



Universidade de Aveiro
2014

Departamento de Engenharia Mecânica

**RICARDO
FILIPE
PEREIRA**

**EFEITO DA INCLINAÇÃO NO DESEMPENHO DE
VEICULOS PESADOS DE PASSAGEIROS**



**RICARDO
FILIPE
PEREIRA**

**EFEITO DA INCLINAÇÃO NO DESEMPENHO DE
VEICULOS PESADOS DE PASSAGEIROS**

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 do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Dedico esta Dissertação aos meus pais, irmã e namorada, pelo apoio prestado ao longo da vida académica.

O Júri

Presidente

Prof. Doutor José Paulo Oliveira Santos

Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Arguente

Prof. Doutor Joaquim Miguel Gonçalves Macedo

Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

Orientadora

Prof.^a Doutora Margarida Isabel Cabrita Marques Coelho

Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

agradecimentos

O meu sincero agradecimento à minha família pelo apoio incondicional que me deram, sem eles isto não seria possível.

À Professora Doutora Margarida Coelho, pelo apoio, disponibilidade, profissionalismo prestado ao longo da realização desta Dissertação de Mestrado.

Ao Sr. Engenheiro Duarte Sousa agradeço a disponibilidade em facultar todos os dados necessários da Horários do Funchal.

Ao Engenheiro Paulo Fernandes, que me deu indicações sobre o GPS e sobre a metodologia VSP.

À Sofia Manica obrigado pela ajuda, dedicação e compreensão ao longo da realização desta Dissertação de Mestrado.

palavras-chave

Emissões de poluentes, veículos pesados de passageiros, consumo de combustível, VSP, gestão de frota.

resumo

Os problemas relacionados com o consumo energético e emissões de poluentes relativos ao setor dos transportes representam seguramente uma preocupação ao nível Europeu. O preço do petróleo é outra preocupação crescente pelas empresas de transporte de passageiros, o que gera a necessidade de poupança de combustível. Para além de causarem prejuízos económicos significativos, a escolha incorreta de rotas poderá causar ineficiência energética. Para além disso, a inclinação acentuada do terreno pode ser um fator de maximização de consumos. Torna-se, assim, premente apostar no estudo da influência do declive das vias nos consumos e desempenho geral dos veículos pesados de passageiros, de forma a minimizar o seu impacte energético-ambiental.

Assim, o principal objetivo desta Dissertação consiste em avaliar o impacte da orografia (inclinação) no consumo de combustíveis e emissões de uma empresa de transportes de passageiros (Horários do Funchal), naquela que é a capital da Região Autónoma da Madeira. Para este efeito foi utilizado uma metodologia baseada no conceito de Potência Específica do Veículo (“Vehicle Specific Power” - VSP) para aplicar uma relação entre dados da dinâmica do veículos e da inclinação do terreno – velocidade, inclinação e aceleração, recolhidos experimentalmente através de um GPS – e as emissões de poluentes. Esta metodologia tem amplo mérito pela sua eficácia em estudos anteriores, sendo muito útil na avaliação e gestão de empresas com natureza similar à Horários do Funchal.

Os resultados obtidos revelam consumos significativamente superiores consoante a crescente inclinação dos percursos. Deve ser dito que num declive acentuado foram obtidas emissões de 2268 g CO₂/km até 2432 g CO₂/km, sendo que as emissões numa mesma distância sem inclinação variam entre 1423 g CO₂/km e 1647 g CO₂/km, portanto uma variação percentual nos percursos selecionados que oscila entre os 34% e os 70%. Ao realizar a análise noutra carreira, a comparação feita para percursos de declive inferior (para as mesmas distâncias) são de 1395 g/km e 1677 g/km de CO₂, tendo como base um percurso referência (para inclinação nula os valores obtidos são de 1354 g CO₂/km e 1487 g CO₂/km, ou seja, variações percentuais que não ultrapassam os 17%).

Estes desvios são significativos e podem resultar em implicações concretas na gestão da empresa, pois tendo esta informação é possível justificar custos acrescidos relacionados com o consumo de combustível.

keywords

Pollutant emissions, Heavy duty passenger vehicles, fuel consumption, VSP, fleet management.

abstract

The problems related to energy consumption and pollutant emissions in the transportation sector are a major concern to the European authorities. The price of oil is unstable, which creates the need of fuel savings for passenger transport companies. One of the factors that influence pollutant emissions is the slope of the roads, which is sometimes a neglected factor but it is fundamental to minimize economic and environmental impact.

Thus, the main objective of this dissertation is to assess the impact of topography (slope) in fuel consumption and emissions of the fleet of a passenger transportation company (Horários do Funchal), in the capital of the Autonomous Region of Madeira. For this purpose, a methodology based on the concept of Vehicle Specific Power (VSP) was used to apply a relationship between vehicle dynamics data and slope with pollutant emissions. This methodology has been effective in previous studies, and was useful in the evaluation and management of companies' fleets.

The results show significantly higher fuel consumption and emissions depending on the growing inclination of pathways. It must be said that on a steep grade, actual CO₂ emissions of 2268 g / km - 2432 g / km are obtained, and the emissions in the same distance in a flat terrain are from 1423 g CO₂/ km to 1647 g CO₂/ km (the percentage variation goes from 34% to 70%, depending on the selected routes). The comparison made for routes with lower slope (for the same distances) are 1395 g CO₂/ km and 1 677 g CO₂/ km, comparing with a base scenario (with no slope, the emissions are 1354 g CO₂/ km and 1487 g CO₂/ km, e.g. percentage variations that do not exceed 17%).

These deviations are significant and can result in concrete implications in company management, since with this information it is possible to justify increasing costs related to fuel consumption.

Índice

1. Introdução	1
1.1 Motivação	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Estrutura da Dissertação	3
2. Revisão Bibliográfica	5
2.1 Estudo de frotas de veículos pesados de passageiros	5
3. Metodologia	9
3.1 Métodos	10
3.1.2 Metodologia VSP	13
3.1.3 Cálculo do consumo de Combustível	14
3.2. Caso de estudo: Frota dos Horários do Funchal	15
3.2.1 Pressupostos e Limitações	15
3.2.2 Objetivos da recolha de informação	16
3.2.3 Caracterização da Frota Horários do Funchal e rotas seleccionadas	16
3.2.3 Considerações das análises efetuadas	21
4. Resultados e sua Discussão	25
4.1 Resultados Iniciais	25
4.2. Resultados em Análise	29
4.2.1. Variação entre Resultados com inclinação real e inclinação controlo (declive zero)	29
4.2.2. Comparação entre resultados com declive obtido em contexto operacional	32
4.2.3. Comparação do consumo de combustível em regime operacional	34
4.2.4. Comparação do consumo de combustível com declive real/controlo(declive zero)	35
4.2.5. Troços com maior declive	36
5. Conclusões e Trabalho Futuro	39
6. Referências bibliográficas	41
7. Anexos	43

Índice de Figuras

Figura 1 – Esquema metodológico.....	9
Figura 2 – GPS Travel Recorder BT-Q1000XT(qstarz beyond navigation, 2014).....	11
Figura 3- Rota da Carreira 10A Chamorra	19
Figura 4- Rota da Carreira 37 Pinheirinho.....	19
Figura 5- Rota da Carreira 1 Ponta Laranjeira	20
Figura 6- Rota da Carreira 3 Lombada.....	20
Figura 7- Perfil de velocidade e altitude (10A Chamorra).....	22
Figura 8 - Perfil de velocidade e altitude (37 Pinheirinho).....	22
Figura 9 - Perfil de velocidade e altitude (3 Lombada).....	23
Figura 10 - Perfil de velocidade e altitude (1 Ponta da Laranjeira).....	23
Figura 11- Variação esquemática de CO ₂ para declive real/controlo para a carreira 10A.....	29
Figura 12 - Variação esquemática de CO ₂ para declive real/controlo para a carreira 37.....	30
Figura 13 - Variação esquemática de CO ₂ para declive real/controlo para a carreira 3.....	31
Figura 14 - Variação esquemática de CO ₂ para declive real/controlo para a carreira 1.....	32
Figura 15 - Comparação de emissões de poluentes entre Carreira 10A e 3.....	32
Figura 16 - Comparação de emissões de poluentes entre Carreira 37 e 1.....	33
Figura 17 – Troço com maior declive da Carreira 10A Chamorra	37
Figura 18 - Troço com maior declive da Carreira 37 Pinheirinho	37
Figura 19 – Dados fornecidos pelo GPS	43
Figura 20 – Folha de cálculo da metodologia VSP.....	44

Índice de Quadros

Quadro 1 – Cronograma de tarefas	10
Quadro 2 – Modos de VSP para emissões de poluentes (Zhai et al., 2008)	14
Quadro 3- Especificações da Frota da HF (Fonte: HF)	17
Quadro 4 - Características das Carreiras selecionadas (Fonte: HF).....	18
Quadro 5- Dados da frota em estudo (Fonte: HF).....	21
Quadro 6- Emissões de Poluentes para Carreira 10A com inclinação real	25
Quadro 7- Emissões de Poluentes para Carreira 10A com inclinação zero	25
Quadro 8 - Emissões de Poluentes para Carreira 37 com inclinação real	26
Quadro 9 - Emissões de Poluentes para Carreira 37 com inclinação zero	26
Quadro 10 - Emissões de Poluentes para Carreira 3 com inclinação real	27
Quadro 11 - Emissões de Poluentes para Carreira 3 com inclinação zero	27
Quadro 12 - Emissões de Poluentes para Carreira 1 com inclinação real	28
Quadro 13 - Emissões de Poluentes para Carreira 1 com inclinação zero	28
Quadro 14 - Variação de CO ₂ para declive real/controlo para a carreira 10A	29
Quadro 15 - Variação de CO ₂ para declive real/controlo para a carreira 37.....	30
Quadro 16 - Variação de CO ₂ para declive real/controlo para a carreira 3.....	31
Quadro 17 - Variação de CO ₂ para declive real/controlo para a carreira 1.....	31
Quadro 18 - Comparação de consumo entre Carreira 10A e 3.....	34
Quadro 19 - Comparação de consumo entre Carreira 37 e 1.....	34
Quadro 20 - Variação de consumo de combustível para declive real/ controlo para a carreira 10A	35
Quadro 21 - Variação de consumo de combustível para declive real/ controlo para a carreira 37.....	35
Quadro 22 - Variação de consumo de combustível para declive real/ controlo para a carreira 3.....	35
Quadro 23 - Variação de consumo de combustível para declive real/ controlo para a carreira 1.....	36
Quadro 24- Variação de CO ₂ no troço de maior declive na carreira 37 Pinheirinho	38
Quadro 25- Variação de CO ₂ no troço de maior declive na carreira 37 Pinheirinho	38

Nomenclatura

EEA – Agência Europeia do Ambiente

CETU – Comissão de Estudos de Transportes Urbanos

CO – Monóxido de Carbono

CO₂ – Dióxido de Carbono

GEE – Gases de Efeito de Estufa

GPS – *Global Positioning System*

HC – Hidrocarbonetos

HF – Horários do Funchal

LE – Low Entry

MOBILE6 – *Vehicle Emission Modeling Software*

MOVES – *Motor Vehicle Emission Simulator*

NMVOC – Compostos orgânicos voláteis não metânicos

NOX – Óxidos de Azoto

OBD – *On Board Diagnostics*

OEM – *On Board Emission Monitoring Systems*

PEMS – *Portable Emission Measurement Systems*

PERE – *Physical Emissions Rate Estimator*

VKT – *Vehicle Kilometers Travelled*

TSP – *Transit Signal Priority*

UE – União Europeia

VSP – *Vehicle Specific Power*

1.Introdução

Neste capítulo é declarada a motivação que originou este trabalho, dando sequência aos objetivos do mesmo.

O presente estudo foi desenvolvido com a intenção de efetuar uma análise de uma frota de pesados de passageiros no contexto de uma orografia sinuosa, como é o caso do anfiteatro da cidade do Funchal. A frota da Horários do Funchal – empresa de transportes públicos – ofereceu assim uma oportunidade de estudar os consumos de veículos pesados de passageiros no contexto de percursos com elevada inclinação.

O trabalho em causa utilizou tecnologia GPS, para recolha dos dados, e a metodologia VSP como ferramenta de modelação, esta metodologia consiste em estabelecer a relação analítica entre a potência e massa do veículo sendo que esta é obtida através da soma da energia potencial e cinética com o produto das forças de resistência ao ar e atritos internos e externos com a velocidade.

1.1 Motivação

O consumo energético é uma das prioridades do mundo contemporâneo, a emergência desta realidade consubstancia-se a partir de fatores de natureza ambiental, económica e estratégica. A União Europeia é uma das principais proponentes na implementação de mecanismos que visam reduzir o impacto provocado pelo consumo de energia e consequentes emissões de gases de efeito de estufa, estabelecendo firmes objetivos neste sentido. No plano internacional, a UE compromete-se a reduzir 20% na emissão dos GEE até 2020, face a valores de 1990 (EEA, 2011). Nestes domínios, a UE assume, igualmente, o objetivo de um quinto da energia produzida na UE28 ser de fonte renovável e um acréscimo da eficiência energética de 20% (EEA, 2011).

No domínio do consumo de energia, o setor dos transportes assume particular relevância. A título indicativo o setor dos transportes representa 24% das emissões totais de GEE (EEA, 2010), os transportes rodoviários representam 17% do total (EEA, 2011). Existe um conjunto de medidas e políticas que visam reduzir as emissões neste setor, que se fundamentam no trio "*avoid*", "*shift*" e "*improve*". O primeiro corresponde a evitar o uso de transportes, o "*shift*" é optar sempre pelos transportes públicos sempre que há essa possibilidade, ou então optar por modos suaves como o caso de andar de bicicleta e andar a pé, já o "*improve*" consiste em melhorar a eficiência energética dos veículos (EEA, 2011).

EFEITO DA INCLINAÇÃO NO DESEMPENHO DE VEÍCULOS PESADOS DE PASSAGEIROS

É possível facilmente descortinar os problemas relacionados com a atividade do setor de transporte de passageiros que deve ter sempre em conta não só as questões do consumo energético e emissões de poluentes, que constituem uma definitiva apreensão ao nível das estratégias europeias, como a

crescente preocupação em torno do preço crescente dos combustíveis e de inúmeras restrições inerentes, como a sensibilidade dos utentes à poluição ou a elasticidade-preço entre alternativas de transporte. A quantificação de consumos energéticos afigura-se muito útil neste processo de análise, pois oferece um contributo de gestão imprescindível para as empresas de transportes de passageiros, para garantir uma maior sustentabilidade ambiental e económica (EEA, 2010).

Para relevar a referência europeia neste âmbito é possível observar os objetivos da Agência Europeia do Ambiente (EEA), para se sustentar uma diminuição de emissões de CO₂ até 2050, tendo como base o ano de 1990. Uma diminuição de 70% no consumo de combustíveis fósseis, no setor dos transportes, é o auspicioso objetivo da Europa. Este setor contempla uma dependência do petróleo que ascende aos 96%, o que se afigura incomportável por razões de natureza económica (EEA, 2011).

