

THAYANE DOS SANTOS MOLARES D'ABRIL

**DEFINIÇÃO DE UMA REDE DE
RECENSEAMENTO DE TRÁFEGO PARA A REDE
FUNDAMENTAL DE ESTRADAS DE ANGOLA**

Orientador: Doutor João Paulo Lourenço Cardoso

Co-orientador: Doutor Carlos Pedro Pinto de Almeida Roque

Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias

Faculdade de Engenharia

Lisboa

2015

THAYANE DOS SANTOS MOLARES D'ABRIL

**DEFINIÇÃO DE UMA REDE DE
RECENSEAMENTO DE TRÁFEGO PARA A REDE
FUNDAMENTAL DE ESTRADAS DE ANGOLA**

Dissertação defendida em provas públicas na Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias, no dia 27 de abril de 2015, perante o júri, nomeado pelo Despacho de Nomeação nº: 502/2014, de 2 de abril de 2015, com a seguinte composição:

Presidente:

Prof. Engenheiro José Teixeira Trigo - Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias

Arguente:

Prof. Doutor Filipe Manuel Mercier Vilaça e Moura - Instituto Superior Técnico

Vogal:

Prof.^a Doutora Sandra Cristina Gil Vieira Gomes - Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias

Orientador:

Doutor João Paulo Lourenço Cardoso - Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias

Faculdade de Engenharia

Lisboa

2015

Agradecimentos

É com muita satisfação que agradeço a todos aqueles que me apoiaram e tornaram possível a realização deste trabalho.

Ao Doutor João Lourenço Cardoso, do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, meu orientador científico, por todo o tempo disponibilizado ao longo do trabalho, pelo apoio incondicional e empenho na realização do trabalho. É uma pessoa pela qual ganhei enorme admiração e respeito, pelo carisma e sabedoria demonstrados e por tudo o que me ensinou durante este tempo de convivência

Ao Doutor Carlos Almeida Roque, meu co-orientador e professor, por toda a disponibilidade e apoio demonstrados desde o início do trabalho e por me ter sempre incentivado a querer chegar mais longe e a ultrapassar os meus limites. Agradeço por todos os comentários, sugestões, conselhos, correções e principalmente por tudo aquilo que me aprendi fora do contexto do trabalho. Devo dizer que este último ano foi uma grande experiência de engrandecimento pessoal, da qual sempre me irei recordar com imenso orgulho, uma vez que me tornou mais exigente, rigorosa, profissional e autocrítica. Um muito obrigado do fundo do meu coração professor, por me fazer perceber que o céu é o limite.

Aos meus pais, quero agradecer todo o carinho, apoio, dedicação, afeto e motivação ao longo da minha vida e do meu percurso académico. Quero agradecer pela presença e acompanhamento em todas as etapas da minha vida, por me mostrarem sempre o caminho certo, pelo esforço de toda uma vida para me proporcionarem o melhor e a possibilidade de chegar até aqui. Todos os estes fatores foram determinantes na conclusão desta etapa tão importante da minha vida, pelo que ser-lhes-ei eternamente grata por tudo aquilo que hoje sou e por terem tornado este sonho possível. Às minhas avós Emília e Annie (ambas em memória), por serem um exemplo para mim ao longo de toda a minha vida. Estes são os meus pilares e a eles dedico este trabalho, porque sei que a minha alegria é a alegria deles.

Ao Clesio, por todo o amor, carinho, companheirismo e apoio prestado ao longo da realização deste trabalho. Agradeço a forma incansável com que sempre me incentivou durante este período, por nunca me ter deixado desistir perante as batalhas diárias e principalmente pelas horas de companhia e por ter tornado este tempo mais leve e descontraído.

Quero agradecer aos meus amigos e companheiros de estudo que sempre me apoiaram, motivaram e acompanharam ao longo de todo este processo. Ao Etiane, Marco e Edivan um obrigado muito especial, por todos os bons momentos que passamos juntos ao longo destes últimos anos, por todas as diretas e horas passadas na biblioteca a estudar, por todas as batalhas que travamos juntos e por todas as alegrias que tivemos, são sem dúvida irmãos para a vida. Aos meus colegas, cuja amizade nunca me hei-de esquecer, Henriques, Odair, Márcio Pinheiro, Filipe, José, Osvaldo, Márcio Bernardo, Hendrick, Gironde, Sara, Gi, Inês, Ana, Djaló, Tony, Pedro António, Alex, Nuno Furtado. Aos meus melhores amigos também quero agradecer por todo o apoio, incentivo e carinho demonstrados ao longo do tempo, Maurilson, Nicolle, Agnела, Alexandra e Camila.

Por último, quero agradecer aos colegas do LNEC, principalmente aos do Núcleo de Planeamento, Tráfego e Segurança por todo o apoio prestado e por me acolherem de forma tão simpática ao longo do último ano.

Resumo

O conhecimento dos volumes de tráfego que circulam numa rede viária é de extrema importância no domínio dos estudos rodoviários, nomeadamente em tarefas de planeamento e previsão de tráfego, no dimensionamento e manutenção de pavimentos, em estudos de segurança rodoviária e na análise de congestionamentos. Tradicionalmente, a medição desses volumes tem sido feita por meio de contagens de tráfego, manuais ou automáticas.

O objetivo genérico do presente trabalho é delinear um método para definir uma rede de recenseamento de tráfego para a rede fundamental de estradas de Angola.

Para tal, foi desenvolvido um método baseado na programação linear inteira com variáveis binárias, para seleção dos trechos onde mais eficientemente poderão ser instalados os postos de contagem de tráfego. Dada a falta de dados tráfego, na metodologia foram utilizados na metodologia dados demográficos e dados geométricos dos trechos para definição da função objetivo. Consideraram-se três tipos de postos de contagem de tráfego, adaptados à realidade angolana atual.

A metodologia foi testada mediante a aplicação à rede rodoviária de três províncias (Luanda, Bengo e Cuanza Norte), totalizando 125 trechos de estrada, correspondentes a cerca de 3208 km, o que permitiu estimar qual o seu valor recomendável, mediante análise de sensibilidade.

Palavras-chave: volume de tráfego, rede de recenseamento de tráfego, programação linear inteira, postos de contagem.

Abstract

Knowledge on the traffic that flows in a road network is important for managing road operations and its design in road studies, including: planning and traffic forecasting tasks, design and maintenance of pavements, road safety studies, congestion analysis, among others. Traditionally, traffic volumes have been collected through manual and automatic traffic counts.

This dissertation aims at defining a traffic data collection system for the trunk road network of Angola, taking into account the current absence of traffic data.

With this purpose a procedure was developed to define the network, using an integer linear programming with binary variables. This procedure selects the set of links in the road network that will contain the traffic counting stations. With the current lack of traffic data and absence of geographic distribution of economic data, demographics and geometric data on each road link were used to define objective function. Three types of counting stations were considered as currently applicable in Angola.

The procedure was testes in three provinces (Luanda, Bengo e Cuanza Norte), totaling 125 road links (3208 km). Sensitivity analysis of the target budget was carried out, to estimate the optimum amount of investment needed for traffic flow measurement in the three provinces.

Keywords: traffic flows, traffic data collection system, integer linear programming, counting stations.

Abreviaturas, siglas e símbolos

AASHTO – *American Association of State Highway and Transportation Officials*

AVI – *Automatic Vehicle Identification* (Identificação automática de veículo)

BL – *Brass Linguini*

Dens. Pop. – Densidade Populacional

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte

EP – Estradas de Portugal, SA

F.O. – Função Objetivo

FPH – Fator de Ponta Horário

ILD – *Inductive Loop Detector* (Detetor de Espira Indutiva)

IMTT – Instituto de Mobilidade e Transportes Terrestres

INEA – Instituto Nacional de Estradas de Angola

Inv. – Investimento

IST – Instituto Superior Técnico

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

MPRE – *Maximum Possible Relative Error* (Máximo Erro Relativo Possível)

OD – Origem-Destino

PL – Programação Linear

PLI – Programação Linear Inteira

PLIM – Programação Linear Inteira Mista

PLIP – Programação Linear Inteira Pura

Pop. – População

SLP – *Sensor Location Problem* (Problema de Localização de Sensores)

TCLP – *Traffic count Location Problem* (Problema de Localização de Contagens de Tráfego)

TMD – Tráfego Médio Diário

TMDA – Tráfego Médio Diário Anual

TRB – *Transportation Research Board*

VHP – Volume Horário de Ponta

WIM - *Weigh in Motion* (Pesagem em movimento)

Índice

1. Introdução	1
1.1. Enquadramento.....	1
1.2. Objetivos do trabalho	2
1.3. Metodologia e estrutura do trabalho.....	2
2. Recolha de dados de tráfego.....	4
2.1. Conceitos.....	5
2.1.1. Volume de tráfego	5
2.1.2. Velocidade.....	9
2.1.3. Densidade	10
2.1.4. Relação entre volume, velocidade e densidade	10
2.1.4.1. Relação entre volume e velocidade	11
2.2. Tipos de contagens de tráfego	12
2.2.1. Contagens de cobertura	12
2.2.2. Contagens esporádicas	14
2.3. Técnicas de recolha de dados de tráfego	14
2.3.1. Técnicas intrusivas	15
2.3.1.1. Tubos pneumáticos.....	17
2.3.1.2. Espiras eletromagnéticas	19
2.3.1.3. Detetores magnéticos	22
2.3.1.4. Sensores de fibra ótica.....	24
2.3.1.5. Sistemas WIM “Weight in Motion”	27
2.3.1.5.1. Sensores de capacitância	31
2.3.1.5.2. Placas de dobragem	33
2.3.1.5.3. Células de carga hidráulica.....	35
2.3.2. Técnicas não intrusivas	37
2.3.2.1. Sistemas de deteção de imagens vídeo	40
2.3.2.2. Radares de micro-ondas	44
2.3.2.3. Sistemas de infravermelhos.....	47
2.3.2.3.1. Sensores de infravermelhos passivos	48
2.3.2.3.2. Sensores de infravermelhos ativos	49
2.3.2.4. Sistemas de deteção a laser	51

2.3.2.5.	Sistemas acústicos passivos.....	52
2.3.2.6.	Sistemas de ultrassons	54
2.3.2.7.	Dispositivos de identificação de veículos.....	56
2.3.2.8.	Recolha manual de dados	57
2.3.2.8.1.	Inquéritos de tráfego.....	61
2.3.2.8.2.	Composição e qualificação das equipas de operadores	63
2.3.1.	Comparação das técnicas de classificação de veículos	64
3.	Metodologia para a definição de uma rede de recenseamento de tráfego	68
3.1.	Generalidades	68
3.2.1.	Programação linear inteira.....	72
3.3.	Metodologia adotada	83
3.3.1.	Descrição dos dados	85
3.3.2.	Resolução do modelo	93
3.3.3.	Resultados obtidos.....	100
3.4.	Proposta da rede	104
4.	Conclusões	106
4.1.	Desenvolvimentos futuros	108
	Bibliografia	111
	ANEXOS.....	114

Índice de Figuras

Figura 1 – Relação entre volume, densidade e velocidade (IST, 2006).	12
Figura 2 - Anomalia no campo magnético induzido pelo dipolo magnético (DNIT, 2007).	22
Figura 3 – Magnetómetro de fluxo biaxial (DNIT, 2007).	23
Figura 4 – Magnetómetro de indução. (a) Detetor e (b) Aparelho eletrónico associado (Klein et al., 2006).	24
Figura 5 – Cabos de fibra ótica (Halvorsen & Motzko, 2000).	25
Figura 6 – Instalação dos sensores de fibra ótica (Halvorsen & Motzko, 2000).	26
Figura 7 – Tapetes de capacitância (Mimbela e Klein, 2000).	31
Figura 8 – Sistemas de deteção de imagens de vídeo “Tripline”. (a) Autoscope 2004. (b) Autoscope Solo (Klein et al., 2006).	41
Figura 9 – Processador de imagens de vídeo “Closed-loop tracking” (Klein et al., 2006).	42
Figura 10 – Máxima distância entre dois veículos para a qual eles podem ser distinguidos (Klein et al., 2006).	44
Figura 11 – Radar doppler de onda contínua ASIM DT 281 (Klein et al., 2006).	46
Figura 12 – Modo de funcionamento dos radares FMCW (Adaptado de (Klein et al., 2006). ...	46
Figura 13 – Sensores de infravermelhos passivos. (a) Eltec 842. (b) ASIM IR série 250 (Klein et al., 2006).	48
Figura 14 – Sensores infravermelhos passivos de zonas múltiplas (Klein et al., 2006).	49
Figura 15 – Geometria dos feixes de deteção de um sensor de laser (Adaptado de Klein et al., 2006).	50
Figura 16 – Sensor de laser Autosense II (Klein et al., 2006).	51
Figura 17 – Sensor acústico passivo SAS-1 (Klein et al., 2006).	53
Figura 18 – Detetor de impulsos ultrassónicos TC-30C (Mimbela e Klein, 2000).	54
Figura 19 - Possíveis localizações dos sensores de ultrassons (Klein et al., 2006).	55

Figura 20 – Gráfico representativo da repartição dos motivos das viagens (IMTT, 2011).....	63
Figura 21 – Mapa de estradas de Luanda, Bengo e Cuanza Norte.....	84
Figura 22 – Gráficos das quatro funções estudadas. (a) Comprimento. (b) Densidade Populacional x km. (c) População/km x km. (d) %População Nacional x km.	89
Figura 23 – Utilidade do tempo em função dos dias.....	91
Figura 24 – Utilidade em função da exatidão.....	93
Figura 25 – Análise de sensibilidade.....	102
Figura 26 – Análise de sensibilidade.....	104
Figura 27 – Rede proposta	105

Índice de Quadros

Quadro 1 - Valores usuais para as constantes K e D (TRB, 2000).....	7
Quadro 2 - Exemplo de cálculo do débito (Adaptado de IST, 2006).....	8
Quadro 3 – Categorias de veículos a considerar na contagem manual	59
Quadro 4 – Comparação das técnicas intrusivas.....	65
Quadro 5 – Comparação das técnicas não intrusivas	66
Quadro 6 – Quadro ilustrativo da aplicação do método Simplex por tabelas	78
Quadro 7 – Parâmetros de cada província.....	87
Quadro 8 – Utilidade de cada província.....	88
Quadro 9 – Categorias de exatidão associadas aos métodos de contagem. (Adaptado de Road Research Laboratory, 1965)	92
Quadro 10 – Custo calculados para os três tipos de postos de contagem.....	97
Quadro 11 – Resumo do cálculo do máximo da função objetivo.....	98
Quadro 12 – Restrição do número de postos do tipo I em cada província.....	98
Quadro 13 – Restrição do número de postos do tipo I em cada província.....	98
Quadro 14 – Resultados	101
Quadro 15 – Valor absoluto da função objetivo.....	102
Quadro 16 – Valor máximo da função objetivo em termos de percentagem	104

1. Introdução

1.1. Enquadramento

O conhecimento dos volumes de tráfego que circulam numa rede viária e a sua variação temporal são fundamentais para a realização de grande parte dos estudos de Engenharia de Tráfego Rodoviário, sejam estes, estudos de planeamento, de desenvolvimento de projetos de infraestruturas rodoviárias ou de gestão e manutenção de infraestruturas novas ou já existentes.

Os estudos de tráfego consistem na caracterização das correntes de tráfego constituídas por um conjunto de veículos, durante um período de tempo padrão numa determinada secção. Para realizar estes estudos é necessário que haja uma rede de recenseamento de tráfego bem definida, composta por uma rede de recolha de dados de tráfego que funcione de forma eficiente e seja capaz de gerar dados fidedignos, cuja análise e tratamento, produzirá resultados com margens de erro aceitáveis.

Um sistema de transporte rodoviário eficiente é essencial para o desenvolvimento e bom funcionamento de um país, pois é necessário assegurar que a circulação de pessoas e bens pelo território se faça de forma segura, económica e eficaz. No caso particular de Angola, uma parcela muito significativa do transporte de pessoas e mercadorias é feito através do transporte rodoviário, sendo por isso necessário que a entidade reguladora disponha de dados referentes a essa movimentação, para efeitos de planeamento, gestão e manutenção da rede.

Tendo em conta estas necessidades e a inexistência de uma rede de recolha de dados de tráfego em Angola, o objetivo do presente trabalho é delinear uma metodologia para definir uma rede de recolha de dados, que seja capaz de abranger numa fase inicial os principais elementos da malha rodoviária, ou seja, os centros populacionais e as vias mais relevantes.

Angola é um país situado na Costa Ocidental de África, limitado a Norte e a Nordeste pela República Democrática do Congo, a Leste pela Zâmbia, a Sul pela Namíbia e a

Oeste pelo Oceano Atlântico. Ocupa uma área de 1.246.700 km² e tem cerca de vinte e um milhões de habitantes, estando dividida administrativamente em dezoito províncias. É um país que tem apresentado nos últimos anos um elevado crescimento a todos os níveis, tanto ao nível socioeconómico como ao nível de desenvolvimento de infraestruturas. No caso particular das infraestruturas rodoviárias, nos últimos anos tem sido feito um grande investimento, não só na criação de novas infraestruturas como na reabilitação e melhoria das já existentes, tendo como objetivo ligar por terra todas as regiões do país para facilitar a livre circulação de pessoas e bens.

Para acompanhar tal desenvolvimento torna-se necessário dotar as infraestruturas de sistemas eficientes de controlo e gestão de tráfego para garantir o bom funcionamento da rede.

1.2. Objetivos do trabalho

O objetivo do presente trabalho é delinear um método para definir uma rede de recenseamento de tráfego para a rede fundamental de estradas de Angola, tendo em conta a inexistência de dados de tráfego.

Uma vez que se trata de um país em crescente desenvolvimento, a globalização torna a competitividade da economia fortemente dependente da eficácia e eficiência dos sistemas de transporte de mercadorias. Deste modo, existe cada vez mais a necessidade de se primar pelo rigor e qualidade dos projetos ao nível de infraestruturas rodoviárias, tendo em vista o cumprimento das exigências funcionais ao longo da sua vida útil, pelo que é importante que essas infraestruturas sirvam e cubram de forma eficiente a procura de tráfego existente. Para tal, importa conhecer os níveis presentes de tráfego e estimar a sua evolução provável.

