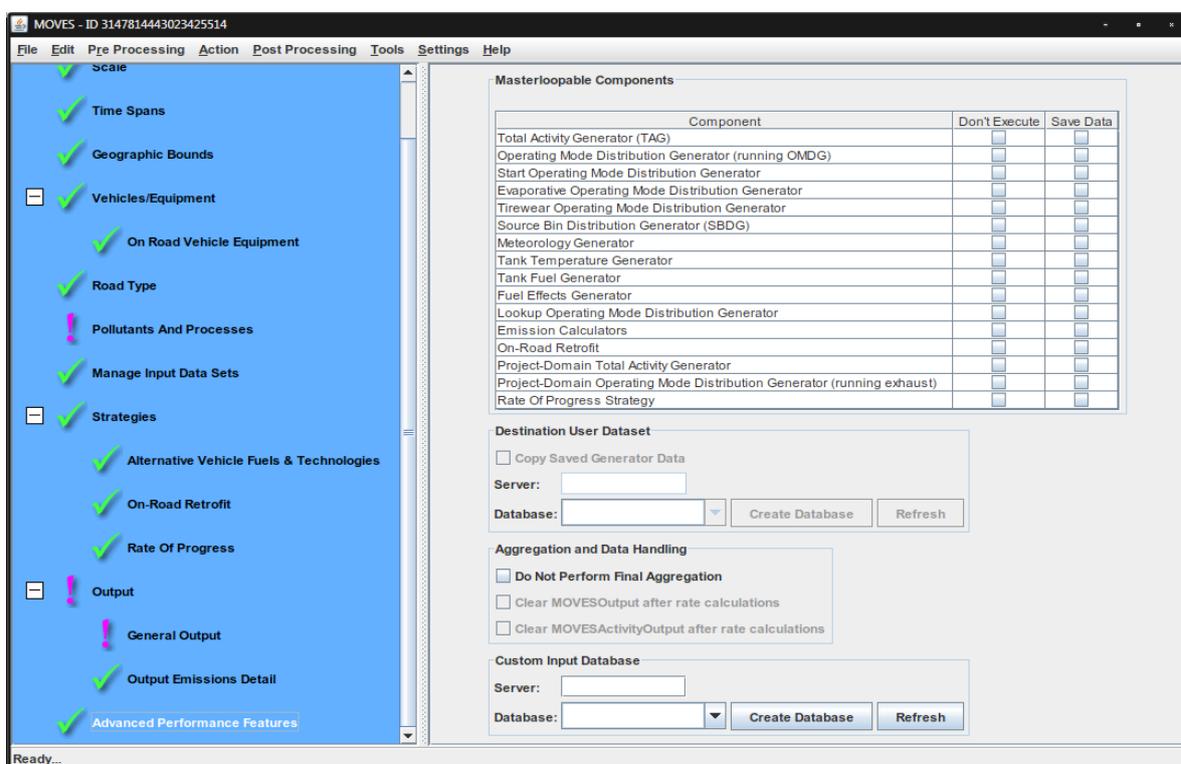


Figura 33 - Recursos de desempenho avançados (46)

2. Barra de menu principal (“Main Menu Bar”)

A barra de menu principal, representada na Figura 34, contém os menus secundários: ficheiro (“File”), editar (“Edit”), pré-processamento (“Pre Processing”), ferramentas (“Tools”), definições (“Settings”), e ajuda (“Help”). Estes menus podem ser expandidos selecionando o botão correspondente na barra de menu principal.



Figura 34 - Barra de menu principal (46)

2.1. Ficheiro ("File")

Através do menu ficheiro ("File"), representado na Figura 35, uma variedade de opções podem ser realizadas ao nível da manipulação de documentos. Este menu permite, nomeadamente, abrir documentos ("Open"), fechar ("Close"), guardar ("Save"), guardar como ("Save as"), imprimir ("Print") e sair do programa ("Exit").