Tendo em conta o ano base de 1990, e apesar do crescimento do setor, a emissão de poluentes locais tem vindo a decrescer, devido à renovação das frotas; contudo, os transportes rodoviários continuam a representar um fator determinante quanto à qualidade do ar, um problema que se acentua em zonas urbanas. Os transportes públicos neste âmbito são um dos mecanismos que visam atenuar este problema de forma mais imediata e exequível (EEA, 2011). Isto revela que algumas imposições surtiram efeitos salutarres, porém, isto não mitiga completamente outras questões adjacentes como os preços dos combustíveis, que tanto penalizam o setor de transporte de passageiros e os seus respetivos utentes.

Este trabalho não pode também deixar de ser motivador devido aos particulares aspetos desafiantes que a empresa Horários do Funchal é obrigada a enfrentar. Sendo a cidade do Funchal de orografia complexa, em termos de inclinação e na dificuldade de condução, isto naturalmente tem impacto na frota de pesados de passageiros, tanto em termos de consumo, como no desgaste que incide nos veículos. Um dos aspetos que se pretendeu analisar de forma aprofundada nesta Dissertação foi determinar o impacto da inclinação nas emissões e nos consumos dos veículos.

Para além disto, há o objetivo de reunir um conjunto de recomendações no domínio da eco condução, já que se verificou que ter uma "velocidade o mais constante possível", ou usar "a relação de caixa de velocidades mais alta possível" podem produzir poupanças no consumo de combustível. Por fim, há a intenção que a metodologia utilizada neste estudo seja útil para os Horários do Funchal no domínio de uma melhor gestão da sua frota e seleção de percursos.

1.2 Objetivos

O principal objetivo deste trabalho consistiu na avaliação do fator declive nos consumos de combustível e emissões em veículos pesados de passageiros.

EFEITO DA INCLINAÇÃO NO DESEMPENHO DE VEÍCULOS PESADOS DE PASSAGEIROS

Assim, projetou-se uma metodologia de gestão sustentável de consumos de combustível para a empresa Horários de Funchal, tendo em conta as particularidades desta frota, nomeadamente o facto de circular em vias com elevado declive e grau de complexidade de condução.

Para este efeito, considerou-se uma fase experimental de recolha de dados de desempenho dos veículos da empresa e uma fase de aplicação de um modelo numérico de cálculo de consumos e emissões. A escolha recaiu sobre quatro trajetos, dois com elevado declive (aproximadamente 6%) e outro dois com menor declive (aproximadamente 0%) que serão usados como termos de comparação.

1.3 Estrutura da Dissertação

Este trabalho inicia-se com a exposição da análise pretendida a efetuar, logo seguida das motivações que constituem a causa para o desenvolvimento deste trabalho. Seguidamente, apresentam-se os objetivos e a estrutura da Dissertação.

A partir daqui temos o segundo capítulo que corresponde à revisão bibliográfica. Aqui foram pesquisados trabalhos com o mesmo âmbito que este, conceitos-chave, metodologias e termos fulcrais para obtermos um resultado considerado relevante dentro do domínio que foi proposto a estudo.

No terceiro capítulo, temos a descrição da metodologia e dos métodos utilizados. A esquematização através de um fluxograma e de um cronograma permite rapidamente apreender quais foram as opções efetuadas e o modo como estas foram prosseguidas ao longo do tempo. É, igualmente, descrito o processo de recolha e tratamento de dados necessários para obter os fins propostos.

Neste mesmo capítulo foi tida em conta os ativos da empresa Horários do Funchal – neste caso os veículos. Assim, são expostas através de tabelas as características dos mesmos, bem como as suas condicionantes e limitações.

Na quarta parte temos, finalmente, os dados recolhidos e as sucessivas simulações produzidas. De forma paralela, são também explicados os testes experimentais, fornecidos resultados e relacionadas as condicionantes. As principais conclusões são dadas no quinto capítulo, assim como sugestões de trabalhos que podem ser realizados na sequência deste.

Por fim, no sexto e sétimo capítulo temos as referências bibliográficas e anexos onde neste apresentam-se um exemplo de uma sequência de dados recolhidos/tratados e de um exemplo das tabelas de estudo.

2. Revisão Bibliográfica

A revisão bibliográfica deste trabalho envolveu a leitura aprofundada de diversos artigos subordinados aos temas: frotas de veículos pesados de passageiros, consumos de energia e metodologias de VSP (*Vehicle Specific Power*) e MOVES (*Motor Vehicle Emission Simulator*), relações entre frota/percursos e os respetivos consumos de energia.

2.1 Estudo de frotas de veículos pesados de passageiros

Uma abordagem genérica relacionada com o consumo de energia não pode estar dissociada de fatores económicos e sociais. Portanto, um trabalho neste domínio tem de procurar quais são os indicadores económicos e demográficos que podem ter impacto neste tema, isto para ter uma compreensão holística do tema.

Um estudo determinante foi efetuado em Pequim. Neste foi encontrada a metodologia de seleção da frota, os determinantes do consumo de energia e os seus respetivos indicadores – chave. O objetivo deste estudo era reduzir o consumo global de energia no tráfego urbano, através da promoção da eficiência da frota de transportes públicos. Para este efeito, foram analisados todos os fatores que afetam a rede de transportes e os elementos necessários para minimizar o consumo garantindo ao mesmo tempo a qualidade e quantidade do serviço dos passageiros. Os PEMS (*Portable Emission Measurement Systems*)– que neste caso eram o SEMTECH-DS e OBS-2200, que são responsáveis por avaliar / testar as emissões de origem dos veículos – são fundamentais para este tipo de recolha de dados e também foi utilizado um recetor GPS (*Global Positioning System*) que recolheu a localização segundo – a – segundo. Outro ponto a relevar é a forma como foi segmentado o percurso das viagens das carreiras. Esta não se baseia na distância, mas sim no tempo percorrido, neste caso frações de 250 segundos, que dividem o percurso em partes com diferentes distâncias; obtém-se, assim, uma relação mais direta com o consumo, pois nos transportes públicos existem muitas paragens e cedências ao congestionamento (Zhang et al, 2014).

Outro estudo produzido pela Universidade de Roma tem em atenção o fator inclinação, no que diz respeito aos consumos de energia de veículos de transporte de passageiros a gasóleo. Este foi dividido em três partes, a primeira, a inspeção; a segunda, os procedimentos para a recolha de dados; e a terceira, o modelo de simulação para emissões. A fase de inspeção é muito similar ao que se pretende nesta Dissertação, isto é, os dados são obtidos a partir de duas carreiras. Uma das carreiras tem, como características de percurso, uma variabilidade dos valores da inclinação elevada. A outra tem um perfil de baixa inclinação numa variabilidade mais equilibrada.

EFEITO DA INCLINAÇÃO NO DESEMPENHO DE VEÍCULOS PESADOS DE PASSAGEIROS

Os parâmetros observados foram: Rpm, Rpm/km, VKT (*Vehicles Kilometers Traveled*), velocidade média, velocidade instantânea, Rpm instantânea, aceleração e desaceleração instantâneas, emissões específicas de CO₂, consumo total, tempos (paragens, andamento) e o total de emissões de CO₂. O modelo de medição de emissões denomina-se microscópico e é baseada no conceito de potência específica do veículo (“*Vehicle Specific Power*” – VSP). Foi possível verificar que existem tendências que podem afetar significativamente o consumo. (Carrese et al, 2013)

A *North Carolina State University* com o Instituto Superior Técnico fizeram uma análise, tanto em Portugal como nos EUA, que vai direta a fatores-chave: velocidade, aceleração e tipologia de percursos. É efetuada uma comparação entre os veículos pesados de passageiros a gasóleo e movidos a células de hidrogénio. O que é absolutamente relevante para este trabalho foram os modelos utilizados, tanto a nível de análise física como a nível empírico. A nível de análise física, temos o *EcoGest*, e o PERE (*Physical Emissions Rate Estimator*). Os dados de entrada para o *EcoGest* são: características do motor, número de passageiros, propriedades do percurso e perfil da velocidade. O *EcoGest* é capaz de calcular o consumo instantâneo, assim como o médio. O PERE utiliza parâmetros de veículo e utiliza dados recolhidos segundo a segundo, de forma a estimando o consumo instantâneo. Os parâmetros do PERE são: VSP, massa do veículo, velocidade do motor e cilindrada. Quanto ao modelo de análise empírica, existe o MOVES 2004 que foi desenvolvido através de dados experimentais medidos através do PEMS. Quando através deste sistema não é possível recolher os dados, é direcionada a recolha de informação para o PERE. (Frey et al, 2007)

Por uma nova perspetiva, face ao teor do objetivo pretendido, há o estudo de otimização das rotas com o fim de reduzir o consumo de combustíveis. Neste caso em particular, um dos grandes problemas são os quilómetros percorridos pelos veículos das empresas de transportes públicos, que não estão diretamente afetas a transporte de passageiros, o *Pull-in* e o *Pull-out*. O *Pull-in* é a distância que o veículo percorre quando sai da estação até chegar ao início da carreira, e o *Pull-out* é o inverso, ou seja, a distância desde do fim da carreira até à estação. Se para uma empresa de transportes públicos é necessário minimizar o consumo de energia, esta distância tem de ser a mais reduzida possível. (Eliiyia, 2012)

Ahsan e Hatzopoulou (2014) analisaram meios de reduzir o consumo durante o tráfego. São três os tipos de meios apontados: o primeiro é o TSP (*Transit Signal Priority*) que consiste num conjunto de melhorias operacionais, oferecendo aos veículos de passageiros a prioridade ao nível de sinais de trânsito ao longo dos seus percursos, mantendo sinal verde por mais tempo ou reduzindo o tempo do sinal vermelho, refletindo-se num menor tempo e menor consumo. O segundo refere as “vias BUS” prioritárias, ou seja, faixas de rodagem onde só transportes públicos podem utilizar. A terceira tem a ver com a localização estratégica das paragens dos autocarros, para entrada e saída de passageiros. Uma melhor estratégia condiciona o consumo de combustíveis e melhora a qualidade do serviço.

EFEITO DA INCLINAÇÃO NO DESEMPENHO DE VEÍCULOS PESADOS DE PASSAGEIROS

Foi possível encontrar estudos efetuados em Portugal. Um deles focalizou-se em Lisboa com duas companhias, a Rodoviária de Lisboa e a Barraqueiros Transportes. Estas duas companhias utilizam ferramentas de monitorização distintas, assim, uma recolhe todos os dados em tempo real, a outra utiliza dados selecionados, assim, a informação relevante advém apenas dos dados necessários para efetuar a monitorização. Confirmou-se neste trabalho alguns fatores que influenciam o consumo, nomeadamente, fatores topográficos e de congestionamento de tráfego (Duarte et al, 2013).

Para existir uma noção abrangente da relação entre consumos e serviço produzido pela indústria dos transportes públicos, Saari et al. (2007) calcularam os recursos naturais consumidos no uso de transportes de diversas categorias e tipos de veículo, como também o tipo de vias de transporte. Um fator relevante nos transportes é o benefício obtido pelo uso do veículo, que neste caso chama-se “unidade de serviço”(S), que pode ser traduzido, consoante o tipo de veículo em km-pessoa e km-tonelada, ou seja, o primeiro para transporte de pessoas e o segundo para transporte de mercadorias. Daqui temos um MIPS (materiais +energia consumida por unidade de Serviço) que é um rácio entre o S e MI (inputs de material) $MIPS = \frac{MI}{S}$, que se trata de um medidor de ecoeficiência. Os dados de entrada, ou seja, o MI, são: materiais abióticos, materiais bióticos, consumo de solos, água e poluentes libertados. Esta abordagem é de particular interesse para a empresa HF (Horários do Funchal) com que se vai realizar este trabalho, pois oferece também a relação do ciclo de vida dos transportes e os consumos dos mesmos com questões, tais como, a qualidade do percurso, manutenção dos carros, renovação da frota. Para além disto, analisa o impacte ambiental que o setor dos transportes pode ter e as vantagens consequentes de utilizar transportes públicos (Saari et al, 2007).

Uma outra publicação descreve a utilização de dinamómetros, outros sensores, o método de seleção da frota, características dos veículos, sistemas de simulação e ciclos de condução a partir de eventos independentes. Toda esta informação foi muito útil na aplicação da metodologia no que diz respeito ao trabalho efetuado com a frota da HF. Este trabalho observa os consumos de energia consoante a utilização de diferentes misturas de biodiesel e gasóleo, a fim de verificar qual é o impacte do biodiesel no consumo global. O estudo dividiu-se em duas partes, na primeira com testes de desempenho e de emissões, de modo que fosse determinado com precisão quais os fatores de desempenho de modo a saber como o biodiesel influencia a eficiência independentemente de outros fatores. É de mencionar que a frota utilizada neste estudo é de uma empresa portuguesa sendo similar nas características à frota da empresa HF. Esta frota era composta maioritariamente por Mercedes, Volvo e Scania, sendo estes veículos segundo as normas europeias, de tipo Euro 3 (Luis M.V. Serrano, 2012). A metodologia utilizada é similar ao que é pretendido na empresa HF.

A questão dos dinamómetros continuou a ser primordial noutros estudos. Liu et al. (2012) analisaram as emissões e os consumos instantâneos, comparando-os diretamente os valores simulados pelo MOVES. O estudo chega a uma conclusão muito relevante: nem sempre os inventários dos veículos são uma informação a *priori* completamente fiável. Isto quer dizer que veículos com as mesmas características e duração podem ter consumos diferentes, consoante os padrões de utilização a que estão sujeitos. Assim, o histórico do veículo pode alterar significativamente os níveis de consumo e

EFEITO DA INCLINAÇÃO NO DESEMPENHO DE VEÍCULOS PESADOS DE PASSAGEIROS

emissões. Este trabalho conseguiu chegar a essa conclusão, através do estudo da variabilidade dos valores obtidos diretamente pelos dinamómetros e pelos simulados pelo MOVES. Para atenuar esta variabilidade que se resume a um desvio, o estudo proporciona uma metodologia que permite corrigir estes fatores de desgaste do veículo, tornando a estimativa do MOVES mais determinante. O MOVES utiliza o modelo VSP para calcular os consumos dos veículos, tendo em conta elementos como a potência do motor, e medições instantâneas operacionais de velocidade, aceleração e desaceleração. O que este trabalho propôs foi transformar o modelo VSP acompanhando este com o fator de utilização que ao invés de utilizar dados segundo-a-segundo, faz uma média dos últimos quinze segundos como modo de ajustamento em relação ao consumo. (Liu e Barth, 2012)

O MOVES é um modelo de simulação muito relevante em todo o mundo, desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental Norte-Americana (US EPA). Em Wyatt et al. (2014) é possível avaliar uma frota que se adequa à base de dados original do MOVES. A metodologia VSP pode, todavia, ser utilizada de forma direta, isto é, utiliza-se os mesmos princípios do MOVES só que tendo como plataforma de execução da simulação métodos estatísticos através de folhas de calculo. A metodologia selecionada foi aplicada com o objetivo de detetar o *output* instantâneo do motor de combustão com medições de segundo a segundo da velocidade, aceleração e gradiente de inclinação, através de sistemas portáteis de medição de emissões. O trabalho incide particularmente no gradiente de inclinação explicando os vários métodos de obter os declives: cálculo pelo *design*; medição direta; medição por GPS, acelerómetros; altímetros barométricos e derivação matemática (Wyatt et al., 2014).