1.3. Metodologia e estrutura do trabalho

Foi já referido que o objetivo do presente trabalho é elaborar um método para definir uma rede de recenseamento de tráfego para as estradas de Angola. Para responder a esse objetivo foram definidas as seguintes atividades:

1. Recolha bibliográfica de estudos relativos à definição de uma rede de recenseamento de tráfego, tendo em conta o facto de atualmente não haver dados de tráfego disponíveis em Angola.
2. Levantamento de dados representativos das características do País e da sua rede rodoviária.
3. Levantamento das principais técnicas de recolha de dados de tráfego.
4. Desenvolvimento do método e seu teste mediante a definição da rede de recenseamento de tráfego, de três províncias piloto, com base nos dados obtidos.
5. Estimativa do custo mais favorável, através da análise de custos admitindo diferentes cenários para a rede de recenseamento de tráfego.

A estrutura da tese baseia-se na metodologia apresentada acima, embora as etapas de análise acima descritas não reflitam integralmente a sua forma. Deste modo, o presente trabalho é composto por 4 capítulos.

Neste primeiro capítulo é feito o enquadramento do estudo, sendo definidos os objetivos principais.

No capítulo 2 são apresentados aspetos referentes à recolha de dados de tráfego, nomeadamente, os conceitos relevantes para a caracterização das correntes de tráfego, o tipo de contagens com base na duração das mesmas e a caracterização das principais técnicas de contagens de tráfego.

O capítulo 3 refere-se ao objetivo principal do presente trabalho. Começa-se por apresentar o estado-da-arte, de seguida os conceitos teóricos que fundamentam o método aplicado e a justificação dos cálculos efetuados e dos resultados obtidos. Neste capítulo foram também apresentados vários cenários possíveis e foi feita uma análise de sensibilidade, para a escolha da melhor solução a adotar.

O capítulo 4 apresenta as principais conclusões do tema estudado. São ainda referidas as limitações verificadas, potenciais melhorias à metodologia proposta bem como as considerações acerca de desenvolvimentos futuros. Por último, é apresentada a bibliografia e os anexos.

2. Recolha de dados de tráfego

O crescente desenvolvimento das sociedades e a alteração dos seus padrões de mobilidade criam a necessidade de elaborar estudos detalhados sobre as condições de tráfego existentes e previsíveis, tendo em vista a melhoria das condições de serviço das infraestruturas existentes e o correto dimensionamento da rede e das suas novas infraestruturas. Os estudos de tráfego são de extrema importância e constituem um dos principais instrumentos do qual a engenharia de tráfego se serve para atuar em diversas áreas, tais como o projeto de infraestruturas de transporte, o planeamento de transportes, a gestão e controlo de tráfego, a segurança rodoviária, entre outros.

Na elaboração destes estudos é essencial dispor da máxima informação possível, obtida através de uma eficaz e conveniente recolha de dados. Com os crescentes avanços tecnológicos nas áreas de informática e comunicações, os equipamentos de medição apresentam maior fiabilidade e exatidão, à semelhança das operações de processamento e tratamento de dados que se tornaram também mais simples (Costa, 2008).

Fundamentalmente, a recolha de dados de tráfego pode ser feita através de contagens manuais e automáticas efetuadas em diversos pontos ao longo da rede. Outro recurso importante na recolha de dados são os inquéritos de tráfego efetuados aos utentes a fim de saber a origem da sua viagem e o respetivo destino e que permitem estimar as matrizes OD (origem-destino) que representam um instrumento importante no planeamento de redes, pois através das mesmas é possível conhecer a natureza dos deslocamentos dos utentes das redes (Costa, 2008). De acordo com (Chen et al., 2007), as contagens de tráfego representam uma ferramenta importante para o controlo e gestão do tráfego, pois medem o número de veículos que passam por um ponto ou posto de medição (no caso das contagens automáticas) durante um determinado período de tempo e são geralmente efetuadas para se medir características de tráfego como o tráfego médio diário anual (TMDA), o tráfego médio diário (TMD) o volume de ponta horário (VPH), entre outros.

Dependendo do estudo que se pretende fazer, as contagens manuais e automáticas permitem obter os volumes de tráfego que circulam nas várias secções da rede, os tipos de veículos que pelas mesmas circulam, os tempos de viagem efetuados, os locais onde se

concentram os acidentes, as vias mais solicitadas em termos de tráfego, as zonas de origem do tráfego bem como os respetivos destinos, podendo-se assim determinar as linhas de desejo de passageiros e de mercadorias (Costa, 2008).

Tendo conhecimento dos dados de tráfego real e de um modelo de geração e distribuição desse tráfego, é possível obter o prognóstico da procura de tráfego no futuro, que representa um dado essencial no planeamento da rede (DNIT, 2006).

2.1. Conceitos

O tráfego rodoviário é constituído pelos condutores e pelos veículos interagindo entre si bem como com outros elementos da via e do ambiente em redor.

Os parâmetros caracterizadores dos fluxos de tráfego podem ser classificados em duas grandes categorias: *parâmetros macroscópicos* que caracterizam os fluxos de tráfego como um todo e *parâmetros microscópicos* que caracterizam os comportamentos individuais de cada um dos veículos face aos outros. (IST, 2006, Costa, 2008)

No presente trabalho serão apenas abordados parâmetros macroscópicos, nomeadamente, o volume de tráfego, a velocidade e a densidade.

2.1.1. Volume de tráfego

O volume de tráfego também designado por fluxo de tráfego, corresponde ao padrão de veículos que passa por uma determinada secção da via durante um intervalo de tempo. É geralmente expresso em veículos por unidade de tempo. A medição direta deste parâmetro por contagem de veículos é fundamental para a resolução de variados tipos de problemas da rede rodoviária (IST, 2006, Costa, 2008).

O volume de tráfego varia ao longo do tempo, nomeadamente, ao longo dos anos, meses, semanas, dias e até horas em períodos sub-horários. Nas regiões em desenvolvimento, o volume de tráfego tende a aumentar anualmente, exigindo assim a previsão através de modelos adequados, dos volumes de tráfego futuros para que as infraestruturas sejam

dimensionadas de forma adequada a suportar as cargas a que estarão sujeitas e dar resposta à procura dos seus utentes.

2.1.1.1. Volumes diários

Os volumes de tráfego variam ao longo dos dias da semana, sendo as variações mais expressivas entre os dias úteis e os fins-de-semana (sábado e domingo). Entre estes volumes, destacam-se os seguintes:

Tráfego médio diário anual (TMDA): é a média dos volumes de tráfego medidos num determinado local nas 24 horas do dia e ao longo de 365 dias por ano, ou seja, é o número total de veículos que atravessou uma dada secção, dividido por 365 (IST, 2006). É expresso em veículos por dia. Em fase de planeamento, a procura é caracterizada por este volume (Costa, 2008).

Tráfego médio diário (TMD): média dos volumes de tráfego medidos num determinado local nas 24 horas do dia mas ao longo de um período inferior a um ano. Enquanto o TMDA é para um ano inteiro um TMD pode ser medido para seis meses, uma estação, um mês, uma semana ou até para dois dias. Por esse motivo, é conveniente que o correspondente valor seja acompanhado do respetivo período de contagem usado. É expresso em veículos por dia (IST, 2006).

2.1.1.2. Volumes horários

Os volumes de tráfego variam consideravelmente ao longo de um dia, geralmente com picos ao longo da manhã e da noite devido à existência de um grande número de deslocações pendulares ¹. Deste modo, a hora do dia que apresenta maior volume de tráfego (ponta horária) é de extrema importância para os engenheiros de tráfego, pois as estradas devem ser dimensionadas para servirem de forma adequada estes volumes, designados por *volumes horários de ponta (VHP)* na direção principal (IST, 2006).

¹ Viagens casa-trabalho ou casa-escola e vice-versa

Como o tráfego de manhã é geralmente mais intenso numa direção e à noite na outra, as duas direções devem ser consideradas aquando da elaboração do projeto da estrada. Todas as ações operacionais relacionadas com a aplicação de medidas de controlo de tráfego, segurança ou capacidade devem considerar o tráfego nos períodos de volume horário de ponta. Em fase de projeto a procura é apresentada pelo VHP (IST, 2006). Como não é economicamente eficiente dimensionar as estradas para o volume de ponta horária máximo define-se VHP em função de um volume de ponta característico inferior (a 30ª ou a 50ª hora de ponta mais elevada num ano).

Em alguns casos os volumes horários de ponta são estimados a partir de projeções de volumes diários recorrendo à seguinte relação:

$$VHP_d = TMDA \times K \times D \quad (1)$$

onde: VHP_d – Volume Horário de Ponta numa direção (veíc./hora);

TMDA – Tráfego Médio Diário Anual (veíc./dia);

K – proporção do volume de tráfego na ponta horária em relação ao tráfego diário;

D – proporção do volume de tráfego na direção principal durante o VPH.

A constante *K* representa a proporção do volume de tráfego na 30ª ponta horária mais elevada do ano em relação ao respetivo TMDA. A constante *D* é variável pois depende da densidade e da relação que a infraestrutura tem com os principais geradores de tráfego. Estas duas constantes baseiam-se nas características regionais e locais, como se pode ver no Quadro 1. Por norma *K* decresce à medida que o desenvolvimento urbano da envolvente vai crescendo (IST, 2006).

Quadro 1 - Valores usuais para as constantes *K* e *D* (TRB, 2000).

Tipo de via	K	D
Rural	0,15 - 0,25	0,65 - 0,80
Suburbana	0,12 - 0,15	0,55 - 0,65
Urbana:		
Via Radial	0,07 - 0,12	0,55 - 0,60
Via urbana	0,07 - 0,12	0,50 - 0,55

2.1.1.3. Volumes sub-horários e débitos

Normalmente, os volumes horários são a base de estudos de tráfego, porém as variações em cada hora têm uma grande importância. A via poderá ter capacidade de resposta à procura nas horas de pontas mas durante pequenos instantes esta poderá ser superior à capacidade dando origem ao congestionamento do tráfego.

Débitos: são os volumes observados em períodos inferiores a uma hora. Note-se que poder-se-á dizer que uma via tem um débito de 4000 veíc./hora, se forem observados na mesma 1000 veículos num período de 15 minutos. Porém, se o tráfego fosse contabilizado durante uma hora inteira o volume não seria 4000 veíc/hora. Tome-se como exemplo o Quadro 2, apresentado de seguida:

Quadro 2 - Exemplo de cálculo do débito (Adaptado de IST, 2006).

Intervalo do tempo	Volume de tráfego nesse intervalo (veíc)	Débito nesse intervalo (veíc/hora)
08:00 - 08:15	1300	5200
08:15 - 08:30	1400	5600
08:30 - 08:45	1500	6000
08:45 - 09:00	800	3200
09:00 - 09:15	5000 veíc/hora= Volume horário	

Estas flutuações têm grande importância em termos operacionais. Analisando este caso, se se considerar que a infraestrutura apresentada no exemplo anterior tinha uma capacidade máxima de 5000 veíc./hora, a procura iria exceder a capacidade no intervalo entre as 08:30 - 08:45 criando uma situação de congestionamento. Assim, o *Highway Capacity Manual* (TRB, 2000) aconselha que se utilizem intervalos de 15 minutos por razões de coerência e estabilidade estatística (IST, 2006).

A relação entre um volume horário e o débito máximo numa hora é dada pelo *Fator de Ponta Horário (FPH)* e pode ser expresso da seguinte forma:

$$FPH = \frac{\text{Débito máximo}}{\text{Volume horário}}$$

Em estudos de capacidade e níveis de serviço recomenda-se a utilização do débito referente ao período de ponta de 15 minutos, que poderá ser obtido através do Fator de Ponta Horário (FPH) (Costa, 2008):

$$FPH = \frac{V_{15}}{V} \quad (2)$$

onde: V - Volume horário (veíc./hora)

V_{15} - Volume máximo em 15 minutos durante uma hora

Quando o valor do FPH é conhecido pode ser utilizado para converter o VHP (volume horário de ponta) num débito máximo estimado para uma hora.

$$v = \frac{V}{FPH} \quad (3)$$

Onde: v – Débito numa hora (veíc./hora);

V – Volume horário máximo numa hora (veíc./hora);

FPH – Fator de ponta horário.

2.1.2. Velocidade

A velocidade corresponde ao espaço percorrido por unidade de tempo, é uma das variáveis mais importantes associadas às correntes de tráfego. Esta variável é de extrema importância para a definição dos níveis de serviço das estradas, bem como para a análise de certos aspetos relacionados com a segurança rodoviária (Costa, 2008).

Num fluxo de tráfego, cada veículo viaja a uma determinada velocidade o que implica que não haverá apenas uma velocidade homogênea mas sim uma distribuição

heterogénea de velocidades individuais de todos os veículos. Dessa distribuição discreta de velocidades recorre-se então à média para caracterizar o fluxo como um todo (IST, 2006).

Existem dois conceitos distintos de velocidade média das correntes de tráfego, habitualmente designados por *velocidade média no espaço* e *velocidade média no tempo*. A velocidade média no tempo é definida como a velocidade média de todos os veículos que atravessam uma secção da via em determinado período. A velocidade média no espaço corresponde à velocidade média de todos os veículos que ocupam um trecho da via, entre secções, em determinado período (IST, 2006, Costa, 2008).

2.1.3. Densidade

A densidade representa o número de veículos que ocupam uma determinada extensão da via num determinado instante.

$$K = \frac{q}{S} \quad (4)$$

onde: q – Fluxo ou volume (veíc./hora);

S – Velocidade média no espaço (km/h);

K – Densidade (veíc./km).

“A densidade é uma grandeza importante para medir a qualidade do escoamento de tráfego, na medida em que quantifica a proximidade entre veículos, fator esse que influencia a liberdade de movimentos e o conforto psicológico dos condutores” (IST, 2006).

2.1.4. Relação entre volume, velocidade e densidade

Relacionando estas grandezas surge um conceito importante, a *capacidade*, que representa o número máximo de veículos que poderá passar por uma determinada secção durante um período de tempo determinado, sob as condições reais de tráfego.

2.1.4.1. Relação entre volume e velocidade

Através da análise da Figura 1 nota-se que ocorre um fluxo zero em duas situações:

- Quando a densidade é zero não há procura e não existem veículos a circular na estrada. Situação em que ocorre teoricamente a velocidade máxima a que um veículo pode circular em condições de segurança nessa via;
- Quando a densidade é tão alta que não existe movimento dos veículos. Neste caso existe congestionamento e a densidade designa-se por densidade de congestionamento.

O ponto máximo destas curvas é o ponto onde ocorre o volume máximo que representa a capacidade. A densidade e a velocidade a que ocorre o volume máximo designam-se respetivamente, por densidade crítica e velocidade crítica. Em situações próximas da capacidade os intervalos entre veículos na corrente de tráfego vão sendo cada vez menores. No ponto em que se verifica a capacidade não existem intervalos e caso haja alguma perturbação na corrente esta irá produzir uma reação em cadeia que não poderá ser dissipada. Nessa altura o tráfego passa a ser instável e por esse motivo a zona a tracejado das figuras representa as zonas onde a densidade excede o valor crítico e a velocidade é inferior à velocidade crítica (IST, 2006).

Qualquer fluxo inferior à capacidade pode ocorrer em duas condições, a velocidade elevada e baixa densidade e a baixa velocidade e densidade elevada. Os pontos A e B dos gráficos apresentados na Figura 1 representam essas duas situações, sendo que o ponto A é claramente mais desejável. O facto de um determinado volume de tráfego poder ocorrer em duas situações distintas é muito importante e justifica o facto de um volume ou um débito não poderem ser utilizados como única medida qualitativa da corrente de tráfego. A velocidade e a densidade por sua vez são medidas úteis para descrever o estado da corrente de tráfego (IST, 2006).

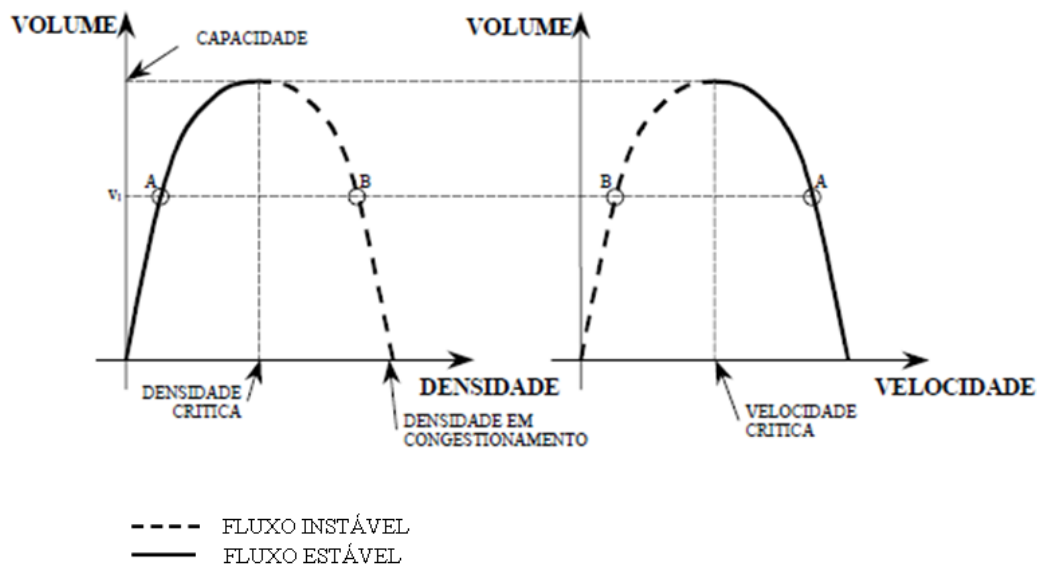


Figura 1 – Relação entre volume, densidade e velocidade (IST, 2006).

2.2. Tipos de contagens de tráfego

As contagens de tráfego podem ser de observação sistemática também designadas por contagens de cobertura “*coverage counts*” ou de observação esporádica (AASHTO, 2009, Roque, 2010).

2.2.1. Contagens de cobertura

As contagens de cobertura ou de observação sistemática englobam contagens de carácter permanente ou contínuo (24 horas durante os 365 dias por ano) e as contagens de carácter temporário (curta-duração, de algumas horas a semanas) de volumes de tráfego, classificação de veículos, pesagem dinâmica de veículos ou “*weigh in motion*” (WIM) e velocidades. Os programas de recolha de dados de tráfego têm como base estas contagens, que incluem a recolha de todos estes elementos (AASHTO, 2009).

As *contagens de volume* têm como objetivo determinar a quantidade de tráfego que passa por um ou vários pontos da rede viária por unidade de tempo. Estas podem ser efetuadas através de uma combinação de contagens de carácter permanente e de carácter temporário. As contagens permanentes são efetuadas através de equipamentos instalados permanentemente na faixa de rodagem (não desmontáveis) que operam continuamente e as contagens periódicas

são por norma efetuadas recorrendo a equipas de operadores formadas para o efeito ou sensores facilmente desmontáveis, cuja instalação pode ser efetuada noutro local ao fim de um determinado período de tempo, como é o caso dos tubos pneumáticos.