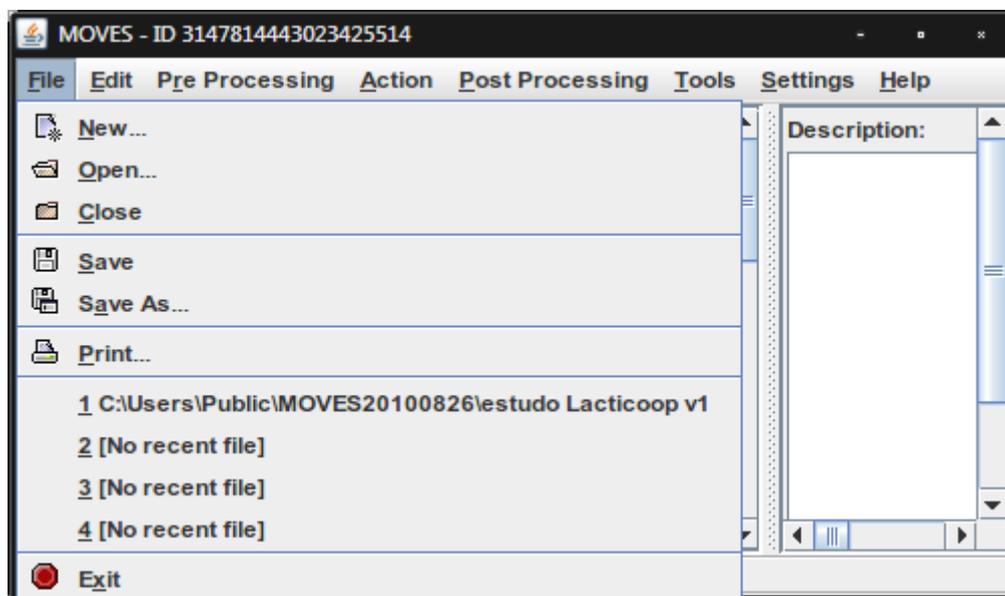


Figura 35 - Menu principal - "File" (46)

2.2. Editar ("Edit")

O menu editar ("Edit"), representado na Figura 36, o utilizador pode realizar comandos como cortar, copiar e colar. Estes comandos estão disponíveis nas secções de texto do ambiente do MOVES.

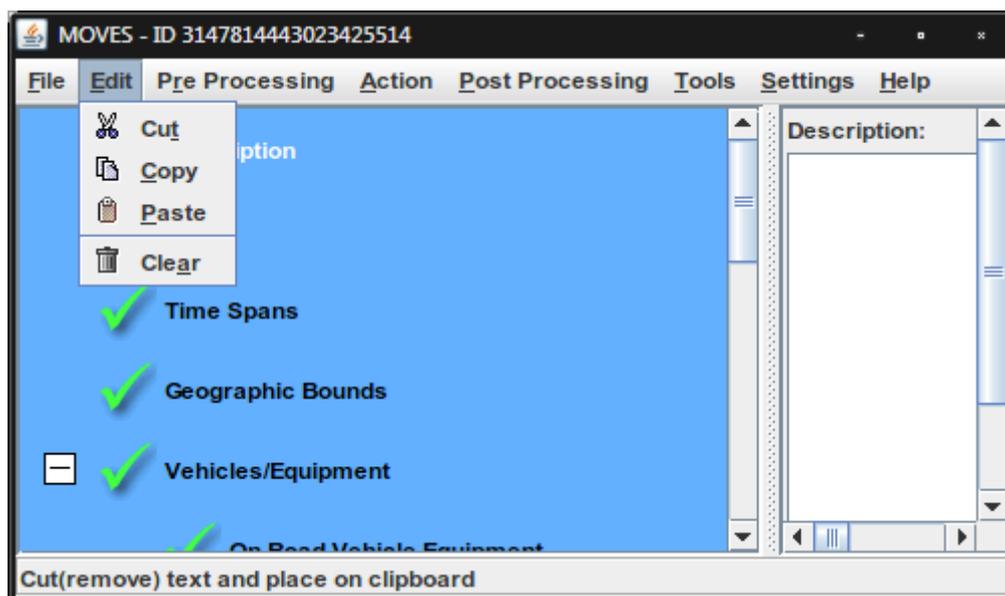


Figura 36 - Menu principal - "Edit" (46)

2.3. Pré-processamento ("Pre Processing")

O menu Pré-processamento ("Pre Processing"), representado na Figura 37, contém ativas a opção de importador I/M ("I/M Importer"), importador de dados ("Data Importer"), gestão de dados do município ("County Data Manager") e, gestão de um projeto ("Project Domain Manager"). Cada uma das opções mencionadas permite ao utilizador importar tabelas individuais com o objetivo de introduzir bases de dados no MOVES.