Por fim, podemos dizer que os testes “*on road*” são geralmente realizados em condições imperfeitas que não traduzem a situação real, isto porque, os veículos são sujeitos constantemente a parar e acelerar o que é difícil criar em condições modelo. No trabalho efetuado por (Jayaratne et al, 2010) foi analisado o impacto da aceleração no consumo de combustível. Foi determinado que um litro de gasóleo corresponde em média a 2,5 – 2,7 kg de CO₂. Só que em condições de aceleração verificou-se que a variação do consumo ao segundo vai de 15 gs⁻¹ para 22 gs⁻¹, isto significa que a aceleração é um fator muito importante no consumo. (Jayaratne et al, 2010)

Como síntese conclusiva do estado da arte, depreendeu-se que, de entre todos os modelos apresentados, o MOVES afigura-se com maior destaque. Todavia este modelo aplica-se fundamentalmente aos Estados Unidos sendo de difícil adaptação para o caso português. Assim, foi utilizada a metodologia subjacente ao MOVES – o VSP (Zhai et al., 2008). Este modelo enquadra-se perfeitamente nas necessidades deste trabalho que visa quantificar o impacto da inclinação nas emissões de poluentes de uma frota de veículos pesados de passageiros. O trabalho que se pretende apresentar é um complemento a estudos como os efetuados em Roma por Carrese, (2013) e surge como uma pesquisa inédita na região autónoma da Madeira.

3. Metodologia

Um trabalho de investigação exige uma preparação e elaboração cuidada. Todo este projeto assentou na pesquisa e auscultação de bibliografia sobre a temática, bem como do modelo VSP e do dispositivo GPS (como métodos principais para a modelação e aquisição de dados, respetivamente).

É possível observar na **Figura 1** a metodologia que determinou os passos para a conclusão e resultados pretendidos.



Figura 1 – Esquema metodológico

EFEITO DA INCLINAÇÃO NO DESEMPENHO DE VEICULOS PESADOS DE PASSAGEIROS

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

Quadro 1 – Cronograma de tarefas

Tarefa	2014								
	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro
Revisão Bibliográfica	■	■	■	■	■	■	■		
Caraterização da Frota HF	■	■	■	■					
Medições a bordo das viaturas						■	■		
Tratamento de dados							■	■	
Cálculo de emissões (VSP)								■	■
Escrita da Dissertação						■	■	■	■

3.1 Métodos

3.1.1. Medições experimentais

Tendo como intuito obter dados no terreno, isto é, nas rotas percorridas pelas viaturas da HF, foi utilizado o dispositivo GPS *Travel Recorder*, modelo BT-Q1000XT, ilustrado na **Figura 2**. Para além deste, temos o *software* QTravel que permite a monitorização dos dados recolhidos. As medições foram recolhidas de segundo a segundo conjuntamente com as coordenadas geográficas, incluindo a altitude, velocidade, distância percorrida, tempo da viagem, quilómetros percorridos. Numa fase posterior os dados obtidos pelo equipamento foram processados com o fim de calcular os perfis de inclinação e aceleração (qstarz beyond navigation, 2014).



Figura 2 – GPS Travel Recorder BT-Q1000XT (*qstarz beyond navigation, 2014*)

O dispositivo BT-Q1000XT foi desenvolvido para este tipo de tarefa e possui características indispensáveis para este trabalho:

- Permite o registo segundo a segundo e o armazenamento até 400.000 pontos ao longo do percurso.
- O dispositivo está munido de um sensor de vibração integrado que deteta o movimento, o que permite poupar energia, assim, quando o veículo está parado, o aparelho pode desligar-se automaticamente.
- O *software* do equipamento permite personalizar o cronograma, adequando o mesmo às necessidades do projeto.
- Capacidade de sinalizar pontos geográficos de interesse; controlo de velocidade ou aviso de memória completa, o que facilita a recolha dos dados operacionais no que diz respeito às paragens das carreiras ou a outros pontos de interesse do percurso.

EFEITO DA INCLINAÇÃO NO DESEMPENHO DE VEICULOS PESADOS DE PASSAGEIROS

Para além destas características, o GPS Travel Recorder BT-Q1000XT detém as seguintes especificações:

- Botão POI (Ponto de Interesse) que permite uma fácil e imediata memorização de lugares que são determinantes para compreender o tipo de condicionantes do percurso.
- A possibilidade de permutar entre o *datalogger* (LOG) e recetor GPS Bluetooth (NAV).
- Alertas sonoros dos diversos estados do equipamento.
- Calendarização de tarefas para funcionamento autónomo.
- Sistema de correção de posição WAAS/EGNOS.
- *Software* de suporte para a navegação sendo possível a conectividade entre Bluetooth ou USB.
- Sistema que permite uma precisão de localização entre os 3 e os 2,5 metros.
- Dimensões: 72,2 (comprimento) x 46,5 (largura) x 20 (espessura) mm.
- Massa: 65 g.

O *software* QTravel serve de apoio ao GPS Travel Recorder BT-Q1000XT e possui as seguintes especificações relevantes para este trabalho:

- Integração com o *Google Earth* para uma fácil e direta observação das rotas através do mapa da GoogleTM, assim como a possibilidade de incorporação de fotografias georreferenciadas nos mapas dos percursos e descarregamento das mesmas para aplicações informáticas;
- Plataforma desenvolvida para uma estrutura assente em bases de dados, promovendo uma fácil gestão da informação armazenada pelo dispositivo;
- Edição e análise de rotas facilitando a geração de gráficos de velocidade e altitude;
- Armazenamento e gestão das bases de dados recolhidas do dispositivo, facilitando a pesquisa e edição das mesmas;
- Capacidade de exportação de dados sob vários formatos diferentes: GPX / PLT / CSV / NMEA / *Google Earth*;
- Integração direta com o *Google Maps*;

3.1.2 Metodologia VSP

As emissões de poluentes são resultado dinâmico da ação do motor de um veículo ligado ou/e em movimento. Assim, é possível obter as emissões de poluentes através da metodologia microscópica “*Vehicle Specific Power*” (VSP). Os perfis de emissões podem ser caracterizados e estratificados em modos VSP discretos (Zhai et al., 2008)

A metodologia de cálculo VSP é primordial para este trabalho que teve como base as viaturas da HF. Esta permite estabelecer a relação analítica entre a potência e massa do veículo sendo que esta é obtida através da soma da energia potencial e cinética com o produto das forças de resistência ao ar e atritos internos e externos com a velocidade.

Esta metodologia de simulação possibilita uma maior aproximação da realidade, embora os resultados devam ser tomados como relativos e não como absolutos, já que a cada instante é possível efetuar o cálculo da potência específica através da **equação 1**:

$$VSP = V \times [a + 9.81 \times \sin(\text{grade}) + 0.092] + 0.00021 \times V^3 \quad (1)$$

Através do dispositivo GPS, é possível obter dados segundo-a-segundo, nomeadamente a velocidade do veículo e a posição das viaturas. Por este meio é possível relacionar a dinâmica dos veículos e o declive do terreno com as emissões emitidas ao longo da rota percorrida, através da fórmula VSP.

A nota fundamental neste caso é aprender de que forma o perfil de condução ou a inclinação do percurso influenciam decisivamente as emissões e o consumo de combustível. Portanto, a fórmula VSP tem a qualidade de relacionar diretamente o processo de emissão com as exigências de potência, criando a possibilidade de calcular diretamente a partir das condições físicas da estrada.

Como foi possível constatar na metodologia VSP utiliza valores de velocidade instantânea, aceleração e inclinação. A partir desta equação podemos obter valores agrupados em combinações de -30 kW/ton até +30 kW/ton – para o caso de veículos de transporte de passageiros. Depois estes valores são categorizados em módulos, em que cada um corresponde a uma taxa de emissão média de CO₂, CO, NO_x e HC. (Zhai et al., 2008)

Através do **Quadro 2** podemos transformar os valores obtidos pela equação VSP em taxas de emissão para veículos pesados de passageiros.

Quadro 2 – Modos de VSP para emissões de poluentes (Zhai et al., 2008)

Tipo de veículos	Definição (kW/ton)	VSP Mode	CO ₂ (g/s)	CO (g/s)	NOx (g/s)	HC (mg/s)
Veículos Pesados de Passageiros	VSP<0	1	2,4	0,009	0,04	1,23
	0≤VSP<2	2	7,8	0,036	0,13	1,70
	2≤VSP<4	3	12,5	0,045	0,18	1,75
	4≤VSP<6	4	17,1	0,072	0,22	1,84
	6≤VSP<8	5	21,2	0,085	0,24	1,94
	8≤VSP<10	6	24,8	0,091	0,26	2,05
	10≤VSP<13	7	27,6	0,084	0,28	2,08
	VSP≥13	8	29,5	0,062	0,31	2,15

3.1.3 Cálculo do consumo de Combustível

As emissões de CO₂ originam-se de três fontes: combustível, lubrificantes e aditivos. A combustão de qualquer uma destas três fontes origina CO₂, apesar do combustível ser o principal.

A equação utilizada para calcular as emissões de CO₂ em função de consumo de combustível é (Ntziachristos et al, 2012):

$$E_{CO_2;k,m}^{Calc} = 44,011 \times \frac{FC_{K,m}^{calc}}{12,011 + 1,008r_{H:C,m} + 16,00r_{O:C,m}} \quad (2)$$

Em que “FC” é consumo de combustível e o “E” o valor das emissões.

Temos então:

$C_xH_yO_z$, sendo que a fórmula química do Gasoleo é: $C_{12}H_{23}$

Os rácios são:

$$r_{H:C,m} = \frac{y}{x}, \quad r_{O:C,m} = \frac{z}{x}$$

3.2. Caso de estudo: Frota dos Horários do Funchal

A Horários do Funchal é uma empresa de transporte de passageiros, sediada no Funchal. Esta foi criada a 11 de abril de 1985 pela CETU pela resolução do Governo Regional n.º 469/85.

A 12 de agosto de 1986 a HF criou a sua primeira estação e adquiriu o seu primeiro autocarro. Passados 11 anos esta já contava com o serviço Interurbano e o serviço de Turismo e Aluguer, sendo uma das maiores empresas de transporte de passageiros da Ilha da Madeira.

Nos anos seguintes a HF implementou vários sistemas de melhorias, tal como o Serviço de Transporte para Pessoas com Mobilidade Reduzida/Transporte Especial, Linha Eco na baixa do Funchal, aquisição de autocarros com norma Euro5, tendo estes a particularidade de serem LE cuja característica principal é um piso rebaixado o que facilita a entrada e saída de passageiros, sendo que estes estão isentos de degraus, proporcionando assim uma melhor acessibilidade.

Atualmente a sua frota conta com 158 autocarros urbanos, a operar dentro do Concelho do Funchal e no serviço interurbano conta com 59 autocarros, perfazendo um total de 217 viaturas, esta tem uma taxa de ocupação média de 17% para uma lotação máxima de 77 lugares.

A HF é uma das principais empresas da região, contendo um rede de cerca de 423 quilómetros por toda a ilha, em que 200 quilómetros são urbanos e os outros 223 quilómetros interurbanos, sendo determinante para o turismo e para colmatar as fragilidades económicas das populações da região. (Horários do Funchal, 2014)

Nas próximas secções serão explicadas os pressupostos e limitações deste trabalho, depois temos os objetivos da recolha de informação e a caracterização da frota.

3.2.1 Pressupostos e Limitações

O trabalho proposto nesta dissertação implica alguns aspetos que podem ser considerados constrangimentos. O objetivo fundamental pretendido visa comparar com registo os consumos de combustível de quatro rotas de veículos de passageiros com diferentes inclinações. Este intuito é determinante para uma região com elevado relevo e orografia sinuosa. A primeira limitação diz respeito às características dos veículos, ou seja, para a mesma rota podemos ter vários veículos com idades e características diferentes; neste trabalho pretendeu-se analisar especificamente o efeito da inclinação, pelo que se consideraram diferentes dinâmicas, mas considerando os fatores de emissão de um veículo específico. Para além disto, temos as várias paragens em cada carreira, como cada uma destas transporta diferente número de utilizadores, nem todos os veículos efetuam as mesmas paragens. Outro pressuposto incontornável em termos de comparação é o tipo de condução levada a cabo pelos motoristas, assim, numa mesma carreira, dois motoristas distintos podem ter padrões de condução muito diferentes, influenciando o resultado obtido.

Sendo o Funchal de uma orografia muito acentuada, não é possível criar condições para que todos os percursos estudados detenham exatamente as mesmas condições em termos de distância, tráfego ou condições atmosféricas. No centro do Funchal as medições foram realizadas em horários distintos,

EFEITO DA INCLINAÇÃO NO DESEMPENHO DE VEÍCULOS PESADOS DE PASSAGEIROS

sendo assim, verificaram-se os parâmetros a ter em conta neste estudo. Os registos de valores tendem a ter algumas diferenças ao nível das emissões nos diferentes testes realizados.

O número de paragens e o número de passageiros foi um dos grandes fatores de variação, pois estes eram influenciados pelo horário a que era realizado o teste, sendo que o número de passageiros oscilava entre 4% a 12%, pois no horário da manhã o número de passageiros é que o horário da tarde. Outro grande fator a ter em conta foi o condutor e o autocarro não serem os mesmos para todos os testes, daí influenciar o valor das emissões, pois o padrão de condução de cada condutor são distintos. Outra grande dificuldade encontrada diz respeito aos desvios provocados pelas inúmeras obras a decorrer na cidade do Funchal, pois os trajetos sofreram alterações, o que cria uma diferença de distância e de tempo percorrido face ao trajeto original.

3.2.2 Objetivos da recolha de informação

A recolha de informação é um processo que implicou reunir os parâmetros necessários ao estudo a efetuar.

Os parâmetros chave relativos às viaturas foram:

- Velocidade
- Registo de rotas a bordo.
- Paragens

Outros parâmetros relevantes:

- Inclinação do percurso
- Distância percorrida
- Tipo de estrada
- Período de condução (manhã, tarde ou noite)

Foram realizados 5 testes e respetivas medições para cada carreira, dois na parte da manhã e três na parte da tarde, igualmente para cada carreira.

3.2.3 Caracterização da Frota Horários do Funchal e rotas selecionadas

Os dados dos veículos e respetivos percursos foram todos facultados pela empresa HF. A informação prestada inclui o modelo e respetivas características, os quilómetros percorridos, o número de anos de operação, as normas europeias, capacidade de carga, e todos os dados de manutenção e operação. A frota é composta por 182 autocarros de passageiros dos quais 158 estão completamente operacionais. Esta é uma frota maioritariamente envelhecida tendo uma média de idade aproximadamente 20 anos, pois apresenta mais de 50% dos autocarros com normas Pré Euro.