As *contagens classificadas* têm como objetivo a classificação de veículos que consiste em registar os volumes de tráfego de acordo com classes de veículos pré-definidas, com a finalidade de se saber a composição do tráfego que circula na rede viária. A classificação dos veículos pode ser feita recorrendo-se a técnicas manuais e a técnicas automáticas. As técnicas manuais são apenas utilizadas com carácter temporário e consistem na observação direta do número de eixos e do formato do veículo. Os equipamentos automáticos tanto podem ser utilizados periodicamente como permanentemente e consistem na classificação de veículos de acordo com a distância entre os eixos ou com o comprimento total do veículo. Alguns equipamentos de contagem automática podem fornecer dados de velocidade.

As *contagens WIM* registam o peso dos veículos que circulam na rede viária, através de sensores desenvolvidos para o efeito, designados por sensores WIM (ver 2.3.1.5). Os sistemas WIM são capazes de recolher dados de volume, classificação de veículos e velocidade e funcionam com carácter temporário ou permanente. Porém estes sistemas requerem um investimento significativo quando comparado com outros sistemas de recolha de dados.

Finalmente, as *contagens de velocidade* têm o objetivo de registar as velocidades dos veículos que circulam na rede viária e podem ser efetuadas recorrendo às técnicas automáticas de pesagem de veículos WIM, de classificação de veículos ou ainda algumas técnicas de registo de volumes.

De acordo com (AASHTO, 2009), um programa eficiente de supervisão de tráfego deve incluir contagens temporárias num grande número de locais e contagens permanentes num menor número de locais, principalmente porque em termos económicos não é viável instalar equipamentos de contagem permanente em todos os locais que precisem de ser analisados.

As contagens temporárias permitem a realização de estudos necessários ao dimensionamento de infraestruturas e à gestão de tráfego, ou seja, fornecem informação sobre volumes de tráfego num grande número de segmentos da rede durante um curto período de tempo, porém não fornecem informação sobre a média de volumes que ocorrem ao longo do ano. Por outro lado, as contagens permanentes permitem conhecer a flutuação do tráfego ao longo do dia, semanas e meses de um ano, fornecendo as bases necessárias para converter contagens temporárias na sua vizinhança em estimativas de valores médios anuais através de fatores de conversão. Este método é muito utilizado para estimar diversos parâmetros, entre os quais o TMDA.

A duração da recolha de dados pode variar de uns dias até uma semana para contagens temporárias e até um ano para contagens permanentes (Andrade, 2000).

2.2.2. Contagens esporádicas

As contagens esporádicas são realizadas para propósitos específicos, principalmente, de apoio a decisão. Quando se pretende fazer um determinado estudo de planeamento, viabilidade ou melhoria de uma determinada infraestrutura recorre-se a este tipo de contagens, ou seja, quando é necessário conhecer dados específicos e detalhados que não são abrangidos pelo universo das contagens de cobertura. O planeamento de novas infraestruturas rodoviárias, de travessias pedonais, entre outros, são exemplos de projetos para os quais é necessário recorrer-se a contagens esporádicas (AASHTO, 2009).

2.3. Técnicas de recolha de dados de tráfego

As técnicas de recolha de dados designadas como manuais ou automáticas têm como principal objetivo caracterizar e conhecer a procura relativa aos utilizadores da rede viária e o respetivo comportamento (IMTT, 2011).

Para a seleção das técnicas de recolha de dados, é necessário ter em conta as variáveis a medir, os recursos disponíveis, as características dos locais, os tempos de observação, a exatidão requerida e a quantidade de dados a recolher (Costa, 2008).

Na maior parte das técnicas a classificação de veículos é efetuada de acordo com classes pré-definidas, tarefa necessária à determinação das cargas a que os pavimentos se encontram sujeitos. Em ações de dimensionamento, manutenção e reparação de pavimentos esta tarefa é bastante relevante, pois é necessário que estes sejam capazes de suportar as cargas a que estarão sujeitos para que apresentem um bom comportamento ao longo da sua vida útil. O dimensionamento incorreto de pavimentos é um dos problemas importantes que podem existir em termos de projeto de estradas, pois, para além de representar um problema para os utentes da via, aumenta o custo de manutenção da rede.

Apresentam-se neste subcapítulo as diversas técnicas de contagem de veículos existentes, as quais podem ser subdivididas em dois grupos: intrusivas e não-intrusivas. Esta divisão mencionada é proposta em diversas referências (Mimbela e Klein, 2000, Hallenbeck e Weinblatt, 2004, Leduc, 2008, AASHTO, 2009,).

As técnicas intrusivas são aquelas que requerem a colocação dos sensores na superfície da faixa de rodagem e as técnicas não intrusivas são aquelas cujos sensores se encontram por cima ou ao lado da faixa de rodagem e cuja instalação normalmente não requer o corte do tráfego (AASHTO, 2009).

2.3.1. Técnicas intrusivas

As técnicas intrusivas consistem na utilização de sensores instalados diretamente sobre a superfície do pavimento (devidamente ancorados) ou num corte de pouca profundidade efetuado no mesmo, que se encontram ligados a um dispositivo que grava os dados recolhidos através de um cabo que tem a função de conduzir o sinal (Leduc, 2008).

Existe no mercado uma grande variedade de sensores intrusivos que foram sendo desenvolvidos e aperfeiçoados ao longo dos anos. Neste ponto serão descritos os sensores mais utilizados correntemente. As principais diferenças entre os sensores residem na velocidade de captação do sinal durante a passagem de um veículo e na rapidez com que estes recuperam a sua forma inicial após a passagem de um veículo, voltam a reprogramar-se, isto é, o tempo que necessitam para estarem prontos para registar a passagem do veículo seguinte e a capacidade de captar o sinal sem a ocorrência de erros de sobrestimação ou subestimação

de valores. Em sensores que se reprogramam rapidamente é menor a probabilidade de ocorrência de erros na recolha de dados em situações de grande afluência de tráfego ou de circulação a altas velocidades. Em sensores que se reprogramam lentamente existe maior probabilidade de ocorrer a subestimação do número de eixos que por eles passam ou do número de veículos quando estes se movem rapidamente ou muito próximos (AASHTO, 2009).

Existem algumas desvantagens relevantes associadas ao uso destes sensores, como é o facto de se ter que interromper o tráfego para a sua instalação ou manutenção (AASHTO, 2009).

Os sensores intrusivos incluem:

- Tubos pneumáticos;
- Espiras eletromagnéticas;
- Detetores magnéticos;
- Sensores piezoelétricos;
- Cabos de fibra ótica;
- Sistemas WIM (Sensores de capacitância, placas de dobragem, células de carga hidráulica).

Deste conjunto, os primeiros quatro são sensores convencionais de eixos e de contagem de veículos e os restantes são sensores que, para além da função de sensores de eixos podem fornecer o peso dos veículos (AASHTO, 2009).

Os tubos pneumáticos, os sensores piezoelétricos e os cabos de fibra ótica sendo sensíveis à pressão, deformam-se aquando da passagem dos pneus dos veículos. Essa deformação faz com que seja emitido um sinal que é interpretado com a passagem de um veículo. As espiras eletromagnéticas e os detetores magnéticos funcionam de maneira diferente: detetam a presença dos veículos através da alteração que o metal presente nos veículos em movimento provoca no campo magnético da terra (Hallenbeck e Weinblatt, 2004).

2.3.1.1. Tubos pneumáticos

Os tubos pneumáticos são provavelmente os sensores mais utilizados em contagens de curta duração. Apresentam-se sob a forma de tubos de borracha de secção oca que são fixados à superfície do pavimento ao longo da faixa de rodagem perpendicularmente ao sentido do tráfego, ligado a um interruptor sensível à pressão do ar (diafragma). Quando as rodas de um veículo passam pelo sensor, este fica sujeito a um esmagamento gerando no seu interior uma variação de pressão que produz um impulso de ar que se propaga ao longo do tubo à velocidade do som até à extremidade ligada ao diafragma. Este elemento por sua vez, com a passagem do ar fecha e envia um sinal elétrico ao sistema eletrónico de contagem, geralmente situado na berma da faixa de rodagem (Road Research Laboratory, 1965, Andrade, 2000, Leduc, 2008, AASHTO, 2009, Brito, 2012).

A colocação dos tubos é relativamente simples e rápida em estradas de baixo a médio volume, podendo na maioria dos casos ser efetuada sem a interrupção do tráfego. Estes devem ser colocados numa via de tráfego, perpendicularmente ao sentido do tráfego e fixados à superfície através de tachas e abraçadeiras aparafusadas (Andrade, 2000).

Os tubos pneumáticos podem ser utilizados para contagens de eixos, medições de velocidade e espaçamento de eixos (Andrade, 2000, Hallenbeck e Weinblatt, 2004, AASHTO, 2009)

Quando se instala apenas um tubo, a sua utilização fica limitada à contagem de eixos. Assim, a configuração mais utilizada destes sensores é a de dois tubos colocados paralelamente entre si, a uma distância conhecida e perpendicularmente ao sentido do tráfego, a qual permite determinar a velocidade dos veículos e o espaçamento de eixos (Andrade, 2000, Hallenbeck e Weinblatt, 2004, AASHTO, 2009). No caso de um tubo não se encontrar instalado na direção perpendicular ao sentido do tráfego, a passagem de um único eixo pode gerar mais do que um impulso de ar e consequentemente pode ser contabilizado de forma errada mais um eixo. Outro aspeto importante é que os tubos devem apresentar o mesmo comprimento, caso contrário, o tempo que o impulso de ar (resultante da passagem de um determinado eixo) demora a chegar ao dispositivo de contagem não será o mesmo para os dois

sensores, o que gera estimativas de velocidade e espaçamento entre eixos imprecisas (Hallenbeck e Weinblatt, 2004, AASHTO, 2009).

Segundo Andrade (2000), a classificação de veículos é efetuada através do espaçamento entre eixos e da diferença de velocidade de eixos consecutivos, considerando que eixos com velocidades idênticas pertencem ao mesmo veículo. Em situações de veículos que circulam em pelotão, sensivelmente à mesma velocidade, é difícil efetuar-se a individualização correta dos veículos, podendo gerar-se volumes de tráfego inferiores aos reais. Isto porque são considerados do mesmo veículo todos os eixos consecutivos que circulam à mesma velocidade, podendo dar-se o caso de um único veículo possuir um grande número de eixos. Porém, de acordo com Hallenbeck e Weinblatt (2004) este problema pode ser mitigado utilizando espiras eletromagnéticas em conjunto com os tubos pneumáticos.

Os tubos podem ser de secção circular ou semicircular, de diâmetro variável. Os tubos semicirculares apresentam vantagens em relação aos circulares, apesar de serem mais dispendiosos. A pressão é melhor distribuída aquando da passagem dos veículos, apresentando assim menor tendência para o esmagamento, maior durabilidade e menores deslocamentos, proporcionando ainda maior segurança aos peões (Andrade, 2000).

Quanto à escolha dos locais onde estes sensores podem ser instalados deve ter-se em consideração dois aspetos: em primeiro lugar deve evitar-se a colocação destes sensores em zonas residenciais pois a passagem de veículos sobre os tubos gera ruído, situação que se agrava nos tubos de secção circular. Por outro lado, estes sensores devem ser colocados em zonas onde a velocidade de circulação seja constante, pois se aplicados em zonas de aceleração ou de travagem para além do eventual desgaste precoce ou do seu desprendimento, poderão ocorrer erros de contagem e classificação.

Os tubos pneumáticos têm grande utilidade em medições pontuais ou contagens de curta duração, com a duração de alguns dias ou semanas, principalmente em vias de tráfego de baixo volume de tráfego (Andrade, 2000).

Estes sensores necessitam de manutenção regular de modo a evitar o aparecimento de furos ou cortes que prejudiquem o seu desempenho. Dependendo da qualidade e do estado

do pavimento, o tubo terá tendência a penetrar a camada superficial dos pavimentos betuminosos, quando sujeito a temperaturas muito elevadas, como é o caso de determinadas localidades no verão. Se for verificada esta situação, deve-se efetuar a reinstalação do tubo antes que o mesmo afunde mais de metade do diâmetro (Andrade, 2000).

Os tubos apresentam como vantagem principal o baixo custo, pois o seu funcionamento é conseguido à custa de baixa potência elétrica e a sua instalação é simples e rápida, principalmente em estradas de baixo volume de tráfego. (Andrade, 2000, Hallenbeck e Weinblatt, 2004)

Por outro lado, os tubos pneumáticos são sensores lentos devido ao facto da borracha necessitar de um tempo de recuperação para voltar à sua forma inicial, antes da passagem do eixo seguinte, o que pode levar à falta de exatidão na contagem de eixos em situações de elevado fluxo de tráfego. Isto pode levar a uma subestimação de valores, quando os tubos estiverem sujeitos a um elevado fluxo de tráfego (AASHTO, 2009).

Este sistema pode não ser eficaz a medir fluxos de baixa velocidade (DNIT, 2007, Leduc, 2008, AASHTO, 2009).

2.3.1.2. Espiras eletromagnéticas

As espiras eletromagnéticas também designadas por ILD (*“inductive loops detectors”*), são provavelmente os sensores mais utilizados correntemente na recolha de dados de tráfego (AASHTO, 2009).

Estes sensores apresentam várias formas e tamanhos, dependendo da aplicação, podendo ser quadrados, retangulares ou circulares (AASHTO, 2009). Estes sensores são compostos por quatro elementos: uma espira de uma ou mais voltas (constituída por fios de cobre isolados) colocada num corte efetuado no pavimento com pouca profundidade, um cabo que a liga a um circuito de excitação e deteção e outro cabo que leva o sinal a um dispositivo eletrónico, que desempenha a função de contador situado na berma da faixa de rodagem (Klein et al., 2006).

O princípio de funcionamento consiste em fazer passar uma pequena corrente elétrica pelos fios colocados no pavimento com frequências que variam de 10 a 200 kHz, dependendo do modelo (Klein et al., 2006). Quando o veículo passa pela espira ou fica imobilizado na zona delimitada pela mesma, a massa metálica existente no veículo cria uma variação no campo magnético, resultando no aumento da frequência de oscilação do excitador. Este aumento da frequência é detetado pelo circuito de deteção que por último envia um sinal ao sistema eletrónico de contagem que o interpreta como a presença de um veículo (Klein et al., 2006, DNIT, 2007).

As espiras eletromagnéticas não só efetuam a contagem de eixos como também classificam os veículos com base no número de eixos e no espaçamento entre eles. Estas características fazem com que a exatidão destes sensores como contadores de volumes aumente, pois não é necessário associar o número de eixos ao número de veículos (AASHTO, 2009).

Quando duas espiras eletromagnéticas são colocadas em série permitem classificar os veículos com base no seu comprimento total, isto é, com base na diferença de tempo da ativação da primeira e da segunda espira. Esta diferença de tempo e a distância entre os sensores permite também conhecer a velocidade dos veículos (Hallenbeck e Weinblatt, 2004, AASHTO, 2009).

A principal limitação destes sensores reside no facto de não contarem com precisão os veículos com pouco ou nenhum metal, como é o caso dos motociclos. Se a sensibilidade da recolha eletrónica de dados for suficientemente alta para detetar motociclos, pode dar-se o caso de, na presença de um veículo com grande quantidade de metal (veículos pesados, autocarros) não só serem ativados os sensores da via de tráfego onde este circula mas também os sensores das vias de tráfego limítrofes (AASHTO, 2009).

Em meio urbano são amplamente utilizados na deteção da passagem ou presença de veículos, com o objetivo de regular o funcionamento de sinais luminosos (Andrade, 2000).

As espiras eletromagnéticas têm uma eficácia limitada pois medem a presença do metal e a força do sinal é função da quantidade e proximidade do metal. Portanto nem todos

os veículos são detetados à mesma distância das espiras. Os veículos que possuem maior quantidade de metal tendem a ser detetados por um período de tempo maior do que veículos com menos metal. Isto significa que as espiras eletromagnéticas tendem a sobrestimar o comprimento de veículos com mais metal e a subestimar o comprimento de veículos com menos metal e daqueles que têm o metal mais elevado (AASHTO, 2009).

A maior parte das instalações de espiras são permanentes. Os fios são colocados em cortes efetuados à superfície do pavimento. Consequentemente, quando a instalação é efetuada corretamente e num pavimento que apresente boas condições as espiras tendem a ter longa duração. Quando a instalação é feita de forma incorreta ou num pavimento que apresente más condições, os fios que constituem a espira podem ser facilmente danificados por forças provenientes do pavimento associadas às solicitações a que estes se encontram sujeitos (por exemplo, ciclos de gelo/degelo). A infiltração da água é um fator importante que pode afetar negativamente o desempenho destes sensores (AASHTO, 2009). Na cidade de Lisboa há locais onde este problema é mitigado instalando as espiras dentro de tubos de plástico (Andrade, 2000).

Para o correto funcionamento deste sistema é necessário garantir que o sensor de indução ligado aos fios constituintes da espira seja de elevada qualidade. Note-se que um vasto número de instalações de espiras de indução em meio urbano tem fracassado, em grande parte devido à fraca qualidade do sensor eletrónico ligado aos fios (Andrade, 2000).

Estes sensores são mais baratos quando comparados com sensores do tipo radar ou câmaras de vídeo, com as mesmas funções, que são colocados junto à faixa de rodagem por cima da mesma (DNIT, 2007).

As desvantagens mais relevantes destes sistemas têm a ver com o comportamento deficiente dos mesmos quando instalados em pavimentos que se encontrem em más condições, a sua instalação deficiente e o facto de na presença de veículos com pouco metal este sistema não proceder à contagem correta dos mesmos. Outras desvantagens referidas por DNIT (2007), são a necessidade de se efetuar a interrupção do tráfego para se proceder à instalação dos equipamentos e a necessidade de se reinstalar os equipamentos sempre que a estrada for sujeita a ações de reparação ou manutenção.

2.3.1.3. Detetores magnéticos

Os detetores magnéticos são dispositivos passivos que detetam a presença de um objeto metálico (i.e., um veículo) através da medição da perturbação que este provoca no campo magnético da terra (Hallenbeck e Weinblatt, 2004, Klein et al., 2006, AASHTO, 2009). Esta variação que ocorre é conhecida por anomalia magnética (Klein et al., 2006).