Relativamente à opção "Project Domain Manager", este requer que o utilizador providencie virtualmente toda a informação requerida para modelar um determinado projeto.

A opção "County Data Manager" (CDM) e "Project Data Manager" (PDM) são meios através dos quais o utilizador pode definir os dados relativos a um município específico ou projeto, respetivamente. Estas opções têm relevância quando o utilizador pretende selecionar os parâmetros "County Domain/Scale" ou "Project Domain/Scale" na secção "Scale" do painel de navegação. A opção "I/M Importer" permite também definir dados relativos a municípios ao permitir editar os programas de inspeção e manutenção numa determinada área. Esta última opção pode ser usada em qualquer tipo de escolha relativa ao parâmetro "Scale" do painel de navegação.

As opções "County Data Manager" e "Project Data Manager" têm a funcionalidade de permitir especificar dados de entrada necessários para certos tipos de modelação.

Para uma explicação mais detalhada das funcionalidades enunciadas é aconselhada a consulta do manual do MOVES (26).

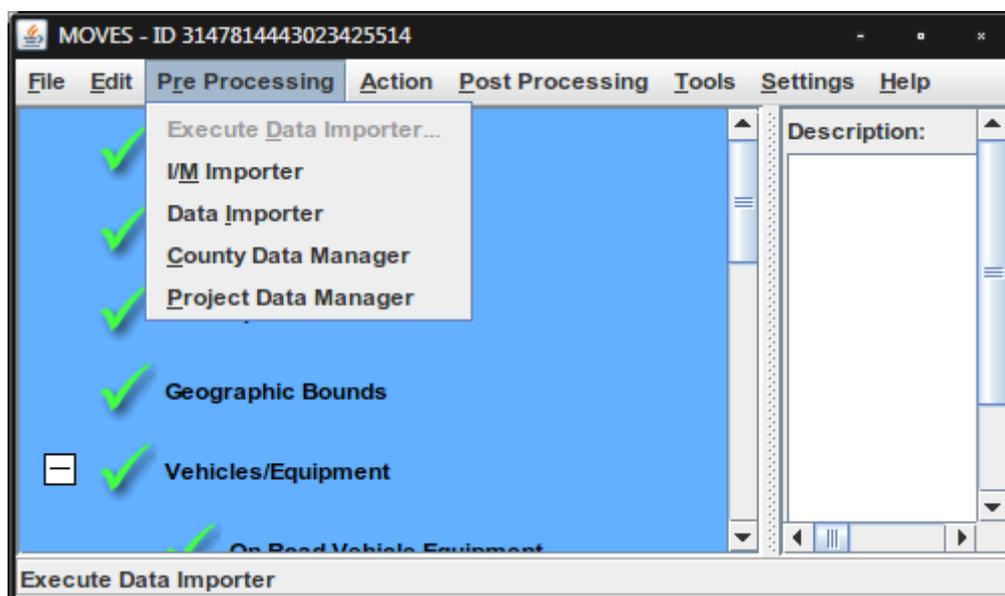


Figura 37 - Menu principal - "Pre Processing" (46)

2.4. Acção ("Action")

O menu "Action", representado na Figura 38, engloba as opções executar ("Execute"), parar ("Stop"), pausar ("Pause"), continuar ("Resume") e visualizar a informação sobre os erros associados à modelação.