EFEITO DA INCLINAÇÃO NO DESEMPENHO DE VEÍCULOS PESADOS DE PASSAGEIROS

A frota em estudo apresenta 7 marcas distintas de veículos de pesados de passageiros:

- SCANIA
- VOLVO
- MERCEDES
- DAF
- TOYOTA
- VW
- GULLIVER

O quadro seguinte apresenta a frota da HF (dados fornecidos pela empresa).

Quadro 3- Especificações da Frota da HF (Fonte: HF)

Nº de Autocarros	Serviço Regular	Marca	Modelo	Ano	Normas de emissões
30	Standard	DAF	MB 230	1986-1989	Pré Euro
44	Standard	VOLVO	B10M-55	1985-1988	Pré Euro
16	Standard	VOLVO	B10M-MK III	1993	Euro I
6	Médios	MERCEDES	1117/ A42	1992-1997	Euro I–Euro II
40	Médios	VOLVO	B9M-48	1997-2001	Euro II
4	Médios	SCANIA	P114 CB 4x4 H A	2003	Euro III
2	Mini	VW	LT46	2004	Euro III
1	Mini	TOYOTA	Minicoaster	2005	Euro III
20	Standard	VOLVO	B12B LE	2008	Euro V
10	Standard	VOLVO	B12M	2009	Euro V
5	Mini	MERCEDES	VARIO	2011	Euro V
4	Elétrico	Gulliver	U520ESP/810	2006	Elétrico

A HF forneceu toda a informação relativa às rotas habituais de cada veículo, assim como dados do percurso, tais como a velocidade média e a inclinação média.

Também foi possível obter os perfis topográficos e outro tipo de eventos relevantes para a caracterização do perfil dos veículos e respetivos consumos nos trajetos definidos (Menezes, 2006).

Nesta fase são demonstradas as rotas selecionadas para este trabalho, assim como informações relevantes a seu respeito. Numa primeira fase são explicadas algumas considerações a ter neste estudo, posteriormente são apresentadas as rotas cuja análise incluiu registos dinâmicos a bordo da viatura.

EFEITO DA INCLINAÇÃO NO DESEMPENHO DE VEICULOS PESADOS DE PASSAGEIROS

As rotas em estudo foram selecionadas tendo em conta a inclinação (entre 0,1% e 6%) e a sua distância (aproximadamente 9 quilómetros). Os critérios foram facultados pela própria empresa Horários do Funchal, dado que esta possui informação credível sobre este assunto (Menezes, 2006). Foram escolhidas quatro carreiras para fazer dois testes de comparação, diminuindo assim o grau de incerteza e de erro dos resultados:

- 10A Chamorra Barreira
- 37 Pinheirinho
- 3 Lombada
- 1 Ponta da Laranjeira

As carreiras 10A e 37 são as que percorrem um terreno de maior inclinação ($\approx 6\%$) e as 3 e 1 um terreno de menor inclinação ($\approx 1\%$).

O **Quadro 4** mostra as respetivas distâncias e diferentes inclinações das rotas escolhidas.

Quadro 4 - Características das Carreiras selecionadas (Fonte: HF)

Carreira	Distância (m)	Declive (%)
<i>10ª Chamorra</i>	8582	5,65
<i>37 Pinheirinho</i>	8505	5,41
<i>3 Lombada</i>	8859	0,67
<i>1 Ponta da Laranjeira</i>	8543	0,85

Ao selecionar estas carreiras o percurso foi observado diretamente para averiguar se o mesmo é adequado para a recolha de dados com maior grau de viabilidade. As figuras seguintes representam visualmente os percursos das quatro rotas estudadas – Carreira 10A; Carreira 37; Carreira 1 e Carreira 3.

EFEITO DA INCLINAÇÃO NO DESEMPENHO DE VEICULOS PESADOS DE PASSAGEIROS

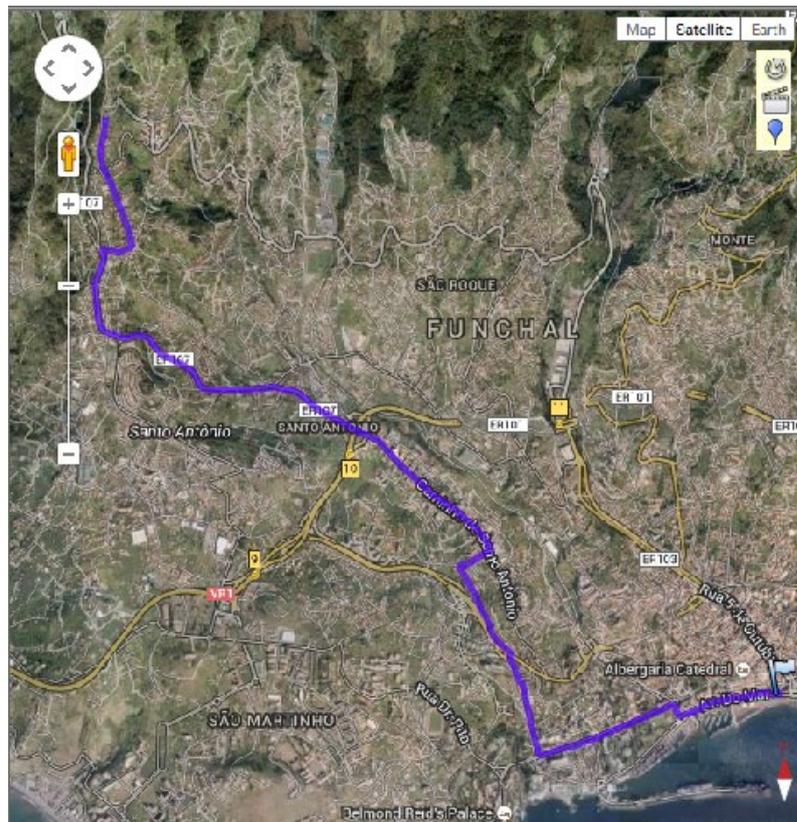


Figura 3- Rota da Carreira 10A Chamorra

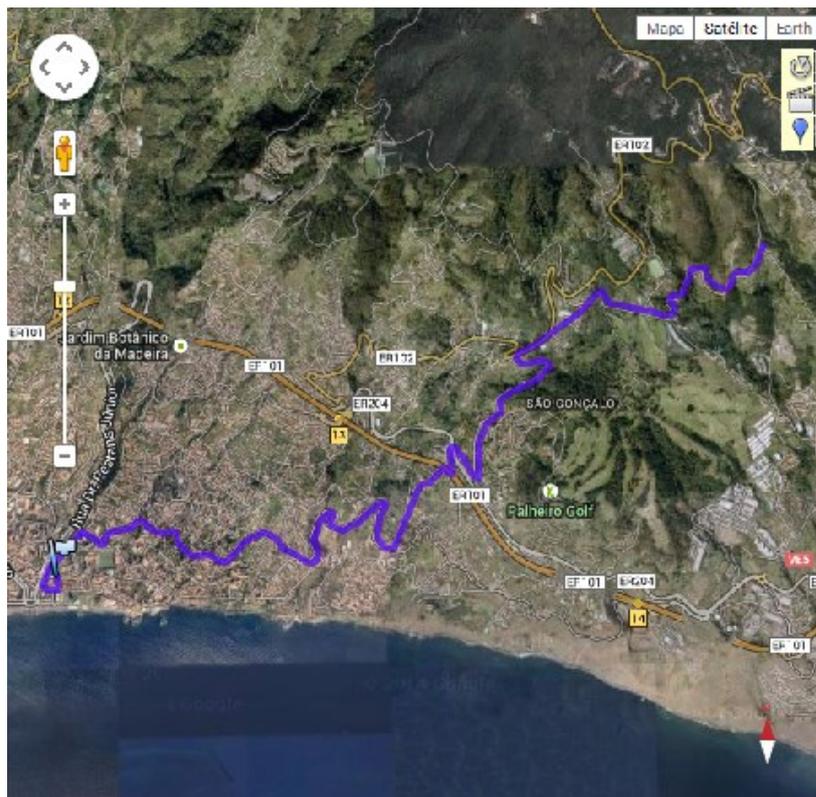


Figura 4- Rota da Carreira 37 Pinheiro

EFEITO DA INCLINAÇÃO NO DESEMPENHO DE VEICULOS PESADOS DE PASSAGEIROS

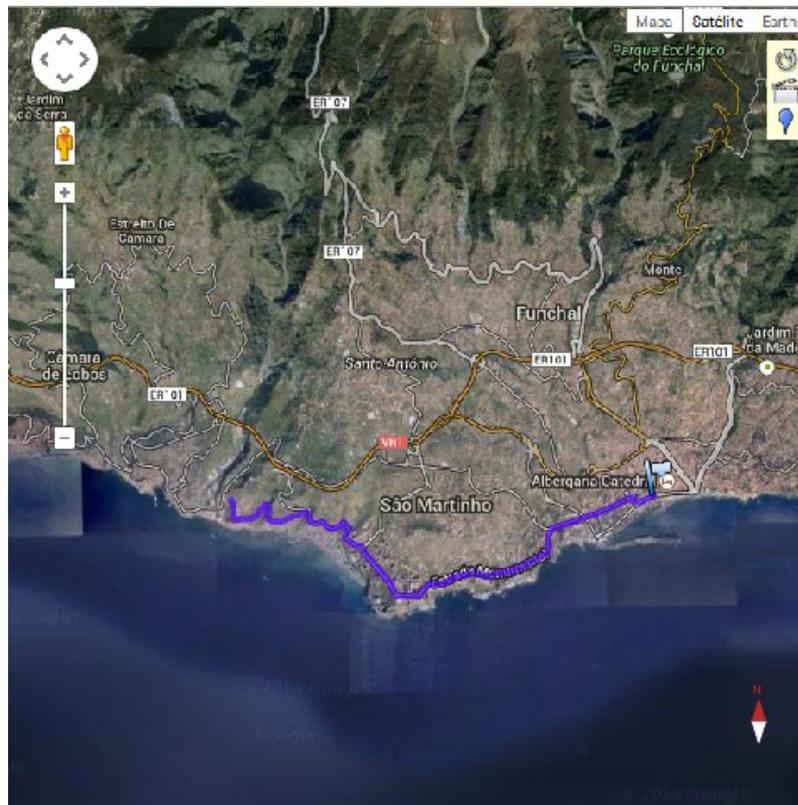


Figura 5- Rota da Carreira 1 Ponta Laranjeira

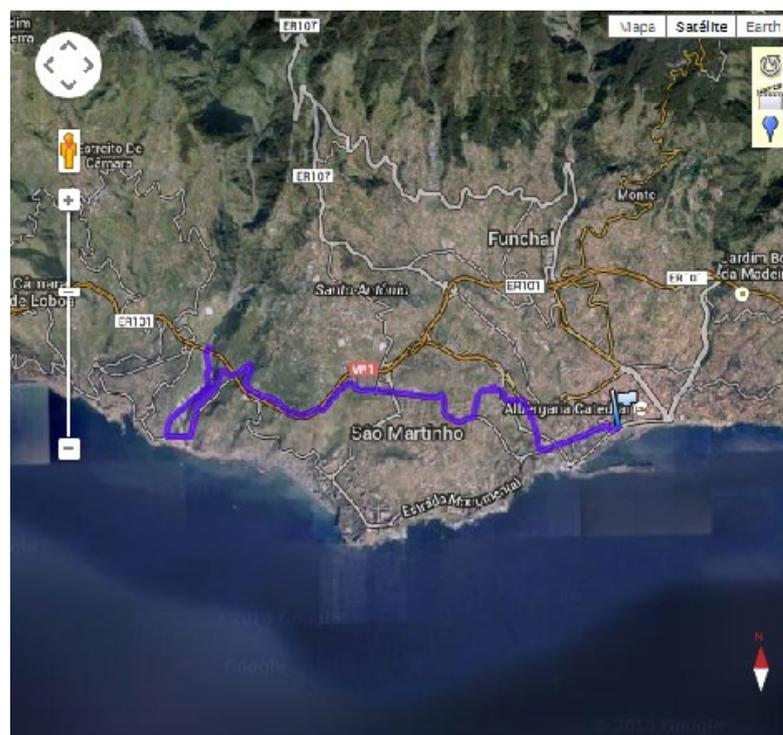


Figura 6- Rota da Carreira 3 Lombada

EFEITO DA INCLINAÇÃO NO DESEMPENHO DE VEÍCULOS PESADOS DE PASSAGEIROS

Numa observação mais atenta, verificamos através da **Figura 3 e 4** (carreiras com maior inclinação) que o trajeto da carreira desloca-se para o sentido Norte da ilha da Madeira, dirigindo-se para as zonas altas do Funchal, que é maioritariamente composta por orografia muito acentuada.

Pela **Figura 5 e 6** (que representam as carreiras com menor inclinação) verifica-se que o trajeto é quase todo ele feito na baixa do Funchal junto ao nível médio do mar, tendo assim, um baixo declive e um trajeto mais regular a nível de inclinação.

Estas quatro carreiras apresentam um conjunto de autocarros específicos. No **Quadro 5** apresentam-se as características dos mesmos, ou seja, as viaturas utilizadas na presente análise.

Quadro 5- Dados da frota em estudo (Fonte: HF)

Carreira	Teste	Matricula	Marca	Modelo	Norma Euro	Ano
10A Chamorra	1	17-33-MA	Volvo	B10 M	Euro I	1993
	2	02-17-MA	Volvo	B10 M-55	Pré Euro	1988
	3	MA-94-50	Volvo	B10M-55	Pré Euro	1986
	4	MA-94-50	Volvo	B10M-55	Pré Euro	1986
	5	MA-94-50	Volvo	B10M-55	Pré Euro	1986
37 Pinheirinho	1	55-26-MD	Volvo	B9M-48	Euro III	2001
	2	55-26-MD	Volvo	B9M-48	Euro III	2001
	3	38-69-MA	Volvo	B9M-48	Euro II	1997
	4	38-69-MA	Volvo	B9M-48	Euro II	1997
	5	55-26-MD	Volvo	B9M-48	Euro III	2001
3 Lombada	1	17-11-MA	Volvo	B10M	Euro I	1993
	2	MD-93-09	Volvo	B10M-55	Pré Euro	1986
	3	17-11-MA	Volvo	B10M	Euro I	1993
	4	MD-93-09	Volvo	B10M-55	Pré Euro	1986
	5	17-11-MA	Volvo	B10M	Euro I	1993
1 Ponta da Laranjeira	1	55-FB-34	Volvo	B12B LE	Euro V	2008
	2	55-FB-34	Volvo	B12B LE	Euro V	2008
	3	55-FB-34	Volvo	B12B LE	Euro V	2008
	4	55-FB-46	Volvo	B12B LE	Euro V	2008
	5	55-FB-46	Volvo	B12B LE	Euro V	2008

3.2.3 Considerações das análises efetuadas

A recolha de dados processou-se aproximadamente ao longo de um dia para cada carreira, sendo repetida 5 vezes a recolha de dados no mesmo percurso. A obtenção da informação dada pelo GPS ocorreu dentro das viaturas, enquanto estas operavam, sendo segundo a segundo identificada a localização, altitude, velocidade instantânea e respetiva aceleração/desaceleração. Os testes foram

EFEITO DA INCLINAÇÃO NO DESEMPENHO DE VEICULOS PESADOS DE PASSAGEIROS

sempre realizados nas mesmas condições e no mesmo sentido, isto é, o percurso começou sempre no centro urbano do Funchal e terminou no destino final da carreira.