A anomalia magnética é produzida pelos dipolos magnéticos que existem em qualquer veículo de metal quando este entra na zona de deteção do magnetómetro. A mesma resulta da soma vetorial do campo magnético do dipolo produzido pelo veículo e do campo magnético da terra, conforme se apresenta esquematicamente na figura. Em suma, a anomalia é causada pela distorção induzida no campo magnético da terra, sempre que um veículo entra e passa pela zona de deteção do sensor magnético (ver Figura 2). Ao sensor magnético encontra-se conectado um dispositivo eletrónico, que funciona como um circuito eletrónico, cuja função é recolher os dados e enviar para o pós-processamento (Klein et al., 2006).

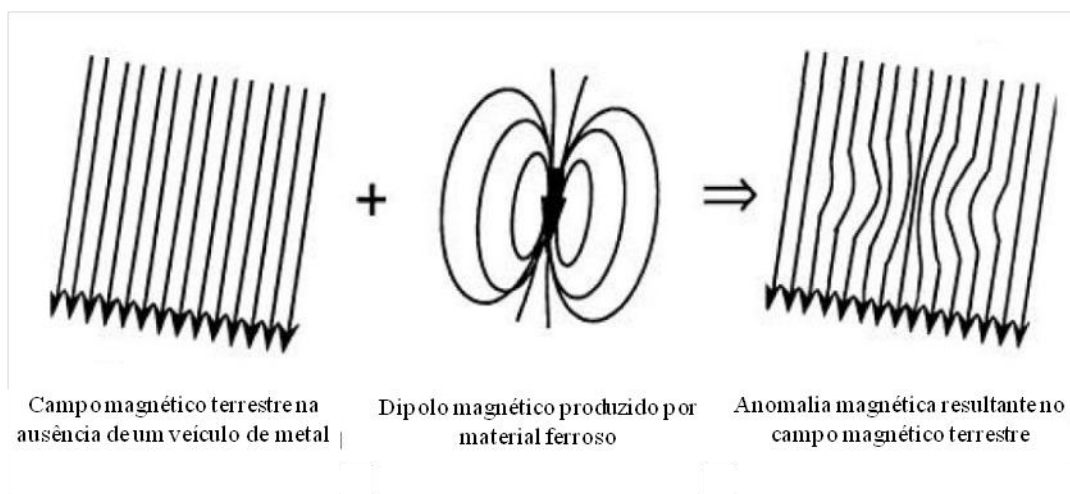


Figura 2 - Anomalia no campo magnético induzido pelo dipolo magnético (DNIT, 2007).

À semelhança das espiras eletromagnéticas, os detetores magnéticos utilizam a velocidade do veículo e a duração do sinal para determinar o comprimento do mesmo, que é depois utilizado para efetuar a classificação de acordo com categorias definidas com base no comprimento dos veículos (Hallenbeck e Weinblatt, 2004).

Os detetores magnéticos são frequentemente montados à superfície do pavimento no centro da via de tráfego (Hallenbeck e Weinblatt, 2004, AASHTO, 2009). Porém, podem também ser montados no interior do pavimento num corte pouco profundo efetuado para tal (AASHTO, 2009).

São utilizados dois tipos de sensores magnéticos na medição de fluxos de tráfego: o magnetómetro de fluxo biaxial e o magnetómetro de indução (Klein et al., 2006).

O magnetómetro de fluxo biaxial deteta variações na componente horizontal e vertical do campo magnético da terra produzidas pela massa metálica do veículo. Na Figura 3 apresentam-se todos os componentes de um magnetómetro de fluxo biaxial. Nestes equipamentos a deteção dos veículos ocorre no momento em que a tensão excede um limite pré-determinado. Estes sensores permitem a deteção de veículos parados e em movimento (Klein et al., 2006).



Figura 3 – Magnetómetro de fluxo biaxial (DNIT, 2007).

O magnetómetro de indução deteta a presença do veículo através da medição da distorção nas linhas de fluxo magnético, causada pela variação no campo magnético da terra induzida pela passagem do veículo (ver Figura 4). Estes sensores não detetam veículos parados, uma vez que requerem que o veículo se mova para que se produza uma perturbação no campo magnético da terra. São instalados na horizontal por baixo da via de circulação (Klein et al., 2006).

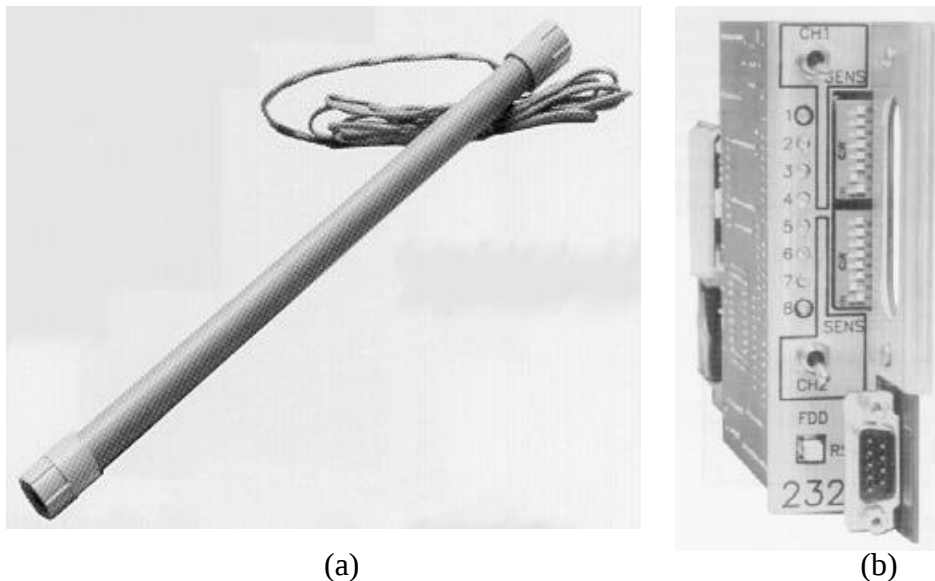


Figura 4 – Magnetómetro de indução. (a) Detetor e (b) Aparelho eletrónico associado (Klein et al., 2006)

O magnetómetro de fluxo biaxial apresenta como principal vantagem o facto de ser menos suscetível ao tráfego do que o magnetómetro de indução ou a espira eletromagnética. Alguns modelos podem ser instalados no pavimento sem a necessidade de se proceder ao corte de material betuminoso. No entanto, na generalidade dos casos, têm de se efetuar cortes horizontais no pavimento para a instalação dos sensores magnéticos e alguns dispositivos possuem pequenas zonas de deteção o que pode tornar-se numa limitação (Brito, 2012).

Tal como as espiras eletromagnéticas, os detetores magnéticos detetam a quantidade de metal dos veículos que passam, apresentando por isso o problema semelhante, ou seja, a contagem deficiente de veículos com pouca quantidade de metal (AASHTO, 2009).

2.3.1.4. Sensores de fibra ótica

A fibra ótica começou a ser utilizada por volta do ano 2000 no campo da engenharia de transportes e surgiu como uma alternativa aos sistemas piezoelétricos usados até então. Tem particular interesse na pesagem de veículos em movimento (Andrade, 2000, Brito, 2012).

Estes sensores apresentam-se sob a forma de cabos, flexíveis e elásticos e sensíveis apenas a pressões verticais (ver Figura 5). Quando os pneus do veículo passam sobre o cabo de fibra ótica comprimem-no provocando uma diminuição da quantidade de luz que atravessa a secção do cabo. Esta alteração da intensidade da luz indica a passagem de um veículo e é medida através de um dispositivo eletrónico ligado ao sistema (Hallenbeck e Weinblatt, 2004).



Figura 5 – Cabos de fibra ótica (Halvorsen & Motzko, 2000)

Os sensores de fibra ótica são compostos por um transmissor de luz (normalmente um díodo emissor de luz), um detetor de fotões e um sistema de *hardware* e *software* para análise do sinal. Estes sensores são bastante rápidos e sensíveis, o que lhes confere grande eficiência na contagem de eixos, tanto em condições de tráfego a baixas velocidades como em condições de tráfego a altas velocidades (Hallenbeck e Weinblatt, 2004).

Estes sensores devem ser montados na faixa de rodagem perpendicularmente ao sentido do tráfego (ver Figura 6), caso contrário podem registar o mesmo eixo mais do que uma vez. Podem ser instalados sobre a faixa de rodagem ou em cortes efetuados no pavimento. Quando instalados à superfície do pavimento, são geralmente colocados dentro de uma manga de proteção e posteriormente colados ao pavimento, tendo em atenção que em condições de chuva a sua instalação torna-se complicada, pois é difícil que estes fiquem posicionados corretamente. Quando instalados em cortes no pavimento, são colocados previamente numa estrutura rígida antes de serem instalados (Hallenbeck e Weinblatt, 2004, AASHTO, 2009).

Os sensores de fibra ótica apresentam diferentes comprimentos, dependendo do número de vias de tráfego a monitorizar, sendo que normalmente o comprimento é proporcional à largura da via de tráfego. Alguns fabricantes produzem sistemas capazes de medir o tráfego em várias vias ao mesmo tempo (Hallenbeck e Weinblatt, 2004, AASHTO, 2009).

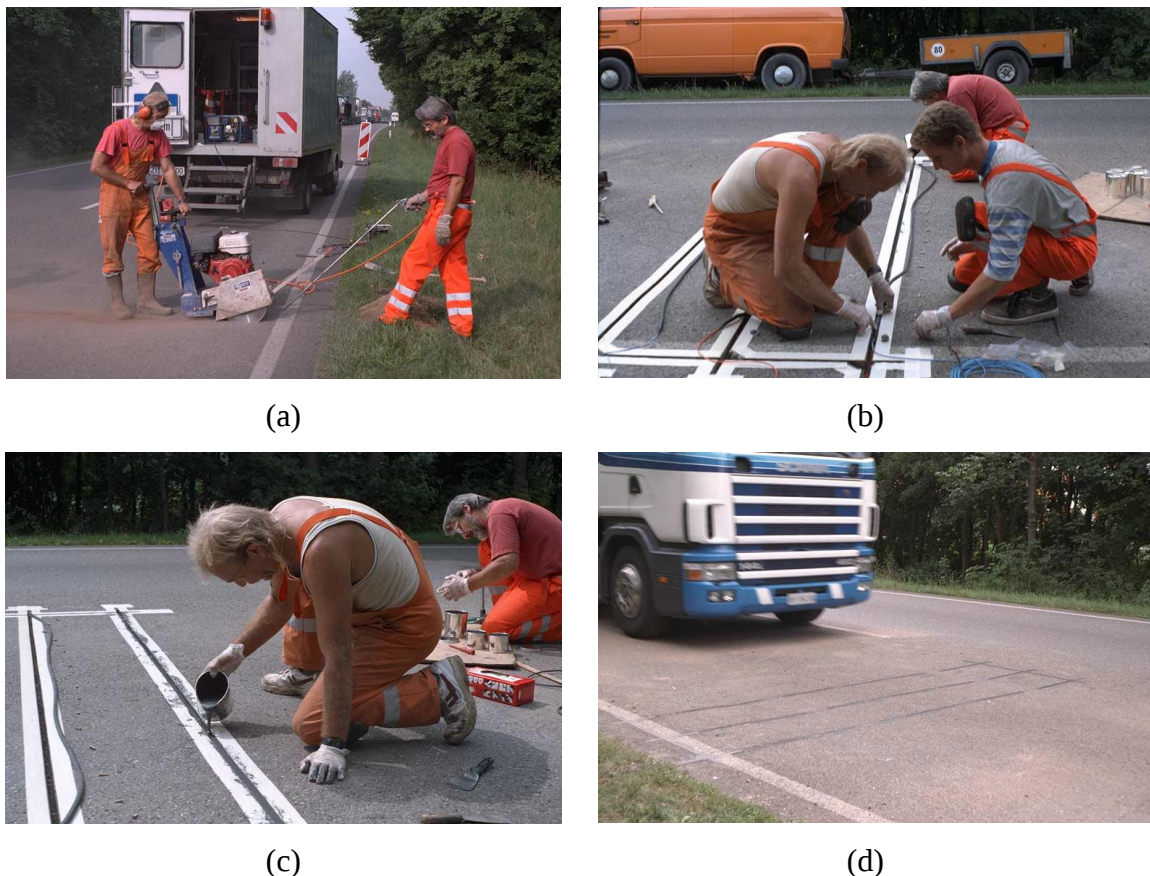


Figura 6 – Instalação dos sensores de fibra ótica (Halvorsen & Motzko, 2000).

Segundo Halvorsen e Motzko (2000), as principais vantagens da utilização dos cabos de fibra ótica para a contagem de veículos são a facilidade de instalação, a detecção exata e fiável, o bom desempenho quando sujeitos a temperaturas elevadas, a imunidade ao ruído, excelente resistência mecânica e química e a falta de sensibilidade às condições ambientais.

A maior desvantagem dos sensores de fibra ótica é que a tecnologia de aplicação e instalação é ainda recente e por vezes não se encontra comercialmente disponível. Outra desvantagem é a possibilidade dos cabos de fibra ótica se danificarem com a passagem de veículos devido à fragilidade que este material apresenta (DNIT, 2007).

2.3.1.5. Sistemas WIM “Weight in Motion”

Os sistemas “*Weight in Motion*”, frequentemente designados pelo acrónimo WIM permitem detetar e registar o peso bruto dos veículos bem como o peso suportado por cada eixo a partir de um local de medição, dados muito significativos para o dimensionamento de pavimentos (AASHTO, 2009).

A precisão destes sistemas depende de diversos fatores, mas principalmente do modo como os sensores conseguem medir a força real aplicada aos mesmos (AASHTO, 2009).

Estes sistemas apresentam uma grande diversidade de tecnologias, sendo de seguida apresentadas as mais utilizadas. O princípio físico de funcionamento dos sensores piezoelétricos consiste na conversão de energia cinética em energia elétrica. Alguns materiais possuem esta propriedade, como é o caso do quartzo e de alguns tipos de polímeros e cerâmicos, sendo por isso designados por materiais piezoelétricos, ou seja, geram eletricidade quando solicitados mecanicamente (Andrade, 2000, DNIT, 2007, AASHTO, 2009).

Quando uma força mecânica ou uma vibração é aplicada ao sensor este gera uma tensão, fazendo com que cargas elétricas de polaridade oposta apareçam nas faces paralelas do material piezoelétrico. De seguida, a componente eletrónica do contador deteta este sinal e interpreta-o como sendo a passagem de um eixo. A tensão medida pelo sensor é proporcional à força, que neste caso representa o peso do eixo transmitido ao sensor durante a passagem (Hallenbeck e Weinblatt, 2004).

Os sensores piezoelétricos são compostos por um cabo piezoelétrico sensível que gera o sinal elétrico e um cabo de extensão que transmite o sinal a um equipamento eletrónico que efetua o processamento de dados. Estes sensores tendem a ser mais dispendiosos do que os métodos convencionais correntemente utilizados (tubos pneumáticos e espiras eletromagnéticas), mas em contrapartida apresentam uma estrutura mais robusta e podem ser utilizados não só para a deteção de eixos mas também para a classificação de veículos por número de eixos e espaçamento e medição do peso por eixo. São frequentemente utilizados como parte de sistemas de pesagem de veículos, ou seja, sistemas WIM (AASHTO, 2009).

Como estes são considerados sensores rápidos, a sua colocação requer alguns cuidados. Quando os sensores não são colocados perpendicularmente ao sentido do tráfego existe a possibilidade do mesmo eixo ser gravado duas vezes, à semelhança dos tubos pneumáticos. A velocidade de captação dos sensores piezoelétricos torna-os mais precisos na recolha de dados em estradas de alta velocidade, pois os mesmos reprogramam-se rapidamente, permitindo gravar todos os eixos de conjuntos de eixos muito próximos (AASHTO, 2009).

Sendo sensores WIM, os sensores piezoelétricos apresentam uma grande desvantagem: a sua esbelteza. O facto de os sensores serem finos reduz o impacto no pavimento e torna a instalação mais rápida, mas por outro lado, o facto de serem finos pode fazer com que o peso dos pneus seja mal distribuído, ou seja, o pneu a ser pesado nunca é completamente suportado pelo sensor. Na maior parte dos casos, quando o pneu está em contacto com o sensor, uma parte deste é suportada pelo pavimento adjacente, isto é, a resposta estrutural do pavimento irá afetar o peso aplicado ao sensor. Em geral, quanto mais rígido for o pavimento, menos peso é transmitido ao sensor piezoelétrico (AASHTO, 2009).

Para qualquer aplicação, o pavimento deve estar em boas condições, visto que a exatidão das medições dependerá em grande parte da regularidade do pavimento. Para se garantir o bom funcionamento deste sistema deve ser feita uma aferição regular, por exemplo de seis em seis meses, com a aplicação de um aparelho de choque calibrado ou de um camião padrão cujo peso por eixo seja conhecido (Andrade, 2000).

O local para a implantação destes sensores deve ser rigorosamente escolhido, visto ser necessário o cumprimento de determinados requisitos, nomeadamente inclinações transversal e longitudinal, raios de curvatura e irregularidades no pavimento, sendo estes mais exigentes no caso da pesagem em movimento (Andrade, 2000).

Existem no mercado três tipos de sensores de tráfego piezoelétricos, os piezocerâmicos, os piezopolímeros e os piezoquartzo.

Os sensores piezocerâmicos foram os primeiros a surgir. Podem ser colocados sob a faixa de rodagem, mas é mais frequente a sua instalação num corte efetuado no pavimento e posteriormente fixado com uma resina epoxídica (AASHTO, 2009).

Tratam-se de sensores rápidos e devem por isso ser colocados perpendicularmente ao fluxo de tráfego, para que as rodas de um eixo passem simultaneamente pelo sensor. Devem ser colocados num pavimento que se encontre em boas condições, caso contrário, as forças que se geram no pavimento podem gerar sinais de dispersão que podem ser erradamente interpretados como eixos (AASHTO, 2009).

Este problema agrava-se nos sensores piezoelétricos por serem omnidirecionais, ou seja, as forças aplicadas numa direção geram um sinal elétrico, portanto o conjunto de forças transmitidas pelo pavimento pode gerar um falso sinal que será interpretado como um eixo e quanto mais deteriorado o pavimento maior a força gerada. Por outro lado, a deterioração do pavimento perto do sensor pode causar uma deficiência na ligação entre o sensor e o pavimento, o que para além de gerar falsos sinais pode também fazer com que o sensor falhe na captação dos sinais. Estes sensores são normalmente utilizados em contagens permanentes na classificação de veículos (AASHTO, 2009).