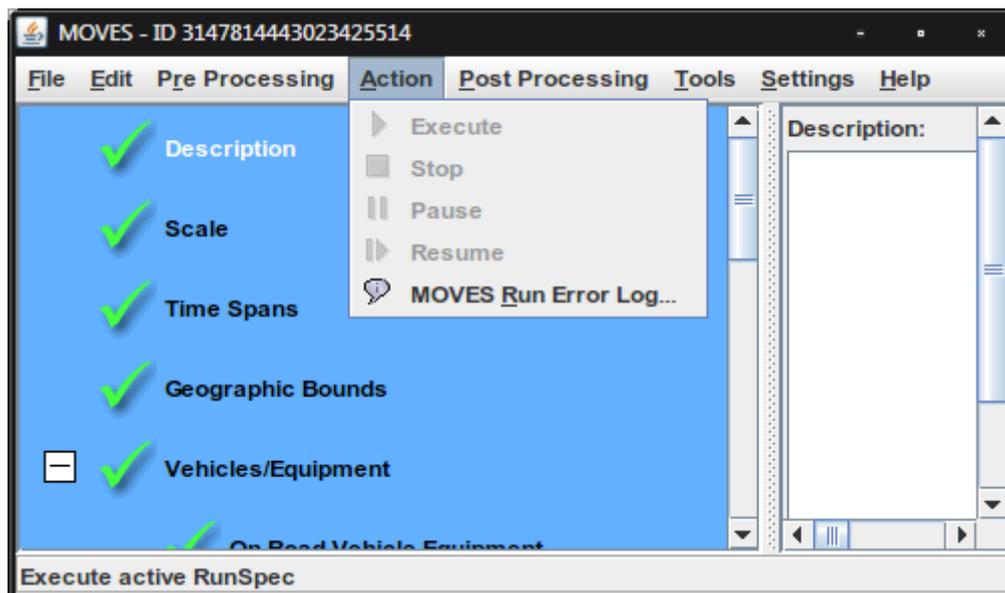


Figura 38 - Menu principal - "Action" (46)

Apos todos os parâmetros de entrada necessários à simulação terem sido preenchidos devidamente (símbolo de visto verde em cada um no painel de navegação), as opções presentes no menu "Action" permitem dar início à simulação e controlar o decorrer da mesma, permitindo pausar e continuá-la, por exemplo.

2.5. Pós-processamento ("Post Processing")

As bases de dados correspondentes aos resultados exportados pelo MOVES podem ser observadas e geridas diretamente usando as consultas em MySQL ou outras ferramentas de bases de dados. Contudo, o MOVES também providencia algumas opções simples para pós-processamento e observação das mesmas.

O menu Pós-processamento, representado na Figura 39, engloba as opções "Run MySQL Script on Output Database", "Produce Summary Report" e "Produce State/County Map". Estas funcionalidades podem ser usadas apos uma simulação bem-sucedida pelo MOVES, podendo assim ser processados os resultados da maneira mais conveniente.

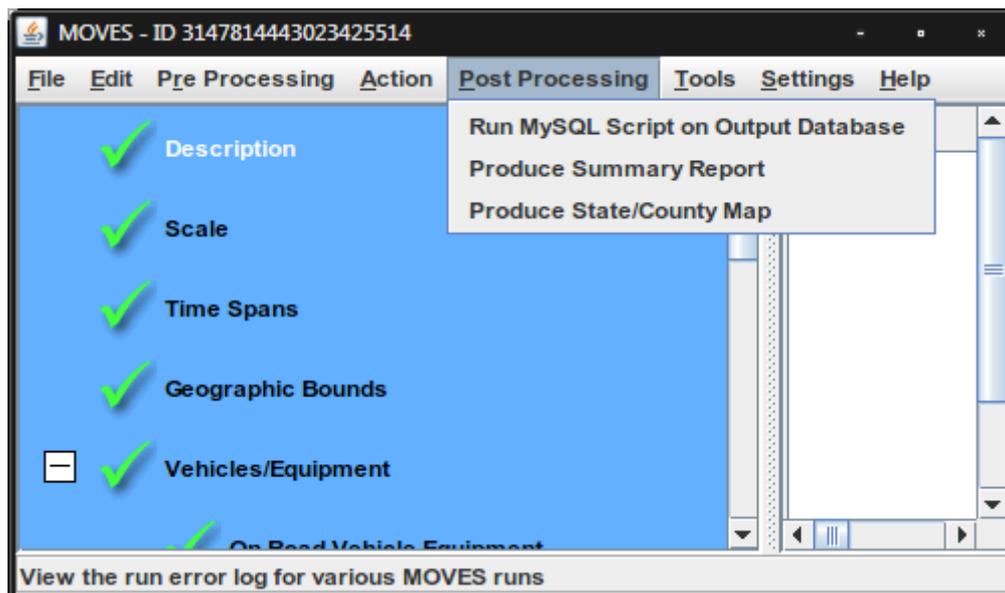


Figura 39 - Menu principal - "Post Processing" (46)

A funcionalidade "Run MySQL Script on Outup Database" possibilita o utilizador de seleccionar os dados para o MySQL armazenar segundo o formato utilizado pelo mesmo de maneira a gerar a base de dados a ser exportada.