Nas figuras seguintes são apresentados os perfis de altitude e velocidade obtidos a bordo das viaturas para um teste de cada carreira. Podemos observar que em cada percurso há um número diferente de paragens. Isto deve-se ao perfil de tráfego da carreira que varia ao longo do dia.

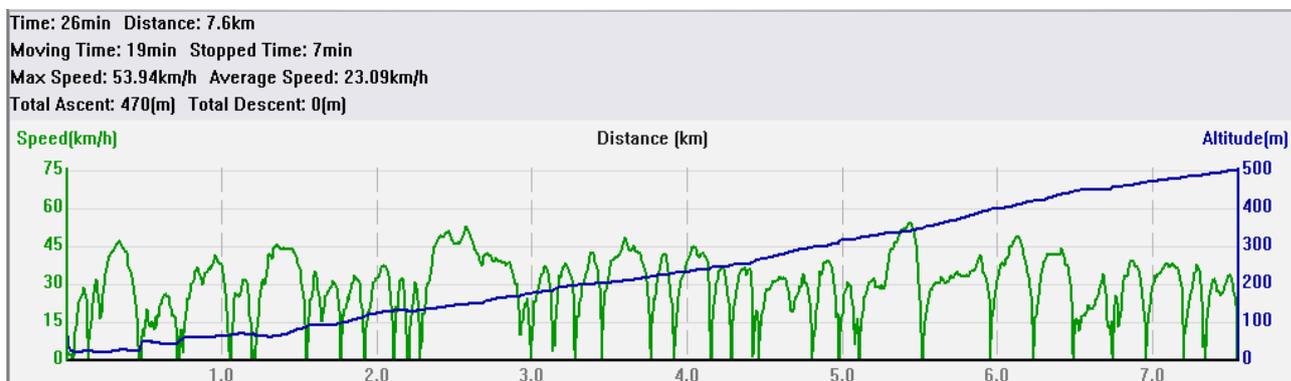


Figura 7 - Perfil de velocidade e altitude (10A Chamorra)

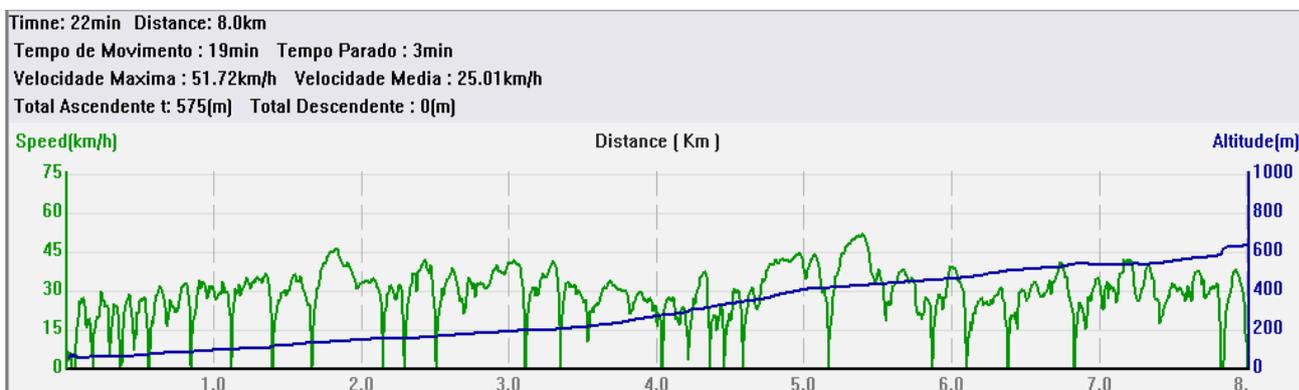


Figura 8 - Perfil de velocidade e altitude (37 Pinheirinho)

Nas **Figuras 7 e 8** temos os percursos com maior inclinação, estes apresentam um declive positivo sensivelmente constante conforme toda a distância percorrida.

Como podemos verificar na linha de altitude ocorre uma permanente elevação da altitude. No eixo vertical onde consta a velocidade podemos constatar também o número de paragens ao longo do percurso – que corresponde aos pontos onde a velocidade é zero. Estas paragens estão associadas tanto a paragens efetuadas para a saída dos utilizadores, como a paragens efetuadas devido ao volume de tráfego.

EFEITO DA INCLINAÇÃO NO DESEMPENHO DE VEICULOS PESADOS DE PASSAGEIROS

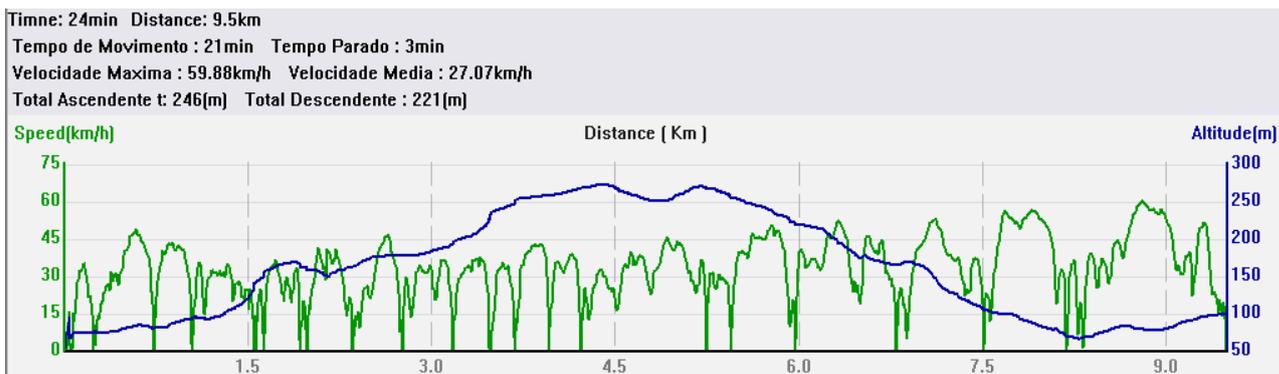


Figura 9 - Perfil de velocidade e altitude (3 Lombada)



Figura 10 - Perfil de velocidade e altitude (1 Ponta da Laranjeira)

Já nas **Figuras 9 e 10** que correspondem a um perfil de menor declive – Lombada e Ponta da Laranjeira - é de salientar o percurso estável observado (linha azul). Por fim, estes perfis de altitude e velocidade podem ter utilidade interpretativa na seleção de rotas, porque observando os mesmos é possível avaliar quais são as condições mais adequadas para reduzir o consumo e emissões poluentes, no que diz respeito ao fator inclinação.

4. Resultados e sua Discussão

4.1 Resultados Iniciais

Os resultados podem ser observados para as quatro carreiras (duas com declive superior – Chamorra e Pinheirinho - e duas com declive inferior – Lombada e Ponta da Laranjeira) através dos quadros seguintes.

Resultados para as rotas Chamorra 10A e Pinheirinho 37 (Elevado declive)

Os **Quadros 6 e 7** – emissões de poluentes consoante a inclinação real e controle (declive zero) - representam as emissões de poluentes para a rota Chamorra A, com a inclinação real do terreno e simulando a mesma rota, mas sem declive.

Quadro 6- Emissões de Poluentes para Carreira 10A com inclinação real

Chamorra 10A	Distância (km)	CO₂ (g)	CO (g)	NO_x (g)	HC (g)	CO₂ (g/km)	CO₂ (g/pass.km)
Teste1	8,6	20067,8	71,1	252	2713	2338,4	179,9
Teste2	8,6	21158,4	74,5	260	2680	2464	189,5
Teste3	8,6	21767,5	79,3	274	2910	2534,3	194,9
Teste4	8,6	19718,1	69,4	242	2426	2300,8	177
Teste5	8,6	21705	78,7	272	2847	2526,8	194,4

Quadro 7- Emissões de Poluentes para Carreira 10A com inclinação zero

Chamorra 10A	Distância (km)	CO₂ (g)	CO (g)	NO_x (g)	HC (g)	CO₂ (g/km)	CO₂ (g/pass.km)
Teste1	8,6	14945	59,7	210	2596	1741,4	133,9
Teste2	8,6	14214,4	56,9	198	2490	1655,3	127,3
Teste3	8,6	14602,3	60	213	2741	1700,1	130,8
Teste4	8,6	12437	50	175	2208	1451,2	111,6
Teste5	8,6	14516,9	58,2	207	2641	1690	130

É possível verificar a comparação de emissões do percurso com e sem declive para a carreira 10A. Aqui observa-se uma diminuição de 47% nas emissões de CO₂, 30% no CO e NO_x pois os valores médios são: CO₂ 2432,4 g/km e 1647 g/km; CO 74,5 g e 56,9 g; e finalmente, NO_x: 260 g e 200 g.

EFEITO DA INCLINAÇÃO NO DESEMPENHO DE VEICULOS PESADOS DE PASSAGEIROS

Os Quadros 8 e 9 – emissões de poluentes consoante a inclinação real e a de controle (declive nulo) representam as emissões de poluentes para a rota Pinheirinho, com a inclinação real do terreno e simulando a mesma rota, mas sem declive.

Quadro 8 - Emissões de Poluentes para Carreira 37 com inclinação real

Pinheirinho 37	Distância (km)	CO₂ (g)	CO (g)	NOx (g)	HC (g)	CO₂ (g/km)	CO₂ (g/pass.km)
Teste1	8,5	22690,3	86,7	288	2909	2667,9	205,2
Teste2	8,5	19639,2	68,9	236	2332	2308,6	177,6
Teste3	8,5	18376,8	68,3	234	2431	2159,4	166,1
Teste4	8,5	18377,8	64,5	220	2121	2159,3	166,1
Teste5	8,6	17621,5	43,1	218	2204	2051,4	157,8

Quadro 9 - Emissões de Poluentes para Carreira 37 com inclinação zero

Pinheirinho 37	Distância (km)	CO₂ (g)	CO (g)	NOx (g)	HC (g)	CO₂ (g/km)	CO₂ (g/pass.km)
Teste1	8,5	13246,5	54,4	196	2623	1557,5	119,8
Teste2	8,5	12797,5	50,4	175	2139	1504,3	115,7
Teste3	8,5	12180,8	48,5	173	2234	1431,4	110,1
Teste4	8,5	10773,2	43,1	152	1906	1265,8	96,7
Teste5	8,6	11689,6	46,1	163	2029	1360,8	104,7

Nos Quadros acima podemos verificar a comparação de emissões do percurso com e sem declive para a carreira 37. Aqui observa-se uma diminuição de 59% na emissão de CO₂, 36% no CO e 39% no caso do NO_x, pois os valores médios são: CO₂ 2268,8 g/km e 1423,4 g/km; CO 66 g e 48,4 g; e finalmente, NO_x: 239,2 g e 171,8 g.

EFEITO DA INCLINAÇÃO NO DESEMPENHO DE VEÍCULOS PESADOS DE PASSAGEIROS

Resultados para as rotas Lombada 3 e Ponta da Laranjeira (Baixo declive)

Os **Quadros 10 e 11** – emissões de poluentes consoante a inclinação real e controle (declive zero) - representam as emissões de poluentes para a rota Carreira 3, com a inclinação real do terreno e simulando a mesma rota, porém, com declive igual a zero.

Quadro 10 - Emissões de Poluentes para Carreira 3 com inclinação real

Lombada 3	Distância (km)	CO₂ (g)	CO (g)	NO_x (g)	HC (g)	CO₂ (g/km)	CO₂ (g/pass.km)
Teste1	9,1	15424,6	55,0	196	2326	1695	130,4
Teste2	9	14270,8	53,9	189	2296	1583,9	121,8
Teste3	9,1	15560,4	56,2	196	2273	1706,2	131,2
Teste4	9,1	15662,4	56,4	198	2223	1721,1	132,4
Teste5	9,1	15364,1	58,7	204	2474	1682,8	129,4

Quadro 11 - Emissões de Poluentes para Carreira 3 com inclinação zero

Lombada 3	Distância (km)	CO₂ (g)	CO (g)	NO_x (g)	HC (g)	CO₂ (g/km)	CO₂ (g/pass.km)
Teste1	9,1	13777,8	52,2	186	2318	1514	116,5
Teste2	9	12626,7	49,9	177	2275	1401,4	107,8
Teste3	9,1	14329,5	55,6	193	2292	1571,2	120,9
Teste4	9,1	13471,2	52	181	2180	1480,4	113,9
Teste5	9,1	13439,9	54,5	195	2470	1472,1	113,2

Novamente verificou-se a comparação de emissões do percurso com e sem declive para a carreira 3. Aqui observa-se uma diminuição elevada pois trata-se de percursos com baixo declive temos então 12% na emissão de CO₂, de 5% no CO e no NO_x, pois os valores médios são: CO₂ 1677,4 g/km e 1487 g/km; CO 55,7 g e 52,8 g; e finalmente, NO_x: 196,6 g e 186,4 g.

EFEITO DA INCLINAÇÃO NO DESEMPENHO DE VEÍCULOS PESADOS DE PASSAGEIROS

Os quadros seguintes que, mais uma vez, correspondem às emissões de poluentes com inclinação real e com inclinação zero – Quadro 12 e 13 (Ponta da Laranjeira).

Quadro 12 - Emissões de Poluentes para Carreira 1 com inclinação real

Ponta da Laranjeira 1	Distância (km)	CO₂ (g)	CO (g/s)	Nox (g/s)	HC (g/s)	CO₂ (g/km)	CO₂ (g/pass.km)
Teste1	7,8	11600,1	43,6	154	1929	1487,2	114,4
Teste2	7,8	9784,5	35,5	127	1576	1259,3	96,9
Teste3	7,9	11108,9	41,6	145	1748	1407,9	108,3
Teste4	7,8	11542	44,2	153	1844	1477,8	113,7
Teste5	7,8	10503	40,1	137	1633	1348,3	103,7

Quadro 13 - Emissões de Poluentes para Carreira 1 com inclinação zero

Ponta da Laranjeira 1	Distância (km)	CO₂ (g)	CO (g)	Nox (g)	HC (g)	CO₂ (g/km)	CO₂ (g/pass.km)
Teste1	7,8	11597,1	45,4	160	1972	1486,8	114,4
Teste2	7,8	9750,1	36,9	130	1600	1254,8	96,5
Teste3	7,9	10619,5	41,5	145	1767	1345,9	103,5
Teste4	7,8	11200,1	44,2	153	1864	1434,1	110,3
Teste5	7,8	9770	38,9	134	1639	1254,1	96,5

Nos Quadros acima podemos verificar a comparação de emissões do percurso com e sem declive para a carreira 1. Aqui observa-se uma diminuição de 3% na emissão de CO₂, e praticamente as mesmas emissões de CO e de NO_x, o que pode estar associado às variações do tráfego presenciadas ao longo dos testes. Os valores médios são: CO₂ 1395,6 g/km e 1354 g/km; CO 40,96 g e 41,36 g; e finalmente, NO_x: 143,2 g e 144,4 g.