Os polímeros piezoelétricos designados sensores piezopolímeros, à semelhança dos anteriores são também geralmente utilizados como sensores axiais. Estes sensores diferenciam-se dos piezocerâmicos pelo facto de receberem apenas carga numa só direção (no plano vertical). Apresentam-se sob a forma de uma longa faixa de alumínio colocada perpendicularmente ao fluxo do tráfego e devido à sua forma esbelta são vulgarmente designados por “*brass linguini*” ou sensores BL (AASHTO, 2009).

Podem ser colocados à superfície do pavimento ou num corte efetuado no mesmo. Quando colocados à superfície devem ser devidamente protegidos com uma manga protetora ou num corte efetuado no pavimento protegido com alumínio e coberto com resina (DNIT, 2007, AASHTO, 2009, Brito, 2012).

Este tipo de sensor piezolétrico é recomendado para a medição do peso total do veículo e para a classificação de veículos por número de eixos e espaçamento (AASHTO, 2009).

Finalmente, os sensores piezoquartzo baseiam-se na utilização de quartzo e surgiram como resposta às limitações apresentadas pelos dois tipos de sensores apresentados anteriormente. A principal diferença em relação aos outros é que estes sensores não são sensíveis à ação da temperatura, apresentando consequentemente mais exatidão na medição do peso por eixo (AASHTO, 2009).

Estes sensores apresentam a desvantagem de serem mais dispendiosos e terem um comprimento reduzido (correntemente vendidos com o comprimento de 1.0 m e 0.75 m). Para um mesmo comprimento de faixa de rodagem e para cobrir a mesma na sua totalidade são necessários no mínimo quatro sensores piezoquartzo, em vez de apenas um sensor piezocerâmico ou um sensor piezopolímero. (AASHTO, 2009)

Quanto à colocação há ainda outro aspeto a reter, estes sensores não podem ser colocados descobertos à superfície, como no caso dos BL. A instalação é relativamente simples, sendo o sensor colocado num corte efetuado ao longo da superfície da via de tráfego (AASHTO, 2009).

Em resumo, os sensores piezoelétricos conseguem diferenciar eixos individuais com extrema precisão e apesar de serem mais dispendiosos face às espiras eletromagnéticas, disponibilizam mais informação, como por exemplo, a classificação de veículos com base no peso. As principais desvantagens destes sensores, à semelhança dos apresentados nos pontos anteriores, residem no facto de ser necessário interromper a circulação rodoviária para a sua instalação e estarem sempre sujeitos às condições do pavimento. Caso uma faixa de rodagem seja repavimentada, podem obrigar à sua reinstalação (DNIT, 2007, AASHTO, 2009).

2.3.1.5.1. Sensores de capacitância

Os sensores de capacitância² consistem na sobreposição de dois ou mais condutores elétricos (frequentemente placas metálicas), separados por um material dielétrico³, que carregam cargas de igual intensidade mas de sentido oposto. Vulgarmente apresentam-se sob a forma de tapetes, podendo ser designados por tapetes de capacitância, como se pode observar na figura abaixo Figura 7 (Mimbela e Klein, 2000).



Figura 7 – Tapetes de capacitância (Mimbela e Klein, 2000).

Quando o eixo de um veículo passa pelo sensor, a força aplicada pelo mesmo provoca a diminuição da distância entre as placas condutoras e consequentemente o aumento da capacidade elétrica ou capacitância de todo o sistema (AASHTO, 2009). Isto provoca a alteração da frequência de ressonância do circuito elétrico do qual a capacitância faz parte. Por conseguinte, a frequência de ressonância é medida pelo sistema eletrónico de análise de dados ligado ao sensor e é proporcional ao peso do eixo. O sistema eletrónico ligado ao sensor

² A capacitância ou capacidade é a grandeza elétrica de um condensador, que é determinada pela quantidade de energia elétrica que pode ser armazenada em si por uma determinada tensão e pela quantidade de corrente alternada que atravessa o capacitor numa determinada frequência.

³ Materiais dielétricos, não condutores ou isolantes são aqueles que não conduzem corrente elétrica devido à baixa condutividade elétrica que possuem. São materiais que se opõem à passagem da corrente elétrica porque não possuem eletrões livres.

por sua vez estima o peso do eixo com base no sinal produzido aquando da passagem do mesmo pelo sensor (Mimbela & Klein, 2000).

Para além da configuração apresentada os sensores de capacitância podem também ser fabricados com placas de alumínio separadas por grelha de material isolante e utilizando ar como material dielétrico (Mimbela & Klein, 2000).

Segundo Mimbela & Klein (2000), a principal vantagem destes sensores de capacitância é que podem ser utilizados em aplicações permanentes de WIM, bem como em postos temporários graças à sua portabilidade. Outra vantagem é que estes sensores apresentam um custo mais baixo em relação aos sensores de eixos (AASHTO, 2009).

Estes sistemas apresentam três grandes desvantagens. A primeira é que o tapete por si só cria um ressalto devido à altura e ao facto de assentar no pavimento, isto limita a eficácia do sistema pois altera a força dinâmica que é aplicada ao sensores pelos eixos quando estes estão a ser pesados, diminuindo a eficácia da balança quando esta tenta converter aquela medida de força num valor estimado de carga estática do eixo (AASHTO, 2009). A segunda desvantagem é que, na configuração mais utilizada do tapete, este consegue apenas medir um trilho de roda (“*wheel path*”) dos veículos pesados, porém muitas vezes a carga dos eixos não se encontra uniformemente distribuída pelos trilhos de roda o que consequentemente diminui a capacidade do sistema estimar de forma eficaz o peso total do eixo. A terceira e última desvantagem é que a configuração do tapete faz com este seja visível aos condutores dos veículos e a configuração destes sensores torna possível que o condutor de um camião se desvie dos mesmos evitando que o veículo seja pesado ou classificado (AASHTO, 2009). De acordo com (Mimbela & Klein, 2000) estes sensores são os sistemas WIM mais onerosos do mercado.

2.3.1.5.2. Placas de dobragem

À semelhança dos sensores piezoelétricos as placas de dobragem são os sistemas WIM mais utilizados nos Estados Unidos (AASHTO, 2009).

O sensor consiste em extensómetros ligados ao fundo de uma placa de aço, que se encontra colocada numa estrutura de aço embutida no pavimento (Hallenbeck & Weinblatt, 2004, AASHTO, 2009). Segundo Hallenbeck & Weinblatt (2004), a estrutura de aço é utilizada para separar o sensor da estrutura do pavimento, permitindo o aumento da exatidão da medição do peso dos veículo em comparação com os sensores piezoelétricos, evitando assim o efeito “*bridging*”, que ocorre quando a resposta estrutural do pavimento afeta o peso realmente aplicado ao sensor, pois quanto mais rígido for o pavimento menor será o peso transmitido ao sensor.

O modo de operação destas placas consiste na medição da deformação que ocorre associada à flexão da placa, causada pela passagem de cada eixo de um veículo pela mesma. Quanto maior for a deformação maior será o peso do veículo. Esta relação é utilizada para estimar a carga aplicada ao nível do pavimento com a passagem dos eixos (AASHTO, 2009).

A instalação da placa de dobragem consiste na utilização de uma ou duas balanças. Quando são instaladas duas balanças numa via de tráfego, cada uma delas é colocada num trilho de roda (“*wheel path*”) para que sejam medidos individualmente os pesos das rodas, esquerda e direita, aumentando assim a eficácia na medição do peso de cada eixo (Mimbela & Klein, 2000, AASHTO, 2009).

As balanças podem ser instaladas de forma alinhada ou com um espaçamento entre elas. Recorre-se à instalação com um espaçamento entre as mesmas para que se possa medir o peso dos pneus em dois pontos diferentes do trajeto dinâmico do veículo, o que consequentemente reduz o efeito da dinâmica do veículo e melhora a exatidão da medição do peso estático do veículo. (Hallenbeck & Weinblatt, 2004, AASHTO, 2009)

Uma placa de dobragem típica é também constituída por dois sensores ILD, cuja função é detetar a aproximação dos veículos, medir a velocidade dos mesmos e diferenciar grupos de eixos pouco espaçados entre si (Mimbela & Klein, 2000, Hallenbeck e Weinblatt, 2004). De acordo com Mimbela & Klein (2000) um dos sensores ILD é colocado a jusante das balanças e o outro a montante das mesmas. O primeiro deteta a aproximação do veículo e o segundo determina a velocidade do mesmo com base no tempo que este leva a percorrer a distância entre os dois sensores.

A instalação destes sistemas requer a remoção de maior quantidade de pavimento na secção a aplicar em comparação aos cortes efetuados para a colocação dos sensores piezoelétricos ou de fibra ótica. Apresentando assim o custo de instalação mais elevado, bem como o tempo de aplicação em relação aos outros sensores atrás referidos (Hallenbeck e Weinblatt, 2004).

A grande vantagem desta tecnologia é que a mesma não é sensível a variações climáticas. Outra vantagem importante e que também representa um benefício em relação aos sensores piezoelétricos, é que a maior largura da configuração deste equipamento faz com que a superfície de pesagem seja larga, o que gera um contato físico mais prolongado entre a roda e o sensor, evitando assim o efeito de “*bridging*” já atrás referido, da roda sobre o sensor (AASHTO, 2009).

As placas de dobragem podem ser utilizadas para a recolha de dados de tráfego bem como para fins de pesagem. Estes sistemas não requerem a substituição completa do equipamento, apenas necessitam de manutenção após um período de 5 anos (Mimbela & Klein, 2000).

A principal desvantagem destes sistemas à semelhança do que acontece com os sensores de capacitância é o seu custo, tornando-os inviáveis para qualquer atividade de recolha de dados de tráfego para além da pesagem de eixos (AASHTO, 2009). De acordo com Mimbela & Klein (2000), estes sensores não são tão eficazes quanto as células de carga de hidráulica e são consideravelmente mais onerosos do que os sensores piezoelétricos.

2.3.1.5.3. Células de carga hidráulica

Este sistema é constituído por uma placa superior rígida colocada numa estrutura de aço dentro de um corte profundo efetuado no pavimento (AASHTO, 2009), pelo menos um ILD e um sensor de eixos (Mimbela & Klein, 2000).

Segundo Hallenbeck e Weinblatt (2004), o princípio de funcionamento destes sensores consiste na transmissão do peso dos pneus aplicado à plataforma de pesagem a um ou mais cilindros hidráulicos (contendo um fluido no seu interior, normalmente óleo), aos quais estão ligados os sensores, sendo o peso dos eixos diretamente proporcional à alteração da pressão hidráulica gerada. São instalados na via perpendicularmente ao sentido do tráfego.

Os sistemas de células de carga hidráulica são frequentemente constituídos por duas plataformas de pesagem alinhadas (contendo cada uma delas uma balança), que operam independentemente e fornecem o peso estimado para os pneus esquerdo e direito de cada eixo. O sistema regista os pesos medidos por cada balança e soma-os para obter o peso total de cada eixo. Fora das plataformas de pesagem, são também integrados outros sensores cuja função é detetar quaisquer outros veículos que se encontrem fora da superfície de pesagem (Hallenbeck e Weinblatt, 2004).

Como acima referido, o sistema é composto por pelo menos um sensor de eixos e um ILD. O ILD é instalado a montante da célula de carga hidráulica para detetar e alertar o sistema da aproximação de um veículo e o sensor de eixos é normalmente colocado a jusante para determinar a distância entre os eixos e a velocidade do veículo. Se um segundo ILD for utilizado, este será colocado no lugar do sensor de eixos, instalado a jusante da célula de carga para determinar a velocidade do veículo bem como o espaçamento entre os eixos (Hallenbeck e Weinblatt, 2004). De acordo com a AASHTO (2009), os sensores de eixos utilizados são normalmente espiras eletromagnéticas, porém, de acordo com Mimbela e Klein (2000) podem também ser utilizados os sensores piezoelétricos ou outra tecnologia baseada na alteração da resistência do sensor quando o mesmo é sujeito a pressão.

A instalação das células de carga requer uma escavação significativa na faixa de rodagem, o que significa ser necessário proceder ao encerramento prolongado das vias de tráfego onde estas serão instaladas. São também necessários equipamentos pesados para a escavação do compartimento onde serão colocados os sensores e o equipamento eletrónico associado (Hallenbeck e Weinblatt, 2004).

Durante a instalação do equipamento o pavimento a jusante e a montante do sensor é usualmente reparado. Assim, o pavimento na zona que circunda o sensor apresenta-se menos rígido, o que faz com que parte do movimento dinâmico dos veículos pesados que se aproximam da plataforma de pesagem seja amortecido antes destes chegarem à mesma. O resultado é um sistema eficaz na determinação das condições de carga estática (AASHTO, 2009).

As células de carga hidráulica são colocadas numa estrutura de aço contida no pavimento, o que faz com que a resposta estrutural do pavimento às solicitações impostas pelo meio ambiente (por ex.: temperatura, teor em humidade) não afetem a medição do peso dos veículos, evitando o efeito de “*bridging*” (Hallenbeck e Weinblatt, 2004).

Outro aspeto importante a referir diz respeito à plataforma de pesagem, a qual tem largura suficiente para isolar cada pneu no momento da pesagem, o que representa a situação ideal em operações de pesagem sendo o valor medido bastante fiável. Deste modo, elimina-se o efeito que as forças geradas no pavimento exercem sobre os sensores de faixas, que consiste no pavimento suportar parte do peso dos pneus e não ser registado o peso real dos mesmos. Consequentemente, os sistemas de células de carga hidráulica são considerados sistemas dispendiosos porém com um desempenho muito eficaz. (Hallenbeck e Weinblatt, 2004)

As células de carga hidráulica apresentam três grandes vantagens comuns face às placas de dobragem: em primeiro lugar, a sua plataforma de pesagem larga (a placa do sensor pela qual passam os pneus) permite que cada pneu seja completamente individualizado no sensor de pesagem, tornando estes sistemas insensíveis ao efeito “*bridging*” dos pneus sobre o sensor, ao contrário dos sensores piezoelétricos de faixas. Em segundo lugar, devido ao facto da plataforma de pesagem assentar numa estrutura metálica, a resposta da balança não é

influenciada pelas mudanças climáticas ao longo do ano que podem afetar a resistência ou a rigidez do pavimento (AASHTO, 2009).

Estes sensores são considerados os mais eficazes mas também os mais dispendiosos dentro das tecnologias de WIM e tanto podem ser utilizados para a recolha de dados como para fins de pesagem de eixos (Mimbela e Klein, 2000, AASHTO, 2009). Quer o seu grande custo como o nível elevado de eficácia resultam em grande parte do trabalho envolvido na instalação dos sensores. (AASHTO, 2009).

O custo elevado destes sensores fica a dever-se não apenas ao investimento mas também à sua operação e manutenção, pois estes sensores requerem a completa substituição do mecanismo de pesagem após um período de 5 anos (Mimbela e Klein, 2000).

2.3.2. Técnicas não intrusivas

As técnicas não intrusivas são aquelas cujos sensores não são instalados diretamente à superfície da faixa de rodagem ou no interior desta, mas sim por cima da faixa de rodagem ou na berma. (Mimbela e Klein, 2000, Hallenbeck e Weinblatt, 2004)

Apesar das técnicas intrusivas serem mais utilizadas para a recolha de dados de tráfego, a necessidade dos sensores serem instalados à superfície ou no interior da faixa de rodagem apresenta desvantagens significativas, como por exemplo o facto de durante a instalação dos sensores os técnicos estarem sujeitos ao risco resultante da exposição ao tráfego e de muitas vezes haver a necessidade de se interromper o tráfego para se efetuar a instalação dos sensores na faixa de rodagem. (AASHTO, 2009)

Por vezes, as autoridades rodoviárias estipulam que contagens de curta duração não podem ser efetuadas com sensores intrusivos em zonas denominadas como zonas vermelhas (“*red zones*”) ou zonas onde não é permitida a contagem “*no count zones*”. Estas restrições são estabelecidas devido ao facto de existirem elevados volumes de tráfego nesses trechos e isso representar um perigo para os técnicos que vão proceder à instalação no local, que não podem trabalhar em segurança e muitas vezes não ser viável interromper o tráfego nessas

zonas para os técnicos poderem trabalhar, devido à grande afluência que se verifica (AASHTO, 2009).

Contudo, a recolha de dados nessas zonas, pode ser indispensável. Como consequência, ao longo dos anos foram sendo desenvolvidas novas tecnologias de recolha de dados de tráfego que não requerem o acesso à faixa de rodagem para a execução desta tarefa, ou seja, tecnologias não intrusivas. Estas tecnologias contam com sensores posicionados acima da faixa de rodagem ou na berma. Deste modo não é necessário proceder-se à interrupção do tráfego nem submeter os técnicos a condições de trabalho arriscadas (AASHTO, 2009).

Segundo Hallenbeck e Weinblatt (2004), as técnicas não intrusivas possuem um número alargado de vantagens em relação às técnicas compostas por sensores instalados à superfície do pavimento. As principais vantagens são a melhoria da segurança das condições de trabalho dos técnicos e o facto de não ser necessário proceder à interrupção do tráfego para a instalação dos sensores. Um aspeto importante é a capacidade que alguns destes sensores possuem de recolher dados em mais de uma via de tráfego ao mesmo tempo a partir de um único sensor. A facilidade de manutenção e reparação face aos sensores colocados no pavimento é também maior, devido ao fácil acesso.

Estas técnicas possuem também algumas desvantagens, sendo a principal o facto de não contarem eixos de veículos com exatidão, o que segundo Hallenbeck e Weinblatt (2004) é um aspeto importante para estimar as solicitações do tráfego no dimensionamento de pavimentos. Alguns dos sensores não intrusivos contam eixos, porém a sua aplicação é limitada e apresentam problemas de instalação semelhantes aos sensores intrusivos (i.e., sem serem instalados na faixa de rodagem ao nível do pavimento, apenas podem observar uma via de tráfego). Outro problema comum é o dos veículos observados a partir da berma serem por vezes encobertos por outros veículos, ou seja, a linha de visão do sensor é bloqueada pela passagem de dois veículos em simultâneo. Este fenómeno é chamado de “oclusão” e é uma possível fonte de erro para qualquer tecnologia não intrusiva que necessite de ter uma linha de visão sobre o tráfego para efetuar a recolha dos dados de tráfego (AASHTO, 2009, Hallenbeck e Weinblatt, 2004). Como resultado desta incapacidade de contar eixos com

exatidão, a maior parte destes sensores efetua a classificação de veículos com base no seu comprimento total (Hallenbeck e Weinblatt, 2004).