A opção "Produce Summary Report" permite ao utilizador exportar um relatório sumariado de uma ou mais simulações executadas pelo MOVES. Estes relatórios podem ser observados, imprimidos ou guardados em formato de texto ASCII, podendo ser assim facilmente importados por outros programas como Microsoft Excel.

Na opção "Post Processing" da barra de menu principal pode ainda ser utilizada a funcionalidade "Produce State/County Map". Através desta, o utilizador tem a possibilidade de visualizar os mapas, de cores ou cinzas, representativos dos dados de saída da Simulação realizada pelo MOVES. Cada mapa pode ilustrar uma variável definida pelo utilizador de maneira gráfica e relacionada com um estado ou município/condado.

2.6. Ferramentas ("Tools")

O menu "Tools", representado na Figura 40, é composto pela funcionalidade "Multiple RunSpec Creator". Esta funcionalidade permite criar um conjunto de ficheiros de Runspec MOVES usando as informações carregadas no ficheiro de Runspec presente no momento em que o utilizador selecciona a ferramenta.

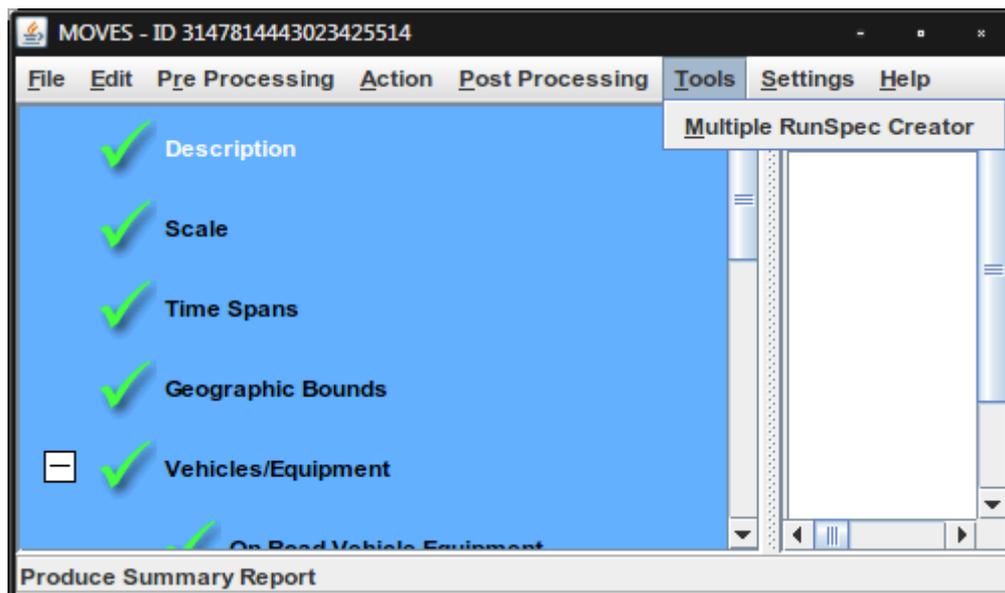


Figura 40 - Menu principal - "Tools" (46)

2.7. Definições ("Settings")

O menu "Settings", representado na Figura 41, é constituído pela opção "Configure MOVES...". Com esta funcionalidade, o utilizador pode definir a base de dados a ser introduzida por defeito, assim como o respetivo servidor. Em geral, o servidor por defeito é "localhost" (diretório de MySQL definido por defeito na máquina do utilizador). Posteriormente, o utilizador tem ainda a possibilidade de definir a base de dados a ser utilizada como fonte do *Runspec* do MOVES. Esta é normalmente pré-definida pelo modelo.