O teste 1 decorreu em todas as carreiras logo pela manhã (8h-9h30) e o teste 5 ao final da tarde (17h-18h). Isto pode indicar que as emissões aumentam ligeiramente consoante os padrões de tráfego ao longo do dia e que o perfil de condução do motorista pode influenciar o consumo.

4.2. Resultados em Análise

4.2.1. Variação entre Resultados com inclinação real e inclinação controlo (declive zero)

Quanto às comparações dos resultados obtidos em circunstâncias de inclinação reais e dados que resultam de uma inclinação estática nula, pode ser dito claramente que o declive amplia de forma significativa tanto as emissões como o consumo de combustível. No caso da Chamorra esta variação pode atingir os 58%, sendo que ultrapassou sempre os 34%. Em média, no caso da Chamorra a variação chegou aos 48%. É possível ser dito que a variação em absoluto é de tal modo significativa que tem impacto na gestão operacional da empresa dos HF.

Os seguintes quadros – 14, 15, 16 e 17 – correspondem à variação de CO₂ para declives reais e simulados com inclinação zero.

Quadro 14 - Variação de CO₂ para declive real/controlo para a carreira 10A

Variação % entre Declive zero e declive real	Variação CO ₂ (g/km)	Variação %	Variação CO ₂ (g/pass.Km)
Teste 1	596,9	34,3%	45,9
Teste 2	808,7	48,9%	62,2
Teste 3	834,2	49,1%	64,2
Teste 4	849,6	58,5%	65,4
Teste 5	836,8	49,5%	64,4

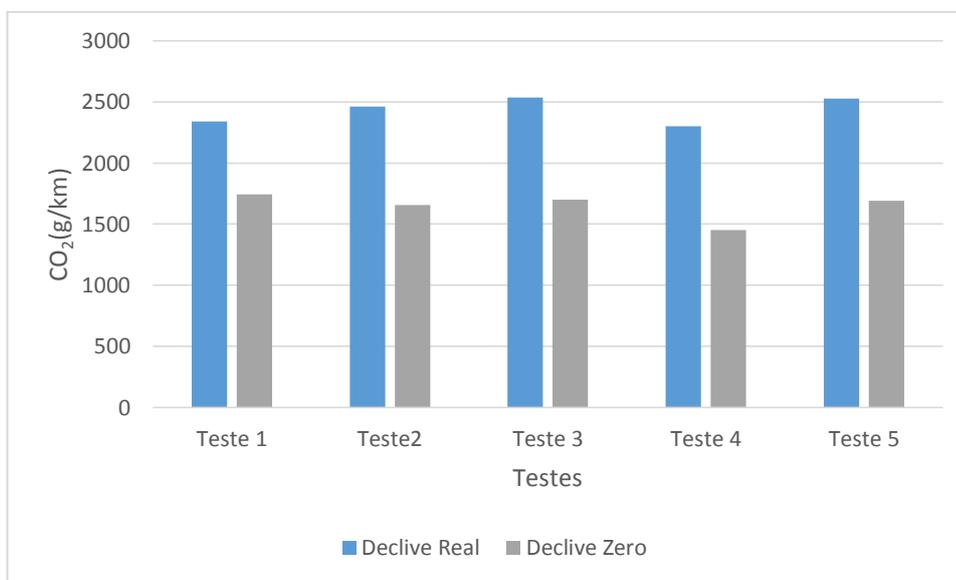


Figura 11- Variação esquemática de CO₂ para declive real/controlo para a carreira 10A

EFEITO DA INCLINAÇÃO NO DESEMPENHO DE VEICULOS PESADOS DE PASSAGEIROS

No Pinheirinho – uma das rotas com superior inclinação - a variação excedeu os 70% em dois dos testes, estando sempre num patamar superior a 50%. O valor médio das observações atingiu os 59%. De facto, uma variação média significativa, ou seja, com grande plausibilidade de ter um grande impacto na emissão de poluentes.

Quadro 15 - Variação de CO₂ para declive real/controlo para a carreira 37

Variação % entre Declive zero e declive real	Variação CO ₂ (g /km)	Variação %	Variação CO ₂ (g/pass.Km)
Teste 1	1110,4	71,3%	85,4
Teste 2	804,2	53,5%	61,9
Teste 3	728,1	50,9%	56,0
Teste 4	893,5	70,6%	68,7
Teste 5	690,6	50,8%	53,1

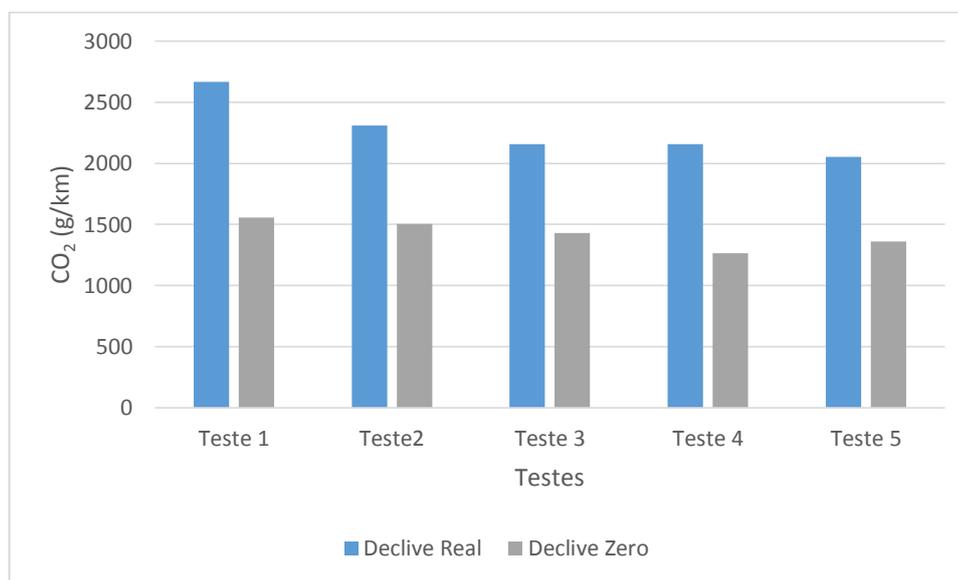


Figura 12 - Variação esquemática de CO₂ para declive real/controlo para a carreira 37

Na “Lombada” e na Ponta da Laranjeira, o estudo resultou em variações menos significativas já que estas duas carreiras possuem percursos de declive mais harmonioso e estável. A variação na Lombada não chegou aos 20%, sendo o valor máximo de 16,27% e o valor mínimo de 8,59%. A média foi de 12,83%.

EFEITO DA INCLINAÇÃO NO DESEMPENHO DE VEICULOS PESADOS DE PASSAGEIROS

Quadro 16 - Variação de CO₂ para declive real/controlo para a carreira 3

Varição % entre Declive zero e declive real	Varição CO ₂ (g/km)	Varição %	Varição CO ₂ (g/pass.Km)
Teste1	181	12%	13,9
Teste2	182,5	13%	14,0
Teste3	135	8,6%	10,4
Teste4	240,8	16,3%	18,5
Teste5	210,8	14,3%	16,2

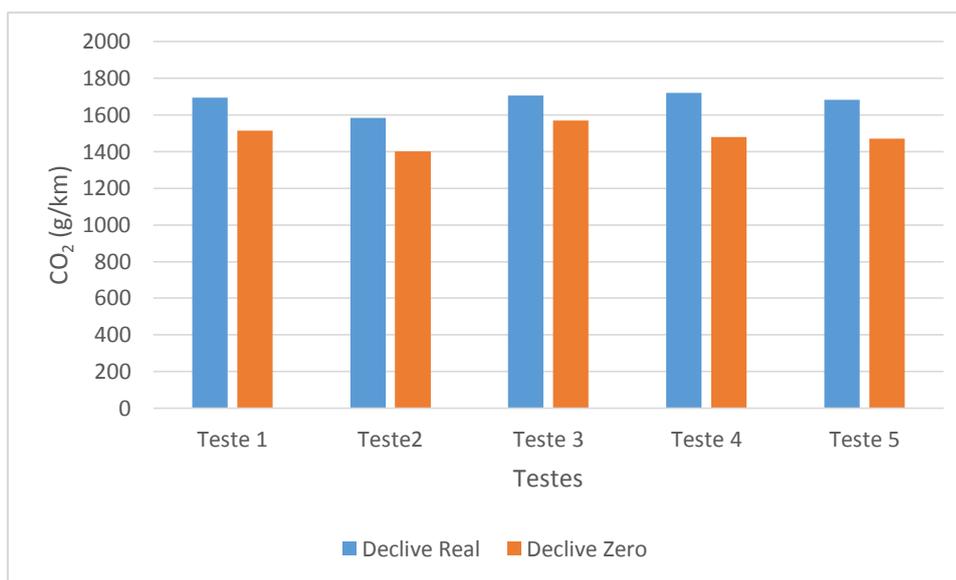


Figura 13 - Variação esquemática de CO₂ para declive real/controlo para a carreira 3

No caso da Ponta da Laranjeira temos ainda um reflexo nas emissões menos significativo. Como podemos verificar, o intervalo de valores mínimo e máximo vai dos 0% até os 7,5%

Quadro 17 - Variação de CO₂ para declive real/controlo para a carreira 1

Varição % entre Declive zero e declive real	Varição CO ₂ (g/km)	Varição %	Varição CO ₂ (g/pass.Km)
Teste1	0,4	0,03%	0,0
Teste2	4,4	0,4%	0,3
Teste3	62	4,6%	4,8
Teste4	43,8	3,1%	3,4
Teste5	94,1	7,5%	7,2

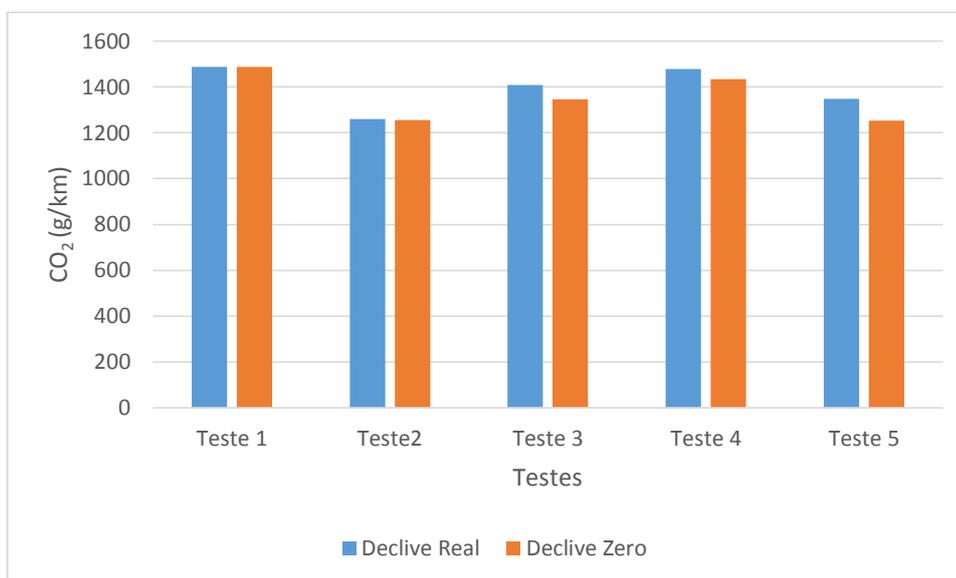


Figura 14 - Variação esquemática de CO₂ para declive real/controlo para a carreira 1

4.2.2. Comparação entre resultados com declive obtido em contexto operacional

Se for concretizada uma comparação entre carreiras com declive real, confirma-se o impacte do declive nas emissões de poluentes.

A **Figura 15** representa o contraste de emissões entre uma carreira de baixo declive e uma com elevada inclinação.

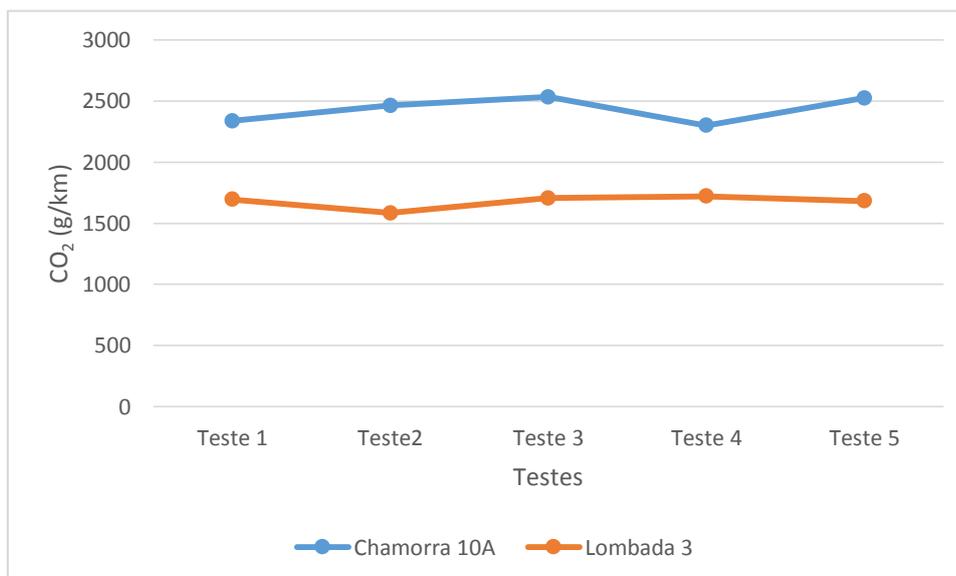


Figura 15 - Comparação de emissões de poluentes entre Carreira 10A e 3

EFEITO DA INCLINAÇÃO NO DESEMPENHO DE VEICULOS PESADOS DE PASSAGEIROS

Facilmente constatamos na Chamorra (que tem declive mais acentuado) emissões superiores, verificando-se uma diferença média de 45%, pois no caso da carreira da Chamorra apresentava uma emissão média de CO₂ de 2432,4 g/km e na carreira da Lombada um valor médio de 1677,4 g/km de CO₂.

A comparação efetuada neste item teve em conta os perfis de velocidade e altitude. Aqui temos Lombada e Chamorra porque são duas rotas com distância similar onde a variação entre ambas circunscreve-se á inclinação. Verificamos assim o efeito exclusivo da inclinação na emissão de poluentes.