Estas técnicas não correlacionam diretamente os veículos às classes de veículos definidas no sistema de classificação, como no caso dos sistemas WIM, ainda assim conseguem fornecer dados importantes para fins de dimensionamento de pavimentos. Comparativamente aos sistemas WIM, nas técnicas não intrusivas o uso da classificação de veículos baseada no comprimento total dos mesmos requer uma etapa adicional de tratamento de dados para correlacionar os veículos com as respectivas classes.

À semelhança das técnicas intrusivas, a exatidão dos sistemas de classificação não intrusivos é função dos sensores, da sua instalação e do correto posicionamento dos mesmos. A variável mais importante é o posicionamento dos sensores num local onde estes possam trabalhar corretamente. É pois necessário colocá-los numa posição em que seja possível detetar todos os veículos a classificar. Quando os sensores são instalados na berma devem ser colocados num ponto suficientemente alto para que possam detetar os veículos e classificá-los com eficácia (Hallenbeck e Weinblatt, 2004).

A seleção do local para a montagem dos sensores varia de técnica para técnica, sendo esta informação disponibilizada pelos fornecedores. (Hallenbeck e Weinblatt, 2004)

As técnicas não intrusivas que serão abordadas de seguida são as seguintes:

- Sistemas de deteção de imagens vídeo
- Radares micro-ondas
- Sistemas de deteção a laser
- Sistemas de infravermelhos
- Sensores de infravermelhos passivos
- Sensores de infravermelhos ativos
- Sistemas acústicos passivos
- Sistemas de ultrassons
- Outros sistemas de deteção de veículos
- Dispositivos de identificação de veículos
- Redes de sensores sem fios

- Recolha manual de dados

2.3.2.1. Sistemas de detecção de imagens vídeo

A detecção de imagens vídeo é a técnica não intrusiva de recolha de dados mais utilizada hoje em dia (Hallenbeck e Weinblatt, 2004). Segundo Mimbela e Klein (2000), as câmaras de vídeo foram introduzidas nos sistemas de gestão de tráfego para a supervisão das estradas devido à sua capacidade de transmitir imagens num circuito fechado de televisão para posterior interpretação por parte de um técnico. Com os sucessivos avanços da tecnologia, a análise manual tem sido preferencialmente automatizada e hoje o processamento de imagens vídeo é utilizado para analisar automaticamente os cenários de interesse e extrair as informações necessárias para controle do tráfego (Mimbela e Klein, 2000).

Os sistemas de detecção em imagens de vídeo são baseados em técnicas de processamento de imagem digital para extrair informações de tráfego a partir de imagens captadas por câmaras de vídeo colocadas na estrada (Mimbela e Klein, 2000). Segundo Hallenbeck e Weinblatt (2004), os dispositivos de vídeo convertem as imagens da câmara em representações digitais (imagens de pixel) sendo posteriormente utilizadas por microprocessadores para análise dessas representações.

O sistema processador de imagens vídeo é tipicamente constituído por uma ou duas câmaras, um computador (composto por um microprocessador para a digitalização e processamento da imagem) e *software* para interpretação das imagens e posterior conversão em dados de fluxo de tráfego (Mimbela e Klein, 2000).

Existem três técnicas básicas de análise de imagens vídeo que são o sistema *tripline*, o sistema de monitorização de vídeo e o sistema de *data association tracking* (Mimbela e Klein, 2000, AASHTO, 2009). Os três sistemas identificam os veículos através de grupos de píxeis nas imagens de vídeo captadas por câmaras digitais como sendo veículos.

A técnica *tripline* consiste num sistema virtual de espiras eletromagnéticas, ou seja, são definidas nas imagens de vídeo zonas de detecção que funcionam como espiras eletromagnéticas virtuais. Quando um objeto (i.e., veículo) atravessa uma dessas zonas

verifica-se nas imagens uma mudança nos pixels em relação à situação de ausência do veículo (Mimbela e Klein, 2000, Hallenbeck e Weinblatt, 2004, Klein et al., 2006, AASHTO, 2009). Quando os veículos passam por uma zona de detecção a espira correspondente é ativada e produz como resposta o sinal de presença de um veículo (Klein et al., 2006, AASHTO, 2009). Se duas zonas de detecção consecutivas forem marcadas a uma distância conhecida, equiparando as mesmas ao princípio de funcionamento de duas espiras eletromagnéticas consecutivas é possível determinar a velocidade do veículo, dividindo a distância entre as zonas pelo tempo que o veículo demora a percorrer essa distância. Da mesma forma é possível determinar o comprimento total do veículo, dividindo a velocidade pelo tempo que este ocupa a zona de detecção (Mimbela & Klein, 2000, Hallenbeck e Weinblatt, 2004, Klein et al., 2006, AASHTO, 2009). Na figura seguinte apresentam-se dois exemplos destes sistemas:



Figura 8 – Sistemas de detecção de imagens de vídeo “Tripline”. (a) Autoscope 2004. (b) Autoscope Solo (Klein et al., 2006).

A técnica de *vídeo tracking* (ou *closed loop tracking*) emprega algoritmos para identificar, detetar e rastrear veículos à medida que estes passam pelo campo de visão da câmara através da análise de imagens de vídeo sucessivas (“*frame to frame*”). Ou seja, deteções múltiplas de um determinado veículo em imagens de vídeo são utilizadas para validar a deteção e, uma vez esta validada, o veículo é contabilizado (Mimbela e Klein, 2000, Hallenbeck e Weinblatt, 2004, AASHTO, 2009). Estes sistemas de supervisão podem fornecer dados de tráfego adicionais, como é o caso da velocidade, número de mudanças de via, entre outros (Mimbela e Klein, 2000, AASHTO, 2009). Na figura seguinte apresenta-se um sistema processador de imagens de vídeo:



Figura 9 – Processador de imagens de vídeo “Closed-loop tracking” (Klein et al., 2006).

Finalmente, a “*Data Association Tracking*” designada por “*Feature Extraction*” examina detalhadamente numa imagem de vídeo um grupo de pixéis associado a um veículo, a fim de determinar características específicas do veículo através dessa imagem (AASHTO, 2009, Mimbela e Klein, 2000).

Enquanto os sistemas *tripline* podem apenas classificar veículos com base no comprimento total dos mesmos, esta técnica classifica os veículos com base em características específicas, como altura, comprimento e cor (AASHTO, 2009). Tome-se como exemplo um caso citado pela AASHTO (2009), em que um autocarro escolar observado por um sistema *tripline* foi simplesmente classificado como um veículo longo ao passo que um sistema de *data association tracking* permite classificá-lo como um autocarro escolar com base na sua altura, largura, comprimento e cor.

Segundo Mimbela e Klein (2000), os sistemas de *data association tracking* podem fornecer informações, tais como, tempos de viagem e pares origem-destino, através da identificação e rastreio dos veículos em imagens de vídeo sucessivas.

Um processador de imagens de vídeo pode substituir um grande número de espiras eletromagnéticas, permitindo a deteção de um grande número de vias de tráfego de uma só vez, com um custo de manutenção mais baixo (Mimbela e Klein, 2000).

A qualidade das imagens de vídeo é função do modo como a câmara consegue visualizar a corrente de tráfego. Uma grande variedade de fatores pode afetar adversamente o grau de visibilidade da câmara bem como o seu desempenho. Exemplo destes fatores são: a

qualidade das lentes integradas na câmara, a alteração das condições de iluminação (transição do dia para a noite e vice-versa), a falta de iluminação, o ângulo, a altura e a posição da câmara; a vibração da câmara (induzida pela força do vento sobre o mastro); a visibilidade limitada causada por fenómenos como chuva forte, neve ou tempestades de poeira; o reflexo causado pelo pavimento molhado e pelos faróis dos veículos; e a alteração das imagens de vídeo provocada pela presença de condensação de água, manchas de sal ou teias de aranha nas lentes (Hallenbeck e Weinblatt, 2004, AASHTO, 2009). Segundo (Hallenbeck e Weinblatt, 2004), a precisão das contagens obtidas por estes sistemas é largamente dependente da capacidade do sistema em lidar com estes fatores.

Nestes equipamentos, as lentes das câmaras precisam de ser bem protegidas da agressividade do meio exterior. Similarmente e com intuito de maximizar a desempenho dos sistemas baseados em vídeo, a colocação das câmaras deve minimizar os efeitos de mudança das condições de iluminação (Hallenbeck & Weinblatt, 2004).

A instalação da câmara é um dos fatores mais importantes para garantir que os sensores baseados em vídeo funcionem de forma eficaz. As câmaras devem ser instaladas de modo a minimizar os fatores anteriormente citados que tendem a afetar a deteção de tráfego. Em particular, estas devem ser colocadas a uma altura suficiente para que consigam observar com clareza o tráfego e limitar fenómenos como a oclusão.

Em geral, quanto mais alta a câmara menos oclusão pode ocorrer nas imagens e menor a possibilidade de subestimação na contagem. Contudo, colocar a câmara a uma grande altura aumenta a distância entre a câmara e os objetos a observar o que pode aumentar a possibilidade de se ter visibilidade reduzida (devido a chuvas fortes, nevoeiro, queda de neve ou poeira) ou ocultar os veículos a observar. Os sistemas de câmara podem ser operados de cima da faixa de rodagem bem como na zona lateral à faixa de rodagem. A colocação das câmaras acima da faixa de rodagem geralmente resulta na recolha mais precisa de dados de tráfego, porém a colocação das câmaras na zona lateral à faixa de rodagem é geralmente mais fácil e também menos dispendiosa relativamente à instalação e manutenção (AASHTO, 2009).

Ainda acerca da instalação das câmaras, é necessário calcular a distância máxima a que a câmara consegue distinguir dois veículos muito próximos. Deve ter-se atenção também

aos fatores que podem influenciar a distância d (*distância medida na horizontal à superfície do pavimento entre a estrutura de suporte da câmara e o veículo em questão*), bem como o nível de congestionamento do tráfego, a configuração da via, as condições meteorológicas adversas, entre outros (ver Figura 10). Esta distância expressa em metros pode ser calculada através da seguinte equação:

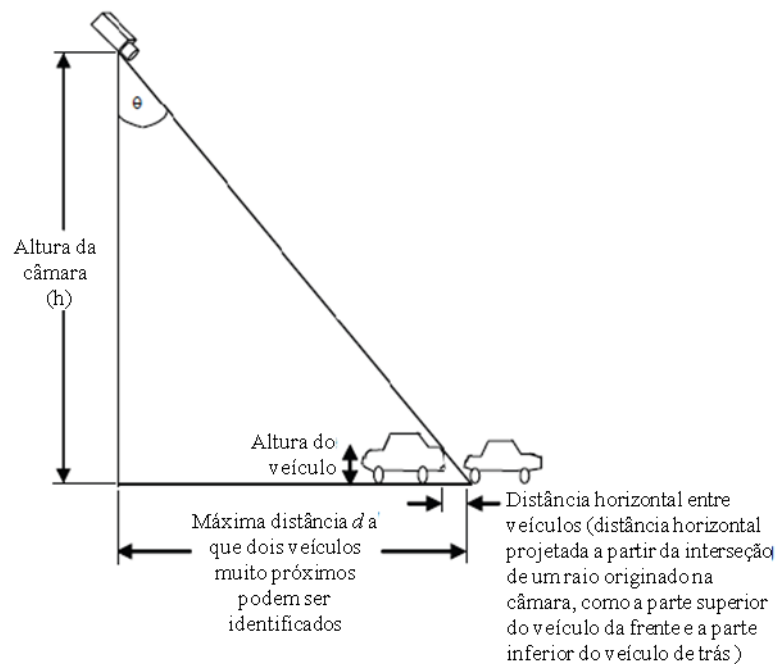


Figura 10 – Máxima distância entre dois veículos para a qual eles podem ser distinguidos (Klein et al., 2006)

$$d = h \frac{veh_{gap}}{veh_{height}} \quad (5)$$

em que:

h - altura de montagem da câmara

Veh_{gap} – espaçamento entre veículos

Veh_{height} – altura do veículo

2.3.2.2. Radares de micro-ondas

Os radares micro-ondas emitem radiações de micro-ondas de baixa energia para uma determinada área no pavimento e depois analisam o sinal refletido de volta que é captado pelo

recetor (Mimbela & Klein, 2000, Hallenbeck & Weinblatt, 2004, AASHTO, 2009). A energia é transmitida através de uma antena colocada na zona superior ou lateral à faixa de rodagem. Quando um veículo passa pelo feixe transmitido pela antena, uma porção da energia transmitida é refletida no veículo de volta para a antena. A energia devolvida valida a deteção de um veículo, registando dados como o volume, a velocidade, a ocupação e o comprimento são calculados (Mimbela e Klein, 2000).

Segundo Mimbela e Klein (2000) e Klein et al., (2006) são utilizados dois tipos de sensores de radares micro-ondas na zona lateral à faixa de rodagem, o radar doppler de onda contínua (CW- *continuous wave doppler radar*) e o radar de onda contínua de frequência modelada (FMCW- *frequency modulated continuous wave radar*).

O princípio de funcionamento do *radar doppler de onda contínua (CW)* baseia-se na transmissão de uma onda de rádio contínua cuja frequência é constante ao longo do tempo e na medição da alteração dessa frequência causada pelo efeito doppler⁴ que se dá quando o sinal retorna ao recetor devido à passagem de um veículo (Mimbela e Klein, 2000, AASHTO, 2009). De acordo com este princípio, o movimento de um veículo induz uma alteração na frequência do sinal devolvido ao recetor do sensor, validando assim a deteção do veículo. Por conseguinte, a frequência do sinal recebido diminui quando um veículo se afasta do radar e aumenta quando um veículo se dirige para o radar, sendo a presença do veículo notada quando ocorre a alteração da frequência. Estes sensores apresentam uma restrição, a incapacidade de deteção de veículos parados sem um sistema de medição (Mimbela & Klein, 2000). Na figura seguinte apresenta-se um sensor deste tipo:

⁴ O efeito Doppler é uma característica das ondas sonora emitidas ou transmitidas e é o fenómeno pelo qual o observador percebe frequências diferentes das emitidas por uma fonte. O mesmo consiste na alteração da frequência transmitida (ou recebida) por um objeto devido ao seu movimento em relação à fonte de ondas. Quando o objeto se aproxima da fonte, a frequência recebida é maior do que a emitida. Da mesma forma, quando este se afasta da fonte, a frequência recebida é menor que a emitida.



Figura 11 – Radar doppler de onda contínua ASIM DT 281 (Klein et al., 2006).

O princípio de funcionamento do *radar de onda contínua de frequência modelada (FMCW)* baseia-se na transmissão de uma onda de rádio contínua cuja frequência é variável ao longo do tempo. Estes sensores transmitem um impulso de energia e medem o tempo de atraso da energia devolvida, ou seja, o tempo que a energia demora a ser devolvida ao recetor do sensor o qual permite calcular a distância até ao veículo detetado (Mimbela e Klein, 2000, AASHTO, 2009).

Os radares FMCW operam como detetores de presença e têm a capacidade de detetar veículos parados. Estes sensores medem a velocidade dos veículos numa via de tráfego utilizando uma técnica denominada “*range binning*”, que consiste em dividir o campo de visão na direção do sentido do veículo em pequenas áreas, ou zonas de deteção, designadas “bins” (ver Figura 12). Estas áreas permitem que o sinal refletido seja dividido e identificado em secções mais pequenas na faixa de rodagem (Mimbela e Klein, 2000).

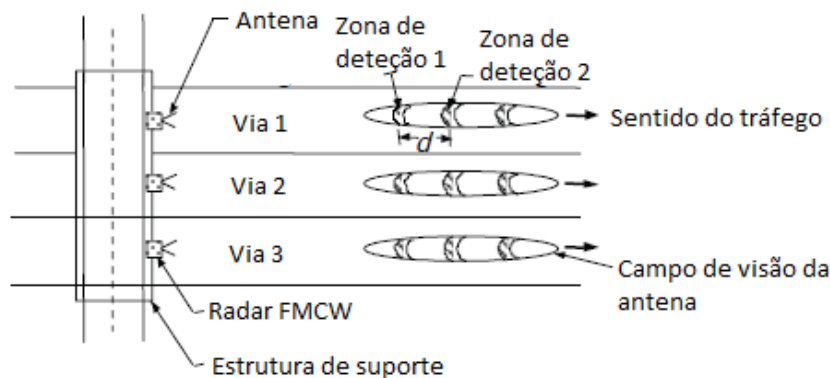


Figura 12 – Modo de funcionamento dos radares FMCW (Adaptado de (Klein et al., 2006).

Estes sensores são capazes de medir a presença e a velocidade dos veículos, mas não são capazes de efetuar a classificação dos mesmos (AASHTO, 2009).

Quando colocados por cima da faixa de rodagem numa via de tráfego estes sensores são instalados no centro da mesma e só observam essa via de tráfego. Porém esta localização tende a reduzir o fenómeno de oclusão de veículos e aumenta a exatidão da medição do sensor (AASHTO, 2009).

Quando os sensores são colocados ao lado das vias de tráfego, ou seja, na zona lateral à faixa de rodagem são capazes de medir o tráfego que circula em todas as vias. Contudo esta localização afeta a exatidão da recolha de dados. (AASHTO, 2009)

Uma das grandes vantagens dos radares de micro-ondas é que estes são geralmente insensíveis a condições meteorológicas muito severas. Estes sensores fornecem a medição direta da velocidade e existem modelos que conseguem observar múltiplas vias (AASHTO, 2009).

Como desvantagem refira-se que as aplicações destes sistemas devem garantir que a extensão do feixe e o tipo de onda emitidos pela antena sejam adequados à aplicação. Os radares Doppler de onda contínua (CW) não são capazes de detetar veículos parados a não ser que sejam equipados com outros dispositivos auxiliares (Mimbela & Klein, 2000).

2.3.2.3. Sistemas de infravermelhos

Os sistemas de infravermelhos podem ser ativos ou passivos (Mimbela & Klein, 2000, Hallenbeck e Weinblatt, 2004, AASHTO, 2009). Os sensores podem ser montados por cima da faixa de rodagem para observar o tráfego que se aproxima bem como o tráfego que dali parte. Os sensores de infravermelhos são utilizados para controlo de sinais luminosos, medição de volumes de tráfego e velocidade, classificação de veículos bem como para deteção de peões em passadeiras. Com os sensores infravermelhos a palavra detetor assume outro significado, nomeadamente o elemento sensível à luz que converte a energia refletida ou emitida em sinais elétricos. Processadores de sinal em tempo real são utilizados para analisar o sinal recebido pela presença do veículo (Mimbela e Klein, 2000).