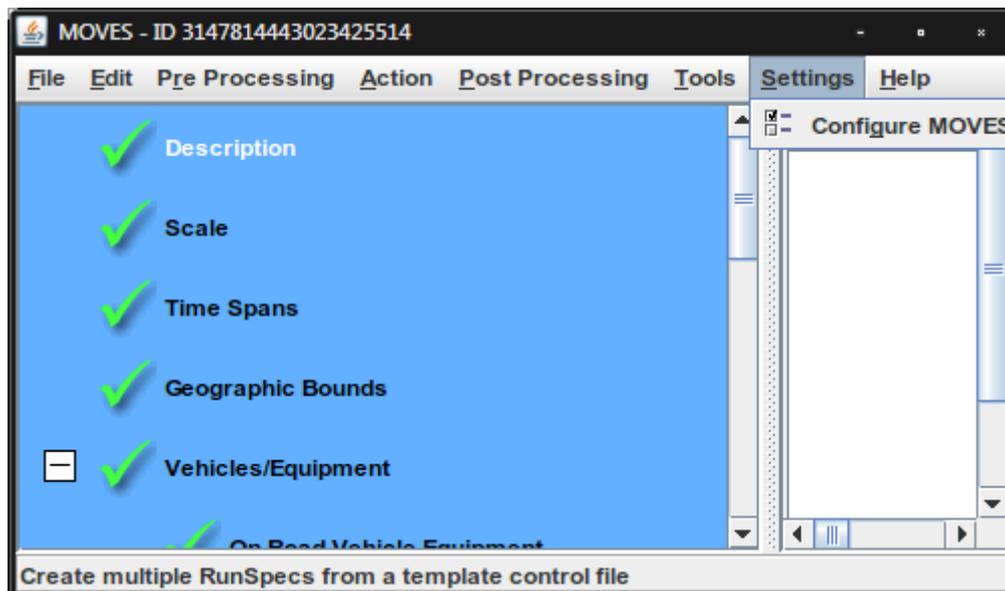


Figura 41 - Menu principal - "Settings" (46)

2.8. Ajuda ("Help")

O menu "Help", representado na Figura 42, é composto pelas opções "MOVES User's Guide" e "About MOVES...". Este menu facilita o acesso às versões em formato *pdf* dos manuais do MOVES e, fornece informações gerais acerca da versão do MOVES (26).

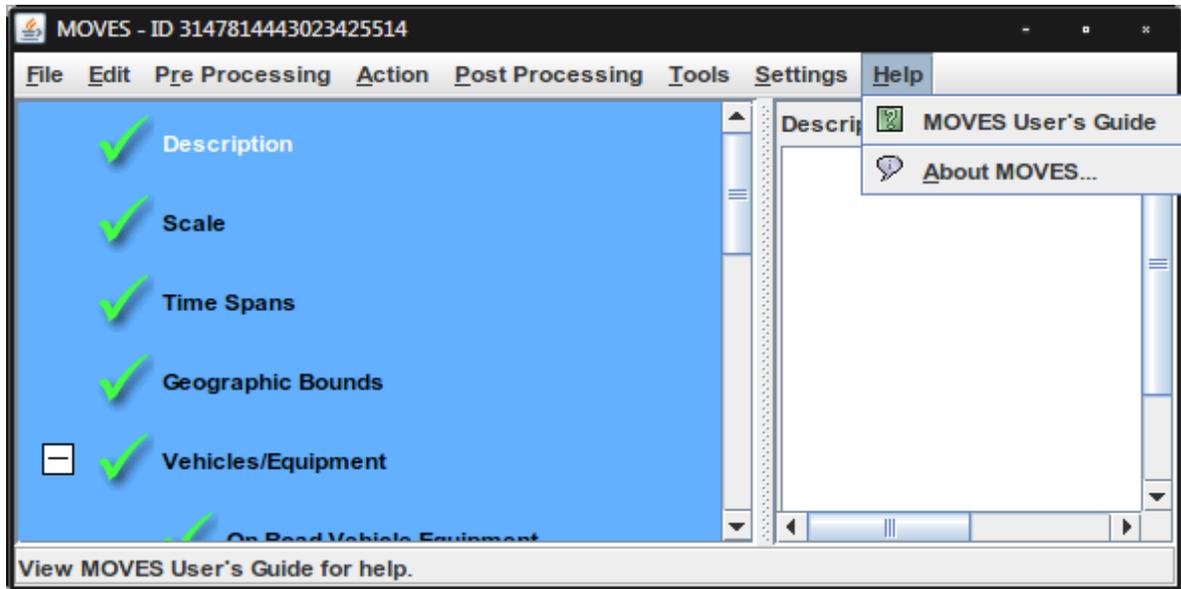


Figura 42 - Menu principal - "Help" (46)