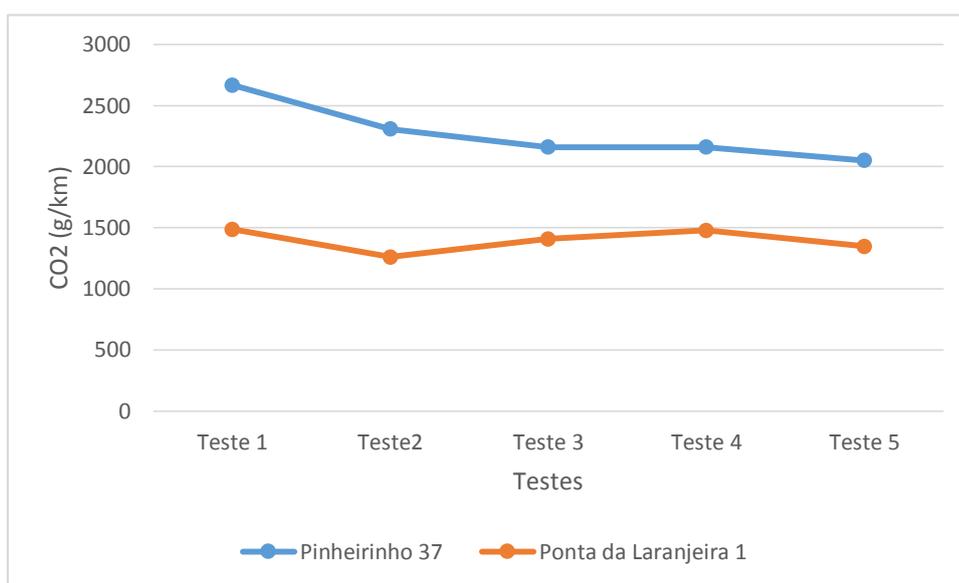


Figura 16 - Comparação de emissões de poluentes entre Carreira 37 e 1

No caso das carreiras Pinheirinho versus Ponta da Laranjeira acontece a mesma situação de que no ponto anterior, ou seja, ambas as carreiras têm as mesmas condições com exceção do declive e mais uma vez confirma-se o efeito deste nas emissões, sendo que este teve um aumento muito significativo, rondando os 52%.

A carreira do Pinheirinho apresentava valores médios de emissões aproximadamente a 2268,8 g/km já a Ponta da Laranjeira 1487 g/km.

Sendo assim concluímos que o efeito da inclinação nos percursos efetuados pelos veículos da HF é de grande relevância.

EFEITO DA INCLINAÇÃO NO DESEMPENHO DE VEÍCULOS PESADOS DE PASSAGEIROS

4.2.3. Comparação do consumo de combustível em regime operacional

Os **Quadros 18 e 19** estabelecem a relação de variação de consumos entre Chamorra 10A e Lombada 3.

Quadro 18 - Comparação de consumo entre Carreira 10A e 3

Carreiras	Chamorra 10A	Lombada 3	
Consumo	Consumo (L/100km)	Consumo (L/100km)	Varição de Consumo (%)
Teste1	87,6	63,5	27,5%
Teste2	92,3	59,3	35,7%
Teste3	95,0	63,9	32,7%
Teste4	86,2	64,5	25,2%
Teste5	94,6	63,0	33,4%

No caso da comparação de variação de consumo entre a Chamorra 10A (maior declive) e a Lombada 3 (menor declive) podemos confirmar um aumento significativo do consumo sempre superior a 25%.

Quadro 19 - Comparação de consumo entre Carreira 37 e 1

Carreiras	37 Pinheirinho	Ponta da Laranjeira 1	
Consumo	Consumo (L/100km)	Consumo (L/100km)	Varição de Consumo (%)
Teste1	99,9	55,7	44,3%
Teste2	86,5	47,2	45,5%
Teste3	80,9	52,7	34,8%
Teste4	80,9	55,4	31,6%
Teste5	76,8	50,5	34,3%

Neste caso a comparação de consumo indica valores sempre superiores a 31%.

Como é possível constatar a relação entre consumo e inclinação é consistente tanto como as variações das emissões, como com os dados operacionais empíricos facultados pela Horários do Funchal. Verificamos que as variações oscilam entre os 27 e 50% para os casos de rotas de maior inclinação e menor inclinação.

EFEITO DA INCLINAÇÃO NO DESEMPENHO DE VEICULOS PESADOS DE PASSAGEIROS

4.2.4. Comparação do consumo de combustível com declive real/controlo(declive zero)

Os Quadros 20, 21, 22 e 23 comparam os consumos entre declive real e declive controle.

Quadro 20 - Variação de consumo de combustível para declive real/ controle para a carreira 10A

Chamorra 10A	Declive real	Declive zero	Variação (%)
Consumo	Consumo (L/100km)	Consumo (L/100km)	
Teste1	87,6	65,2	25,5%
Teste2	92,3	62,0	32,8%
Teste3	95,0	63,7	32,9%
Teste4	86,2	54,4	36,9%
Teste5	94,6	63,3	33,1%

Quadro 21 - Variação de consumo de combustível para declive real/ controle para a carreira 37

37 Pinheirinho	Declive real	Declive zero	Variação (%)
Consumo	Consumo (L/100km)	Consumo (L/100km)	
Teste1	99,9	58,3	41,6%
Teste2	86,5	56,3	34,8%
Teste3	80,9	53,6	33,7%
Teste4	80,9	47,4	41,4%
Teste5	76,8	50,9	33,7%

Neste caso é possível averiguar a oscilação entre uma rota de superior inclinação e a mesma rota só em condições de declive nulo. A variação é significativa, os valores rondam entre 33% e 42%.

Quadro 22 - Variação de consumo de combustível para declive real/ controle para a carreira 3

3 Lombada	Declive real	Declive zero	Variação (%)
Consumo	Consumo (L/100km)	Consumo (L/100km)	
Teste1	63,5	56,7	10,7%
Teste2	59,3	52,5	11,5%
Teste3	63,9	58,8	7,9%
Teste4	64,5	55,4	13,9%
Teste5	63	55,1	12,5%

Quadro 23 - Variação de consumo de combustível para declive real/ controlo para a carreira 1

1 Ponta da Laranjeira	Declive real	Declive zero	Coluna1
Consumo	Consumo (L/100km)	Consumo (L/100km)	Variação (%)
Teste1	55,7	53,7	3,6%
Teste2	47,2	45,3	3,9%
Teste3	52,7	48,6	7,9%
Teste4	55,4	51,8	6,5%
Teste5	50,5	45,3	10,3%

Por fim, verifica-se o mesmo caso hipotético, ou seja, uma mesma rota com as inclinações reais e de controlo resulta em variações que podem atingir os 14%, revelando que mesmo uma inclinação média considerada pouco relevante pode interferir no consumo.

4.2.5. Troços com maior declive

Este item serve para uma maior compreensão sobre a orografia das carreiras seleccionadas, sendo que as carreiras aqui analisadas foram as de maior declive (Chamorra 10A e 37 Pinheirinho), pois estas são as mais relevantes para o estudo. Para isso foi analisado o troço com maior inclinação das duas carreiras e foram quantificadas as suas emissões de poluentes. As figuras seguintes mostram os troços do trajeto com maior declive assinalados a vermelho.

No caso da Chamorra o troço com maior relevo tem aproximadamente 1,7 quilómetros e fica localizado na parte final da carreira já nas zonas altas do Funchal. O mesmo acontece com a carreira do Pinheirinho, só que esta apresenta um troço de elevado declive, de 2,8 quilómetros e localiza-se a meio do percurso da carreira.

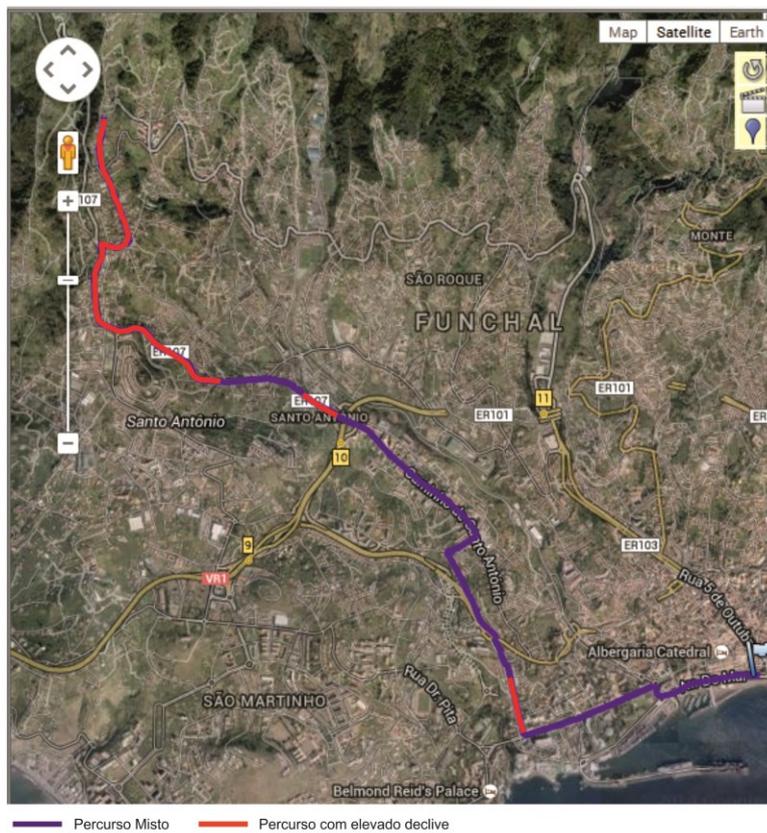


Figura 17 – Troço com maior declive da Carreira 10A Chamorra

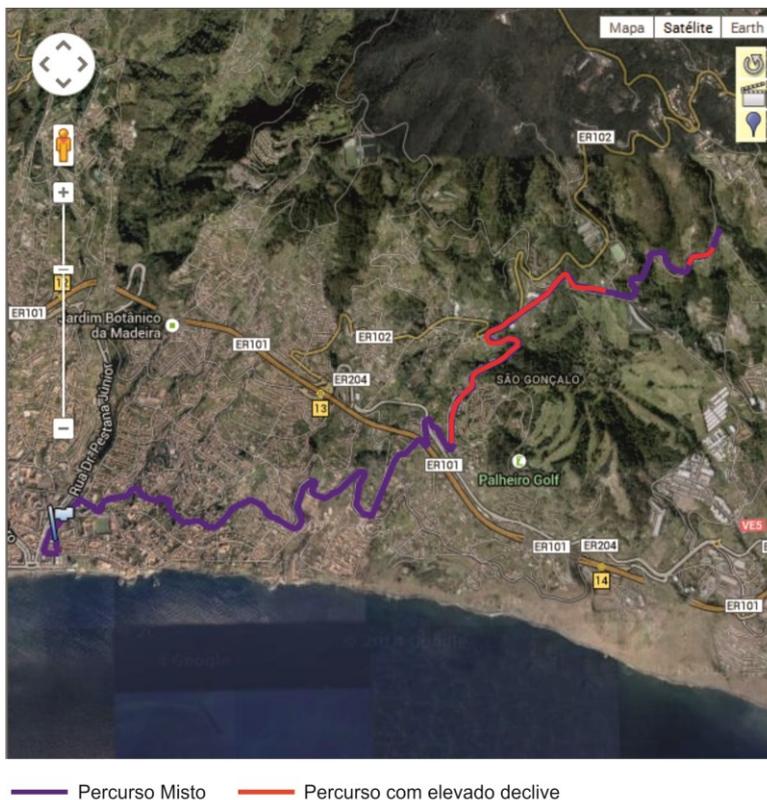


Figura 18 - Troço com maior declive da Carreira 37 Pinheiro

EFEITO DA INCLINAÇÃO NO DESEMPENHO DE VEÍCULOS PESADOS DE PASSAGEIROS

Valores de CO₂ para os troços com maior declive

O **Quadro 24** mostra a influência do troço com maior inclinação na rota 10A Chamorra, pois este apresenta apenas 1,7 quilómetros do percurso que corresponde a 20% do tamanho total do mesmo e é responsável por uma emissão média de 37,7% do valor total emitido na carreira 10A.

Quadro 24- Variação de CO₂ no troço de maior declive na carreira 37 Pinheirinho

Teste	Distância do troço (km)	Co2 (g)	Percentagem de Co2 (%)
1	1,7	7375,2	36,7%
2	1,7	9041,2	42,7%
3	1,7	9159,7	42,0%
4	1,7	7797,0	39,5%
5	1,7	6039,6	27,8%

O **Quadro 25** mostra igualmente o impacto que um troço com elevada inclinação pode ter na rota 37 Pinheirinho, embora este troço seja maior, com aproximadamente 2,8 quilómetros (33% da distância total) não deixa de ser relevante a sua influência no total do percurso (é responsável por 44% das emissões CO₂ na carreira 37 Pinheirinho).

Quadro 25- Variação de CO₂ no troço de maior declive na carreira 37 Pinheirinho

Teste	Distância do troço (km)	CO ₂ (g)	Percentagem de CO ₂ (%)
1	2,8	9751,5	43,0%
2	2,8	8602,3	43,8%
3	2,8	7702,0	41,9%
4	2,8	8714,0	47,5%
5	2,8	7718,3	43,8%

Esta análise demonstra a influência que a inclinação pode ter, nas emissões de poluentes principalmente em algumas carreiras do Funchal.

5. Conclusões e Trabalho Futuro

O consumo de combustíveis constitui um custo fundamental de uma empresa de transportes de passageiros (23%) (Horários do Funchal, 2013). Este trabalho visou avaliar o impacto do declive do percurso no que diz respeito à emissão de poluentes de uma carreira de transporte de passageiros. É possível chegar à conclusão que este impacto é significativo (entre os 34% e os 70%), o que se traduz num custo acrescido para a empresa.

A primeira implicação é dizer que as normas europeias para viaturas pesadas de passageiros não traduzem na totalidade as emissões de poluentes quando estas resultam de declives acentuados, há, por exemplo, um desvio significativo entre as emissões tabeladas para a norma Euro V e os valores registados de emissões reais obtidos neste trabalho (Diesel Net, 2014).

Outro ponto interligado com o anterior que deve ser tido em conta é o natural impacto de um aumento das emissões nos custos unitários por utente. Maior quantidade de emissões de CO₂ e de consumo de combustível deveria conduzir a um aumento nos custos unitários para carreiras com inclinação mais acentuada. Isto poderá querer dizer que são necessários ajustamentos nos percursos com o intuito de minimizar os custos com os combustíveis (Alam et al, 2014).

Outro ponto importante é reconhecer que a inclinação influencia a emissão de poluentes locais. Naturalmente, os transportes públicos reduzem o total das emissões de poluentes em g/passageiro.km, uma vez que minimizam a utilização do transporte individual (20 passageiros podem ser transportados por 4 veículos particulares ou 1 veículos pesados de passageiros da HF). Assim, uma cidade com orografia sinuosa poderá ter problemas acrescidos com a poluição derivada dos transportes.