2.3.2.3.1. Sensores de infravermelhos passivos

Segundo Brito (2012), os sensores passivos funcionam por detecção do calor emitido por um objeto ou superfície (ver Figura 13). Estes sensores não emitem energia própria, apenas detetam a energia emitida por veículos, superfície dos pavimentos, atmosfera e outros elementos do seu campo de visão (Mimbela e Klein, 2000, Hallenbeck e Weinblatt, 2004, AASHTO, 2009).

Quando um veículo entra no campo de visão da câmara, a alteração que se verifica na quantidade de energia emitida é interpretada como um sinal que indica a presença do veículo (Mimbela e Klein, 2000, Hallenbeck e Weinblatt, 2004).

Este tipo de sensores é normalmente utilizado para a detecção de veículos ou de peões. Apresentam-se normalmente sob a forma de câmaras pelo que detetam variações de energia que podem ser exibidas como imagens e consequentemente convertidas em dados de tráfego de veículos, geralmente volume e velocidade (AASHTO, 2009).



(a)



(b)

Figura 13 – Sensores de infravermelhos passivos. (a) Eltec 842. (b) ASIM IR série 250 (Klein et al., 2006).

Se um determinado trecho for supervisionado em dois pontos, com dois sensores infravermelhos passivos consecutivos é possível calcular a velocidade do veículo e consequentemente o comprimento total dos mesmos (Mimbela e Klein, 2000, Hallenbeck e Weinblatt, 2004).

De acordo com Mimbela e Klein (2000), existe uma variante destes sensores denominados *infravermelhos passivos de zonas múltiplas*, que medem a velocidade e o comprimento dos veículos, bem como o volume e a ocupação da via. Estes modelos são concebidos com zonas de deteção de energia termostática e termodinâmica, que conferem funcionamento semelhante ao de duas espiras eletromagnéticas. A configuração destes sensores é mostrada na Figura 14. Os atrasos de tempo entre os sinais de três zonas dinâmicas são utilizados para medir a velocidade. O tempo de presença do veículo nas quatro zonas fornece a ocupação de veículos parados e em movimento.

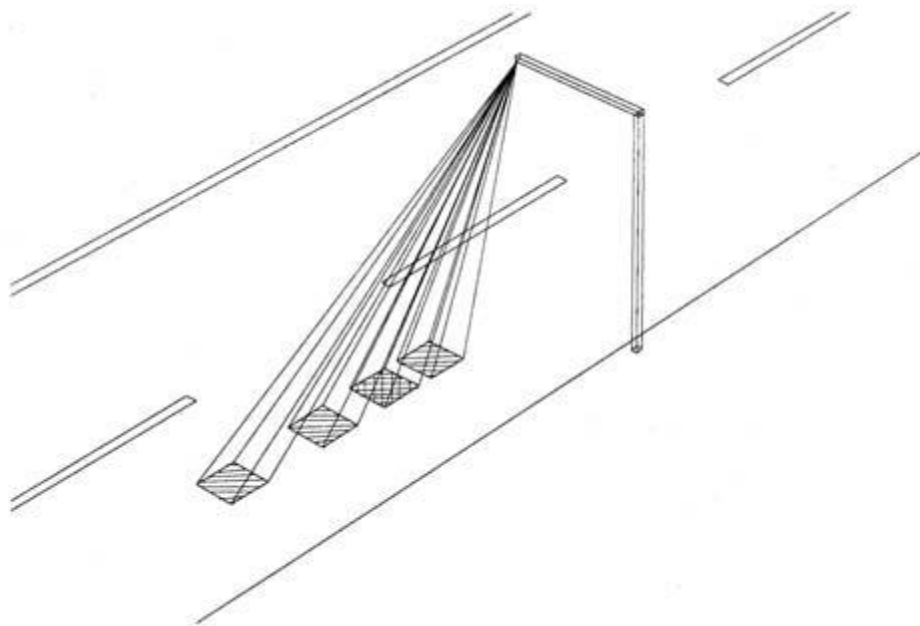


Figura 14 – Sensores infravermelhos passivos de zonas múltiplas (Klein et al., 2006).

2.3.2.3.2. Sensores de infravermelhos ativos

Os sensores infravermelhos ativos também designados por sensores de laser diferem dos passivos pelo facto de o feixe de laser ser direccionado do aparelho de recolha de dados para a superfície do pavimento (Hallenbeck e Weinblatt, 2004). Estes sensores emitem um feixe de laser infravermelho que é interrompido quando um veículo passa através do mesmo (Hallenbeck & Weinblatt, 2004, AASHTO, 2009). Estes sensores medem o intervalo de tempo que o feixe emitido demora a ser devolvido ao aparelho, sendo detetada a presença de um veículo quando há uma redução nesse intervalo (Hallenbeck & Weinblatt, 2004).

Consoante a altura a que o sensor é colocado e a direção do feixe, este pode medir veículos ou eixos. Se os sensores forem instalados em série é possível medir a velocidade dos veículos e classificá-los tendo em conta o número e o espaçamento de eixos (AASHTO, 2009). Estes sensores são capazes de recolher com eficácia dados de volume, velocidade e classificação em faixas de rodagem de múltiplas vias de tráfego (Mimbela e Klein, 2000, AASHTO, 2009).

Como já acima referido, quando passa um veículo, ele interrompe o feixe de laser emitido pelo sensor, o que faz com que se formem dois sinais separados pertencentes a um único sensor; deste modo é possível contabilizar a velocidade do veículo bem como o comprimento total. É assim possível classificar os veículos com base no comprimento total a partir de um único sensor (Hallenbeck e Weinblatt, 2004).

Os sensores de laser modernos são capazes de medir a altura dos veículos e a partir daí criar imagens bi e tridimensionais dos veículos que passam, conforme se pode ver na Figura 15, aumentando a capacidade de gerar classificações mais precisas (Mimbela e Klein, 2000, Hallenbeck e Weinblatt, 2004). Na Figura 16 apresenta-se o exemplo de um sensor de laser.

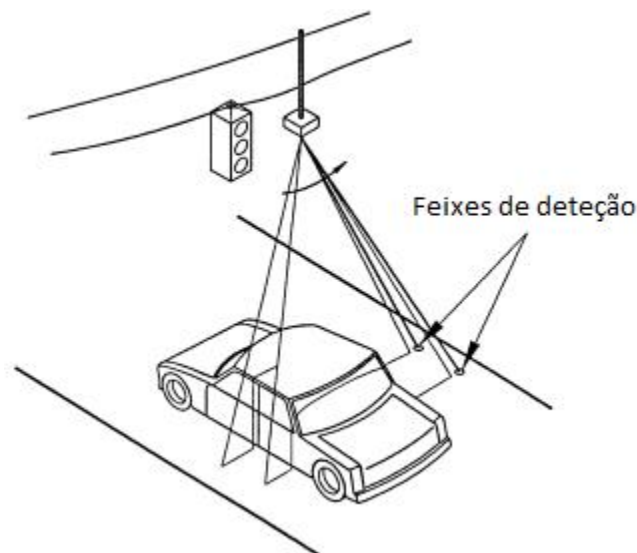


Figura 15 – Geometria dos feixes de deteção de um sensor de laser (Adaptado de Klein et al., 2006).

As condições meteorológicas não afetam o modo de operação destes sensores, e por conseguinte não apresentam degradação do sinal em situações de visibilidade reduzida, provocadas pelo mau tempo (Hallenbeck e Weinblatt, 2004).



Figura 16 – Sensor de laser Autosense II (Klein et al., 2006).

Estes sensores apresentam como principal vantagem, o facto de não requererem um procedimento invasivo no pavimento. Por outro lado, ao emitirem múltiplos feixes para a medição precisa da posição do veículo, velocidade e respetiva classificação, os sensores de infravermelhos ativos de zonas múltiplas conseguem medir com elevada eficácia a velocidade dos veículos (Mimbela e Klein, 2000).

No entanto, o reflexo da luz solar pode por vezes provocar o aparecimento de sinais indesejados e confusos nestes sistemas. Partículas atmosféricas e condições meteorológicas rigorosas podem por vezes dispersar ou absorver a energia que de outro modo atingiria o plano focal (Mimbela e Klein, 2000).

2.3.2.4. Sistemas de deteção a laser

Os sistemas de deteção a laser apresentam um funcionamento semelhante aos sistemas de infravermelhos ativos abordados anteriormente (AASHTO, 2009).

Quando montados por cima da faixa de rodagem têm utilidade na contagem e classificação de veículos. Cada sensor (laser) gera a informação de deteção de um veículo

quando o mesmo interrompe o feixe de laser emitido, fenómeno já atrás descrito, bem como a informação da altura do veículo. Colocando dois sensores em série, é possível fornecer a velocidade do veículo bem como efetuar a classificação baseada no comprimento total e na altura (AASHTO, 2009).

Quando montados na berma da faixa de rodagem, os sistemas de laser podem adicionalmente ser utilizados como detetores de eixos, à semelhança dos sensores infravermelhos citados anteriormente. Tal como todos os sistemas montados na berma da faixa de rodagem, uma das maiores preocupações é o fenómeno de oclusão de veículos. Os sensores de laser cuja função é detetar eixos são menos afetados pela oclusão, pois o sistema é apenas afetado quando os pneus de dois veículos que circulam em vias de tráfego diferentes chegam simultaneamente à localização do sensor (AASHTO, 2009).

2.3.2.5. Sistemas acústicos passivos

Os sensores acústicos passivos consistem num conjunto de microfones dirigidos para a corrente de tráfego. Os microfones detetam a energia acústica e os sons audíveis produzidos pelo tráfego de veículos, nomeadamente o som provocado pela interação dos pneus com o pavimento e o funcionamento do motor dos veículos que se aproximam. A altas velocidades, o ruído resultante do contato dos pneus com a superfície do pavimento é o mecanismo primário através do qual os veículos são detetados (Mimbela e Klein, 2000, Hallenbeck e Weinblatt, 2004, AASHTO, 2009). A baixas velocidades, o ruído do motor a trabalhar é mais notado, logo, esta é a fonte primária de deteção de veículos. Os detetores acústicos passivos são capazes de medir o volume, a presença e a velocidade (Hallenbeck e Weinblatt, 2004, AASHTO, 2009).

De acordo com Hallenbeck e Weinblatt (2004), os detetores acústicos medem fisicamente as alterações na energia do som irradiado pela faixa de rodagem. Quando um veículo entra na zona de deteção verifica-se um aumento da energia do som e gera-se automaticamente um sinal indicador da presença de um veículo. Quando o veículo deixa a zona de deteção o nível da energia do som decresce e o sinal de presença do veículo termina (Mimbela e Klein, 2000, Hallenbeck e Weinblatt, 2004).

Utilizando múltiplas zonas de deteção é possível estimar a velocidade e o comprimento total do veículo, possibilitando assim a classificação de veículos com base no comprimento dos mesmos (Hallenbeck e Weinblatt, 2004).

Na Figura 17 apresenta-se um equipamento deste tipo, capaz de detetar energia acústica de 7 vias de tráfego em simultâneo quando montado no centro da faixa de rodagem e 5 vias de tráfego quando montado na berma da faixa de rodagem (Mimbela e Klein, 2000).



Figura 17 – Sensor acústico passivo SAS-1 (Klein et al., 2006).

À semelhança de outros sensores não intrusivos, a grande vantagem dos sensores acústicos passivos é que a sua instalação não requer um procedimento invasivo ao pavimento. Estes sensores apresentam-se pouco sensíveis à precipitação e observam múltiplas vias de tráfego (Mimbela e Klein, 2000).

A grande desvantagem destes aparelhos prende-se com a exatidão, podendo esta ser afetada em presença de condições ambientais severas que dificultem a propagação do som, isto é, situações de ventos fortes, quedas de neve ou chuva intensas (AASHTO, 2009). Segundo (Hallenbeck & Weinblatt, 2004), verificou-se que alguns sensores acústicos perdem a exatidão na contagem quando os veículos estão parados ou se movem lentamente. Veículos muito ruidosos provocam muitas vezes falsas leituras.

2.3.2.6. Sistemas de ultrassons

Os sistemas de ultrassons emitem uma pulsação de energia acústica e medem o intervalo de tempo que o sinal leva a retornar ao aparelho. Na situação em que não se encontra nenhum veículo na faixa de rodagem, retorna apenas ao sensor a energia refletida pela superfície do pavimento e o intervalo de tempo mantém-se constante. Quando passa um veículo, o sensor recebe de volta uma energia num intervalo de tempo inferior ao da energia refletida pela superfície do pavimento, portanto, quando a energia retorna mais depressa ao sensor este percebe o sinal como sendo a passagem de um veículo. Existem dois sistemas de ultrassons que são análogos aos dois sistemas de radar anteriormente descritos: os *detetores de impulsos ultrassónicos* e os *aparelhos de doppler ultrassónicos* (Hallenbeck e Weinblatt, 2004, AASHTO, 2009).

Os detetores de impulsos ultrassónicos “*Ultrasonic Pulse Detectors*” (ver Figura 18), medem o tempo que a energia emitida demora a ser refletida de volta para o sensor. Por outro lado, quando é medida outra distância que não seja a distância entre o sensor e a superfície do pavimento, o sensor interpreta essa medição como sendo a presença de um veículo (AASHTO, 2009).



Figura 18 – Detetores de impulsos ultrassónicos TC-30C (Mimbela e Klein, 2000).

Os aparelhos de Doppler ultrassónicos “*Ultrasonic Doppler Devices*” emitem um sinal ultrassónico contínuo e utilizam o efeito Doppler para medir a alteração do sinal causada

pela reflexão do mesmo quando passa um veículo (AASHTO, 2009, Hallenbeck & Weinblatt, 2004).

Ambos os tipos de detetores efetuam a medição do volume, velocidade e ocupação da via, embora os sensores de Doppler não sejam capazes de detetar veículos parados (Hallenbeck e Weinblatt, 2004, AASHTO, 2009). Os detetores de impulsos ultrassónicos quando colocados por cima da via de tráfego podem ser utilizados para classificar veículos com base na altura e no comprimento dos veículos. A técnica usada para este sistema é análoga aos sistemas de laser anteriormente descritos (AASHTO, 2009).

A posição mais favorável para se obter o melhor sinal refletido de volta para o sensor consiste na suspensão no centro da faixa de rodagem (ver Figura 19), pois confere uma superfície de reflexão perpendicular (Hallenbeck e Weinblatt, 2004).

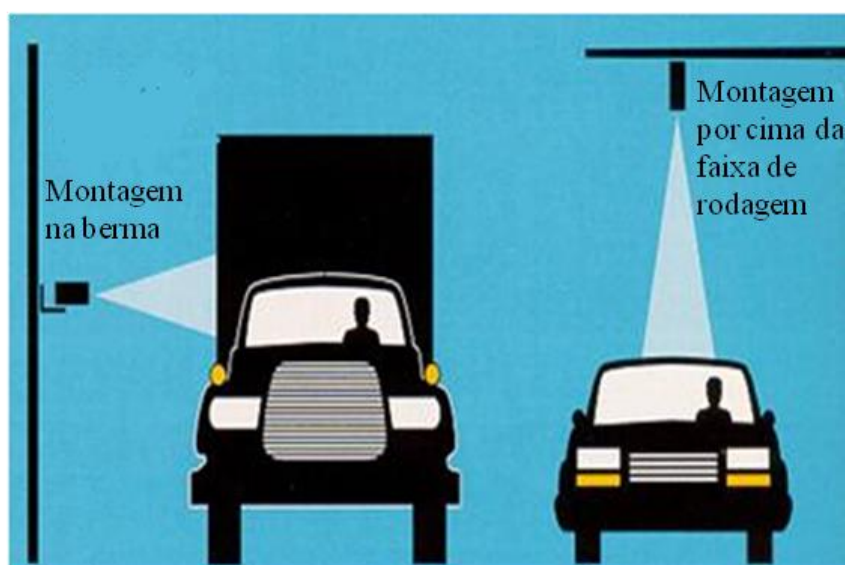


Figura 19 - Possíveis localizações dos sensores de ultrassons (Klein et al., 2006)

A grande vantagem destes sistemas, à semelhança de outros sensores não intrusivos, é o facto de a sua instalação não requerer um procedimento invasivo no pavimento (AASHTO, 2009).

Testes indicam que grandes variações de temperatura e extrema turbulência no ar podem diminuir a exatidão dos aparelhos ultrassónicos, sendo esta a sua principal

desvantagem. É ainda de realçar o facto destes aparelhos terem caído em desuso nos EUA (AASHTO, 2009).

2.3.2.7. Dispositivos de identificação de veículos

Os sistemas de identificação automática de veículos AVI (*Automatic Vehicle Identification*) baseiam-se na identificação por radiofrequência *RFID* (*Radio Frequency Identification*) e têm grande aplicação na recolha de dados em portagens eletrónicas, controlo de sistemas de transportes inteligentes, passes de transportes públicos, entre outros. Nestes sistemas, é necessário instalar nos veículos um dispositivo eletrónico do tipo transmissor-recetor, que transmite um sinal com os dados de identificação do veículo para um recetor (dispositivo solicitador dos dados de identificação) que está ligado a um computador central com uma base de dados que contém a informação de todos os veículos que possuem este dispositivo (AASHTO, 2009).

Os sistemas AVI mais comuns utilizam a tecnologia de identificação por radiofrequência “*Radio frequency identification - RFID*”. O emissor de radiofrequência é composto por dispositivos “*RFID tags*” que podem ser ativos ou passivos. Os dispositivos ativos contêm uma bateria e possibilitam a comunicação de longas mensagens de identificação transmitidas a partir de longas distâncias. Os dispositivos passivos não contêm uma bateria e portanto absorvem e refletem a energia emitida pelo dispositivo solicitador (AASHTO, 2009).

Os sistemas de AVI não são considerados dispositivos de supervisão de tráfego, pois os dispositivos que leem as etiquetas RFID apenas detetam veículos que contêm essas etiquetas (AASHTO, 2009). A título de exemplo, em Portugal esta tecnologia é utilizada no domínio dos transportes sob a designação comercial de Via Verde e de acordo com (Via Verde, 2014) consiste na instalação de um dispositivo eletrónico no veículo, que permite identificar o local, a data e a hora de utilização de uma determinada estrutura através da ligação a uma antena instalada na via (podendo ser portagens, parques de estacionamento e postos de combustível).

Atualmente, existem no mundo muitas estradas com portagens e uma percentagem crescente das mesmas requer pagamento eletrónico com etiquetas RFID. Quando todos os veículos que circulem numa estrada estiverem equipados com etiquetas RFID será possível a recolha de dados de tráfego como o volume e a velocidade nessa mesma estrada utilizando sistemas de AVI (AASHTO, 2009).