Este estudo demonstrou que a inclinação pode ser uma causa para problemas tanto de natureza operacional, como económica e ambiental.

Um elemento que deverá ser considerado numa abordagem futura é verificar de que maneira as condições de manutenção da empresa afetam o consumo, ou de que modo o desgaste provocado pelo declive afeta o consumo a longo prazo. Por outro lado, poderá ser igualmente avaliado o perfil de condução dos motoristas no consumo e ser criado um manual de eco condução que facilite o problema ligado ao perfil de condução dos condutores. As três hipóteses para reduzir os consumos – manutenção dos veículos operacionais, otimização das rotas e perfil de condução – foram facultadas aos gestores operacionais da empresa para futuros estudos.

Outros dois aspetos que podem ser mencionados são os da gestão urbanística e dos apoios europeus ou estatais, no que diz respeito a empresas de transportes de passageiros. Sendo a cidade do Funchal de peculiar orografia, algumas alterações de percursos podem ter impacto no consumo de combustíveis tanto ao nível de transportes públicos como de privados.

Este trabalho deparou-se com uma limitação importante: os constrangimentos dos fatores de emissão da metodologia VSP. Assim, um trabalho futuro poderia envolver as emissões de toda a frota num estudo mais exaustivo que possibilitasse determinar rotas em que as emissões fossem menos significativas - é de notar que a extensão da rede das HF atinge os 199km e que podem ocorrer ajustamentos neste nível (Horários do Funchal, 2013). Assim, é de salientar que existe maior fiabilidade nos valores relativos (percentagem de variação de emissões) entre cenários do que nos valores

EFEITO DA INCLINAÇÃO NO DESEMPENHO DE VEÍCULOS PESADOS DE PASSAGEIROS

absolutos de emissões, uma vez que para veículos pesados de passageiros só se possui valores de fatores de emissão para um determinado tipo de autocarro.

Os dados da HF apontam para uma taxa de ocupação média de 17% para uma lotação média de 77 lugares (Horários do Funchal, 2013), ou seja, há uma larga margem para crescer o número de passageiros transportados ou isto poderá querer implicar a substituição de veículos de grande envergadura por outros de menor dimensão. Outro ponto importante prende-se com o perfil de condução dos motoristas. A sua agressividade pode influenciar os consumos. Uma forma de promover a eco condução será medir os valores concretos do impacte da aceleração nos consumos (Jayaratne et al, 2010).

6. Referências bibliográficas

- Ahsan Alam, Hatzopoulou M., Reducing Transit Bus Emissions: Alternative Fuels or Traffic Operations *Atmospheric Environment*, Vol. 89, 2014, p 129-139,[Consulta 20 Março de 2014].
- Saari Arto, Lettenmeier M., Pusenius K., Hakkarainen E. Influence of vehicle type and road category on natural resource consumption in road transport. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Vol. 12, 2007, p 23-32,[Consulta 22 Março de 2014].
- Carrese, Gemma A., La Spada S., Impacts of driving behaviours, slope and vehicle load factor on bus fuel consumption and emissions: a real case study in the city of Rome. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Vol. 87, 2013, p 211-221, [Consulta 20 Março de 2014].
- Diesel Net. European Union, ECOpoint Inc.* Disponível <http://www.dieselnat.com>:
<http://www.dieselnat.com/standards/eu/hd.php>
- Duarte G. O., Gonçalves G.A., Farias T.L. Vehicle monitoring for driver training in bus companies – Application in two case studies in Portugal. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Vol. 18, 2013, p 103-109 ,[Consulta 15 Abril de 2014].
- EEA. (2010). *Annual report 2010 and Environmental statement 2011*. European Environment Agency.
- EEA. (2011). *Transport indicators tracking progress towards environmental targets in Europe*. European Environment Agency.
- Eliiyia U., Nasibov E., Ozkılıç M., Kuvvetli U. Minimization of fuel consumption in city bus transportation: A case study for Izmir. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, pp. Vol. 54, 2014, p. 231-239, [Consulta 18 Março de 2014].
- European Environment Agency*. (Dezembro de 2011). Obtido de AEA, Agência Europeia do Ambiente: <http://www.eea.europa.eu/themes/air>
- Frey H.C., Roupail N.M., Zhai H., Farias T.L., Gonçalves G.A. Comparing real-world fuel consumption for diesel- and hydrogen-fueled transit buses and implication for emissions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, pp. Vol. 12, 2007, p 281-291 [Consulta 17 Junho de 2014].
- Horários do Funchal. (2013). *Relatório e Contas*. Funchal: Horários do Funchal e Transportes Públicos, SA.
- Horarios do Funchal*. (Junho de 2014). Obtido de www.horariosdofunchal.pt:
http://www.horariosdofunchal.pt/index.php?option=com_content&task=view&id=37&Itemid=54
- Huan Liu, Barth M. Identifying the effect of vehicle operating history on vehicle running emissions. *Atmospheric Environment*, pp. Vol. 59, 2012, pag 22-29.
- Paravantis J.A., Georgakellos D.A. Trends in energy consumption and carbon dioxide emissions of passenger cars and buses. *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 74, 2007, p 682-707.
- Jayarathne E.R., Ristovski Z.D., Morawska L., Meyer N.K.. Carbon dioxide emissions from diesel and compressed natural gas buses during acceleration. *Transportation Research Part D Transport and Environment*, Vol.15, 2010, pag247-253, [Consulta 12 Abril de 2014].

EFEITO DA INCLINAÇÃO NO DESEMPENHO DE VEICULOS PESADOS DE PASSAGEIROS

- Serrano L.M.V., Câmara R.M.O, Carreira V.J.R., Gameiro da Silva M.C. Performance study about biodiesel impact on buses engines using dynamometer tests and fleet consumption data. *Energy Conversion and Management*, pp. Vol. 60, 2012, pag 2-9 [Consulta 19 Março de 2014].
- Menezes, E. R. (2006). *DETERMINAÇÃO DO DECLIVE MÉDIO DA REDE URBANA DA HF*. Funchal: Gabinete de Estudos e Planeamento .
- Ntziachristos L., Samaras Z. (Maio de 2012). EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook. *European Environment Agency*, pp. 41-42.
- Paravantis J.A., Georgakellos D.A. Trends in energy consumption and carbon dioxide emissions of passenger cars and buses. *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 74, 2007, p 682-707 [Consulta 12 junho de 2014].
- qstarz beyond navigation*. (Junho de 2014). Obtido de <http://www.qstarz.com:> <http://www.qstarz.com/Products/GPS%20Products/BT-Q1000XT-F.htm>
- Wyatt D.W., Li H., Tate J.E. The impact of road grade on carbon dioxide (CO₂) emission of a passenger vehicle in real-world driving. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2014 pp. 160-170.
- Zhaoa Y., Sadek A.W. Computationally-efficient Approaches to Integrating the MOVES Emissions Model with Traffic Simulators. *Procedia Computer Science*, pp. Volume 19, 2013 pag 882-887, [Consulta 20 Março de 2014].
- Zhang H., Kota S.H., Chen G., Schade G.W., Ying Q. Evaluation of on-road vehicle CO NO_x National Emission Inventories using an Urban-scale source-oriented air quality model. *Atmospheric Environment*, pp. Vol. 85, 2014, pag 99-108.
- Zhai H., Frey H.C., Roupail N.M. A Vehicle-Specific Power Approach to Speed- and Facility-Specific Emissions Estimates for Diesel Transit Buses. *Environ. Sci. Technol.*, pp. Vol. 42, 2008, pag 7985-7991.
- Zhang S., Wu Y., Liu H., Huang R., Yang L., Li Z., Fu L., Hao J. Real-world fuel consumption and CO₂ emissions of urban public buses in Beijing. *Applied Energy*, pp. Vol. 113, 2014, p 1645-1655. Obtido de Sciencedirect: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261913007642>

7. Anexos

Anexo A – Exemplo da tabela de dados fornecidos pelo GPS

Devido ao enorme número de caracteres e de valores retirados pelo GPS, fica aqui apresentado um excerto dos testes efetuados.

INDEX	LOCAL TIME	LATITUDE	N/S	LONGITUDE	E/W	ALTITUDE	SPEED	HEADING
1	15:15:59	32,64698	N	16,91051	W	54,260254	0,736294	113,67
2	15:16:00	32,64691	N	16,910339	W	55,684074	2,312917	135,979603
3	15:16:01	32,6469	N	16,910325	W	55,305218	1,616096	223,931783
4	15:16:02	32,64688	N	16,910349	W	55,45768	2,242238	204,816237
5	15:16:03	32,64686	N	16,910362	W	54,185467	2,639251	227,320331
6	15:16:04	32,64683	N	16,910394	W	54,020191	6,128284	236,270365
7	15:16:05	32,64681	N	16,910429	W	52,910313	10,175364	229,89562
8	15:16:06	32,64678	N	16,910471	W	51,555092	14,355995	239,40011
9	15:16:07	32,64676	N	16,910519	W	51,042309	17,245634	240,11226
10	15:16:08	32,64673	N	16,910574	W	50,895306	20,067335	245,986321
11	15:16:09	32,64671	N	16,910644	W	51,109898	23,72695	254,660007
12	15:16:10	32,64669	N	16,910729	W	51,718983	27,348318	256,356106
13	15:16:11	32,64667	N	16,910806	W	52,174911	26,611206	251,068779
14	15:16:12	32,64665	N	16,910877	W	53,72324	28,413319	257,290802
15	15:16:13	32,64663	N	16,910957	W	54,822952	29,710608	249,361558
16	15:16:14	32,64661	N	16,911039	W	55,828663	30,141388	247,691449
17	15:16:15	32,64658	N	16,911123	W	55,971382	32,611649	245,371345
18	15:16:16	32,64654	N	16,911217	W	56,480846	35,282291	243,679559
19	15:16:17	32,6465	N	16,911315	W	57,081001	34,4753	245,774315
20	15:16:18	32,64647	N	16,911404	W	57,111683	29,590801	245,56835
21	15:16:19	32,64644	N	16,91148	W	56,340977	26,050705	243,702912
22	15:16:20	32,64641	N	16,911547	W	56,11895	24,609076	246,455687
23	15:16:21	32,64639	N	16,911618	W	55,81266	25,641832	245,592874
24	15:16:22	32,64636	N	16,911687	W	55,873611	23,62154	242,500327
25	15:16:23	32,64633	N	16,911748	W	55,839615	22,795347	244,002004

Figura 19 – Dados fornecidos pelo GPS

EFEITO DA INCLINAÇÃO NO DESEMPENHO DE VEICULOS PESADOS DE PASSAGEIROS

Anexo B - Exemplo do tratamento de dados e metodologia VSP

O anexo B mostra um pequeno exemplo da folha de cálculo utilizada para calcular os valores das emissões poluentes.

Através dos dados recolhidos pelo GPS, nomeadamente a velocidade e a altitude, foi fácil encontrar a aceleração e a inclinação do percurso, sendo assim temos todas as variáveis (velocidade, aceleração e o angulo da inclinação), para utilizar a metodologia VSP.

Time	Speed [km/h]	Speed [m/s]	Acceleration [m/s ²]	Distance [m]	Altitude [m]	Change Altitude [m]	Sloap	VSP	Mode	CO ₂	CO	NOX	HC
1	0,736294	0,20	0,00	0	54,260254	0	0	0,00	3	12,5	0,045	0,18	1,75
2	2,312917	0,64	0,44	0,205	55,684074	1,4238	-1,328222713	-5,78	1	2,4	0,009	0,04	1,23
3	1,616096	0,45	-0,19	0,847	55,305218	-0,3789	-1,124506255	-4,02	1	2,4	0,009	0,04	1,23
4	2,242238	0,62	0,17	1,296	55,45768	0,1525	0,249792808	1,68	2	7,8	0,036	0,13	1,7
5	2,639251	0,73	0,11	1,919	54,185467	-1,2722	6,022904938	-1,70	1	2,4	0,009	0,04	1,23
6	6,128284	1,70	0,97	2,652	54,020191	-0,1653	-0,097395981	0,18	2	7,8	0,036	0,13	1,7
7	10,175364	2,83	1,12	4,354	52,910313	-1,1099	-0,414179563	-7,72	1	2,4	0,009	0,04	1,23
8	14,355995	3,99	1,16	7,181	51,555092	-1,3552	-0,353561119	-8,53	1	2,4	0,009	0,04	1,23
9	17,245634	4,79	0,80	11,168	51,042309	-0,5128	-0,107453394	-0,73	1	2,4	0,009	0,04	1,23
10	20,067335	5,57	0,78	15,959	50,895306	-0,1470	-0,026377868	3,47	3	12,5	0,045	0,18	1,75
11	23,72695	6,59	1,02	21,533	51,109898	0,2146	0,032570739	9,47	6	24,8	0,091	0,26	2,05
12	27,348318	7,60	1,01	28,124	51,718983	0,6091	0,080349241	14,41	8	29,5	0,062	0,31	2,15
13	26,611206	7,39	-0,20	35,721	52,174911	0,4559	0,06175689	3,72	3	12,5	0,045	0,18	1,75
14	28,413319	7,89	0,50	43,113	53,72324	1,5483	0,198730983	20,06	8	29,5	0,062	0,31	2,15
15	29,710608	8,25	0,36	51,005	54,822952	1,0997	0,13404513	14,67	8	29,5	0,062	0,31	2,15
16	30,141388	8,37	0,12	59,258	55,828663	1,0057	0,120700278	11,78	7	27,6	0,084	0,28	2,08
17	32,611649	9,06	0,69	67,631	55,971382	0,1427	0,015756054	8,60	6	24,8	0,091	0,26	2,05
18	35,282291	9,80	0,74	76,690	56,480846	0,5095	0,05202962	13,36	8	29,5	0,062	0,31	2,15
19	34,4753	9,58	-0,22	86,490	57,081001	0,6002	0,062751912	4,80	4	17,1	0,072	0,22	1,84
20	29,590801	8,22	-1,36	96,067	57,111683	0,0307	0,003732772	-9,98	1	2,4	0,009	0,04	1,23
21	26,050705	7,24	-0,98	104,286	56,340977	-0,7707	-0,10690998	-13,95	1	2,4	0,009	0,04	1,23
22	24,609076	6,84	-0,40	111,523	56,11895	-0,2220	-0,032491199	-4,22	1	2,4	0,009	0,04	1,23
23	25,641832	7,12	0,29	118,359	55,81266	-0,3063	-0,043028289	-0,23	1	2,4	0,009	0,04	1,23
24	23,62154	6,56	-0,56	125,481	55,873611	0,0610	0,009289399	-2,42	1	2,4	0,009	0,04	1,23
25	22,795347	6,33	-0,23	132,043	55,839615	-0,0340	-0,005368937	-1,15	1	2,4	0,009	0,04	1,23

Figura 20 – Folha de cálculo da metodologia VSP