Se as estradas com portagens associarem etiquetas específicas a veículos específicos, os motoristas não serão capazes de colocar uma etiqueta AVI pertencente a um veículo noutro veículo. Assim, se a base de dados contiver as informações relativas a todos os veículos as tecnologias de AVI poderão ser utilizadas efetuar a classificação de veículos. Por outro lado, se forem colocados vários detetores AVI ao longo de uma estrada, é possível recolher dados de velocidades médias com base no tempo de viagem percorrido entre dois detetores (AASHTO, 2009).

2.3.2.8. Recolha manual de dados

A contagem manual foi o primeiro método utilizado na recolha de dados de tráfego. Atualmente, recorre-se a este método principalmente quando se pretende obter detalhes específicos dos dados de tráfego, que não podem ser obtidos através de técnicas automáticas, tal como a ocupação do veículo (i.e., o número de ocupantes do veículo) ou, por exemplo, o registo de determinadas classes específicas de veículos pesados relevantes no dimensionamento de pavimentos. Além disso, as contagens manuais são ainda um instrumento importante para a contagem dos movimentos direcionais em interseções e para a classificação de veículos em locais onde os equipamentos automáticos não possam ser instalados em segurança ou em locais onde esses equipamentos poderão não funcionar corretamente devido à grande variação das velocidades de tráfego por existirem grandes níveis de aceleração e desaceleração (Andrade, 2000, AASHTO, 2009).

Este é o método mais simples que existe para a determinação de volumes de tráfego. Consiste em colocar na secção em estudo um ou mais observadores, cuja função é registar os veículos que passam pela secção durante um determinado período de tempo (Andrade, 2000, AASHTO, 2009). Contudo, para se obterem resultados com qualidade e fiabilidade é necessário que os observadores tenham alguma formação e treino para que desempenhem

corretamente o seu trabalho, assim como deve também existir uma adequada supervisão do trabalho (ver 2.3.2.8.2). É recomendável, numa fase inicial, efetuar um ensaio piloto para testar a prática dos observadores e se necessário proceder-se às devidas correções (Costa, 2008). Importa ainda salientar que os observadores devem estar posicionados num local confortável, onde tenham boa visibilidade sobre a corrente de tráfego (Andrade, 2000, AASHTO, 2009).

É frequente proceder-se a contagens manuais em imagens de vídeo quando nos locais em estudo não houver condições para a presença dos observadores, ou ainda em casos de congestionamento de vias urbanas onde ocorre grande afluência de tráfego (AASHTO, 2009).

As contagens devem ser realizadas por períodos de 15 minutos (IMTT, 2011). Algumas pesquisas mostraram que a eficácia da recolha manual de dados de tráfego tende a decrescer após 3 horas de trabalho do observador, pois a sua capacidade de concentração é afetada a partir deste período (AASHTO, 2009). Um observador consegue contar durante até 800 veículos por hora, porém convém que não exceda os 600 veículos por hora. Contudo, em períodos curtos um observador bem treinado pode contar até 2000 veíc/h (Road Research Laboratory, 1965). À medida que aumenta o volume de tráfego e a complexidade do local em estudo verifica-se a necessidade de dispor de um maior número de observadores (Andrade, 2000).

É necessário que neste tipo de contagem sejam previamente definidas as várias classes de veículos com base nas quais se irão identificar os mesmos. Estas devem ser claras e de fácil identificação para facilitar o trabalho dos observadores. O número de classes sendo variável, não deve ser exagerado para não dificultar a tarefa de classificação (Road Research Laboratory, 1965). Segundo Andrade (2000) é razoável a utilização de 6 classes para a identificação dos veículos.

Segundo a empresa gestora da rede viária de Portugal, a EP – *Estradas de Portugal*, S.A, as contagens devem ser realizadas por períodos de quinze minutos e os veículos devem ser agrupados de acordo com as categorias descritas no quadro seguinte.

Quadro 3 – Categorias de veículos a considerar na contagem manual

Sigla	Tipo de veículo	Descrição
MC	Motociclos	Inclui os motociclos, com ou sem <i>side-car</i> e os ciclomotores
AT	Automóveis	Inclui veículos ligeiros de passageiros com ou sem reboque, incluindo carrinhas de 9 lugares com o motorista
CL	Comerciais ligeiros	Inclui os veículos ligeiros de mercadoria (tipo furgão) e as camionetas, com ou sem reboque (peso bruto não pode exceder 3500 kg)
CP	Comerciais pesados	Inclui os veículos de mercadorias cujo peso bruto exceda os 3500 kg
AC	Autocarros	Inclui todos os veículos pesados de transporte de passageiros
ESP	Veículos especiais	Inclui todos os veículos especiais, inclusive tratores agrícolas

Existe um grande número de recursos de auxílio à recolha manual de dados de tráfego, nomeadamente impressos elaborados para o efeito (ver anexo A.1), o impresso utilizado pela EP para a realização das contagens classificadas), dispositivos eletrónicos e dispositivos mecânicos. Os impressos devem ser elaborados de forma simples e fácil, para que o observador não tenha dificuldades em identificar os veículos, devem conter quadros com as classes de veículos e as respetivas direções (no caso de contagens em interseções). O princípio de operação simples, consiste em assinalar com um traço a lápis, nas respetivas classes, os veículos que passam pelo observador, bem como identificar o movimento dos veículos (Andrade, 2000, AASHTO, 2009).

Os dispositivos mecânicos de contagem são uma ferramenta que facilita bastante o trabalho dos observadores, uma vez que estes acionam manualmente o botão do dispositivo cada vez que passa um veículo. É habitual a utilização de vários contadores em simultâneo, fazendo corresponder a cada contador uma classe de veículos ou um dado movimento direcional, cujos valores são somados para obter um valor final correspondente a um período de tempo pré-estabelecido. O uso de apenas um contador está habitualmente restringido ao registo direto dos veículos que passam, sem efetuar classificações (Road Research Laboratory, 1965).

Outra ferramenta de auxílio são os contadores eletrónicos que se apresentam sob a forma de aparelhos portáteis, que representam uma interseção tipo, com 16 movimentos, dos quais 8 são de viragem, 4 em frente e 4 inversões de marcha. Para cada um destes movimentos existe um botão de controlo relacionado, que deverá ser acionado pelo observador cada vez que um veículo passar uma dessas secções (Andrade, 2000).

A fase posterior à recolha dos dados através destes dispositivos representa o tratamento de dados que consiste na extração dos resultados das contagens obtidos pelos dispositivos, que pode ser efetuado de duas maneiras, a primeira é o registo manual do total de veículos contados que aparece no ecrã do aparelho e a segunda representa a extração da informação do dispositivo através de um programa de computador que por norma é já uma componente do sistema (Andrade, 2000).

Os “contadores de mão” são uma ferramenta de grande interesse na recolha manual de dados de tráfego, porém apresentam duas desvantagens. A primeira é que ao fim de um determinado período de contagem intermédio as contagens poderão não ser levadas a zero e segunda é que quando se recorrer à utilização de vários contadores em simultâneo (como foi visto anteriormente) o observador pode enganar-se e pressionar o contador errado, ou seja, aquele que não corresponda à classe pretendida (Andrade, 2000).

De acordo com Andrade (2000), a utilização de técnicas de contagem manual nem sempre é simples, principalmente quando o local em estudo são interseções complexas (nomeadamente em rotundas) onde existem vários movimentos direcionais possíveis. Nestes casos, verifica-se alguma dificuldade na observação do tráfego e no registo manual de todos os movimentos e portanto deve-se recorrer a métodos alternativos como é o caso do método de registo de matrículas.

Este método consiste em posicionar os observadores em locais estrategicamente selecionados, para que estes registem as matrículas dos veículos bem como o instante de passagem de cada veículo. O registo poderá ser feito através do preenchimento de impressos elaborados para o efeito ou através da utilização de gravadores de som ou gravadores de imagem. A fase seguinte será o tratamento de dados, que consiste em analisar a informação obtida com recurso a programas específicos que efetuam o cruzamento das matrículas dos

veículos registados em cada ponto de contagem, formando pares de modo a encontrar o percurso efetuado por cada veículo (Andrade, 2000).

Existem vários fatores que afetam as contagens de tráfego, sendo os mais comuns as condições meteorológicas, a finalidade das contagens, a localização dos observadores, do tipo de estrada e a composição do tráfego.

As condições meteorológicas adversas têm consequências negativas sobre as contagens de tráfego manuais, pois se o processo for interrompido devido a condições meteorológicas desfavoráveis os resultados podem conter grandes erros.

Por outro lado, efetuar contagens em zonas urbanas e em zonas rurais são duas situações completamente distintas devido às condições de trabalho existentes. Em zonas rurais, os operadores conseguem ter mais capacidade de concentração no decorrer da tarefa, enquanto que em zonas urbanas estes apresentam-se mais suscetíveis a perturbações, nomeadamente, o movimento dos operadores entre os locais de contagem e as instalações existentes em zonas urbanas, como é o caso de lojas, resultando assim em margens de erro elevadas dos dados recolhidos. Por isso, é essencial que haja supervisão e acompanhamento adequados nas áreas urbanas durante o decorrer dos trabalhos, para que esses erros possam ser limitados.

2.3.2.8.1. Inquéritos de tráfego

Outro método de recolha manual de dados de tráfego é a realização de inquéritos origem-destino (OD). Estes inquéritos permitem obter informações complementares que não é possível obter através da observação direta ou da realização de contagens de tráfego (IMTT, 2011).

Neste tipo de inquérito, os condutores são interrogados nas vias em estudo, na presença de agentes policiais para garantir a organização e a segurança no decorrer dos trabalhos. O inquérito deve ser redigido de forma simples e inteligível de modo a que a sua realização seja breve. (Road Research Laboratory, 1965, IMTT, 2011)

Existem dois métodos de obtenção de informação por meio de inquéritos de tráfego, o método direto e o método indireto. O método direto consiste em parar os condutores e questioná-los de modo a preencher os impressos com a informação obtida, conforme se pode ver no anexo x, o impresso utilizado pela EP. O método indireto consiste em parar os condutores e distribuir os inquéritos, que devem ser respondidos e enviados por internet, correio postal ou contato telefónico (IMTT, 2011, Brito, 2012).

Devido à complexidade deste trabalho não é possível abordar todos os condutores, portanto os inquéritos são realizados para uma amostra representativa da população das zonas em estudo (IMTT, 2011).

Os períodos de inquérito variam de acordo com a análise pretendida e devem ser realizados por um período contínuo não inferior a duas horas. Considera-se normalmente o período entre as 7h:00 e as 20h:00 (IMTT, 2011).

A fase posterior à realização dos inquéritos é o tratamento da informação, que é efetuado de acordo com três tipos de abordagem, respetivamente, linhas de desejo das deslocações, matrizes de viagens origem-destino (matriz OD) e repartição dos motivos de viagem. A primeira abordagem, correspondente às linhas de desejo das deslocações que representam as ligações preferenciais entre dois pontos, isto é, um ponto de origem e um ponto de destino. A segunda abordagem, correspondente à matriz OD, que consiste na representação em forma de quadro das ligações preferenciais anteriormente citadas, entre os pontos de origem e os pontos de destino e o respetivo número de pessoas que efetuam essas mesmas ligações. A última abordagem, refere-se ao motivo pelo qual os condutores efetuam a viagem, sendo os motivos mais frequentes, deslocações pendulares casa-trabalho ou casa-escola, compras, serviços, turismo e lazer (ver Figura 20).

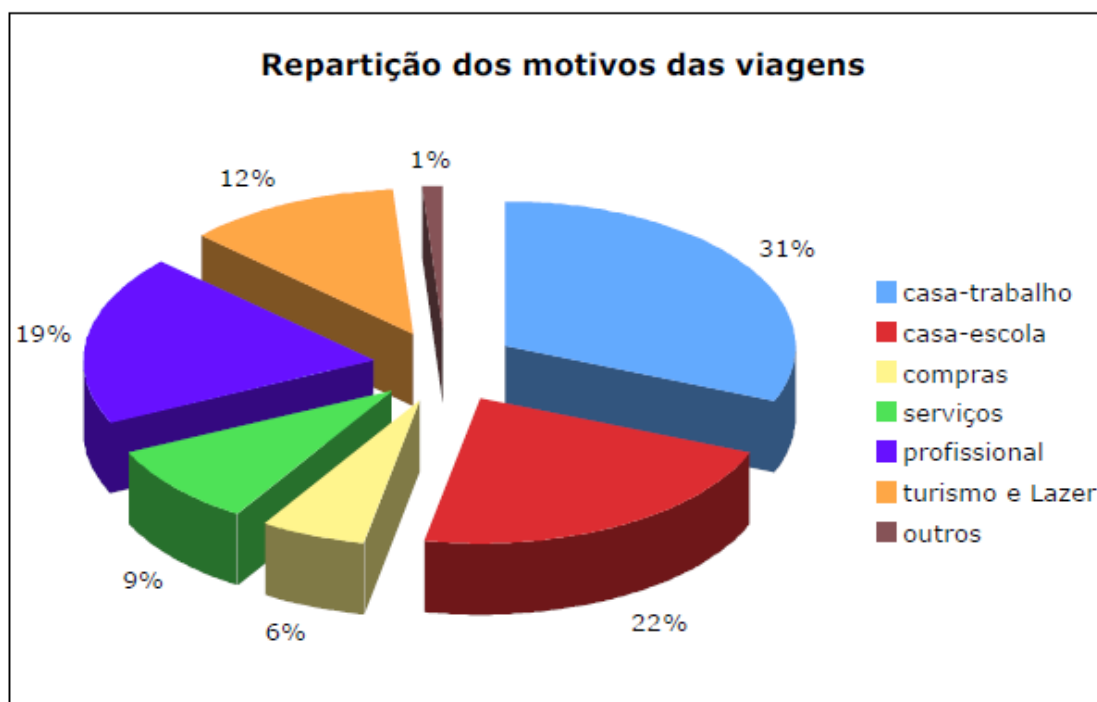


Figura 20 – Gráfico representativo da repartição dos motivos das viagens (IMTT, 2011).

2.3.2.8.2. Composição e qualificação das equipas de operadores

A qualificação das equipas que irão conduzir as contagens de tráfego representa um fator de grande influência na qualidade da recolha de dados. Apesar de ser uma atividade tão simples como contar veículos à medida que estes passam por um determinado ponto, a probabilidade de erro humano associada é grande, conforme foi citado em 2.3.2.8.

Segundo as práticas utilizadas pelo órgão responsável pelos transportes do Botswana, os operadores de campo destacados para efetuar contagens de tráfego devem ter no mínimo o certificado de conclusão do ensino médio, para que estejam aptos a receber a formação necessária para a realização desta atividade. Todos os operadores devem ser submetidos a um programa de formação, antes de serem destacados para trabalhar no campo sozinhos. Esta formação destina-se a familiarizar os novos funcionários com a classificação de veículos, o uso de diferentes aparelhos de contagem automática de veículos (quando disponíveis) e os diferentes processos associados.

Enquanto um grupo de operadores fica encarregue de efetuar a recolha de dados de tráfego brutos no campo, outro grupo deve estar no escritório a transformar os dados brutos

recolhidos em formatos de análise mais simples, para posterior armazenamento ou transferência para o *software* de análise de dados.

Os operadores destacados para efetuar o trabalho de escritório devem ter experiência de trabalho como operadores de campo para garantir a compreensão completa dos dados brutos que devem ser transformados em formatos de análise mais simples. Estes operadores devem também possuir um certificado de conclusão do ensino médio e ser submetidos a um programa de formação completo de *software*, que inclua o processamento de dados, folhas de cálculo, *software* de análise e de gestão de dados de tráfego bem como quaisquer outros sistemas necessários para o correto desempenho da tarefa.

Deve ser previsto um programa de formações especializadas na área em questão para dotar os operadores de conhecimentos relevantes à realização das tarefas atribuídas. Este programa deve conter entre outras, formações sobre importância da recolha de dados de tráfego e o seu uso, a regulamentação do trabalho e primeiros socorros.

2.3.1. Comparação das técnicas de classificação de veículos

Os quadros seguintes sintetizam e comparam as técnicas intrusivas e não intrusivas de contagem de veículos. As técnicas intrusivas efetuam a classificação de veículos com base no número de eixos contabilizados, à exceção das espiras eletromagnéticas que têm em conta o comprimento total do veículo na sua deteção. As técnicas não intrusivas efetuam a classificação dos veículos com base no seu comprimento total.

Quadro 4 – Síntese das técnicas intrusivas (Adaptado de AASHTO, 2009 e Klein et al., 2006).

TECNOLOGIAS INTRUSIVAS			
Tecnologia	Tipo de Classificação	Vantagens	Desvantagens
Tubos pneumáticos	Baseado no número de eixos	- Baixo custo - Fácil montagem	- Falta de precisão em presença de elevados fluxos de tráfego
Espiras eletromagnéticas	Baseado no comprimento total	- Efetuam contagens e classificação de veículos, e permitem conhecer a velocidade; - Tecnologia com um vasto leque de aplicações	- Requer cortes no pavimento e a interrupção do tráfego - Difícil instalação em caso de tráfego elevado - Falta de precisão perante veículos com pouco metal - Sujeito a esforços e ação da temperatura e da água
Detetores magnéticos	Baseado no comprimento total	- Facilidade de instalação - Insensível às ações climáticas (chuva, nevoeiro e neve) - Menos suscetível aos esforços provocados pelo tráfego em relação às espiras eletromagnéticas	- Pode haver a necessidade de efetuar cortes no pavimento - Não detetam veículos parados - Falta de exatidão perante veículos com pouco metal
Sensores de fibra ótica	Baseado no número de eixos	- Facilidade de instalação - Capacidade de monitorizar múltiplas vias de tráfego - Precisão na deteção de veículos - Bom desempenho a temperaturas elevadas	- Tecnologia recente com pouca informação sobre o seu desempenho
Sensores piezoelétricos	Baseado no número de eixos	- Conseguem diferenciar eixos individuais com extrema precisão - Conseguem classificar veículos com base no peso por eixo - São bastante fiáveis	- A instalação requer cortes no pavimento - A precisão depende do estado e da regularidade do pavimento
Sensores de Capacitância		- São portáteis - Não são tão exatos a estimar pesos por eixo em comparação com as placas de dobragem ou células de carga	- O tapete apenas consegue medir um trilho de roda, pelo que nos veículos pesados o peso não está uniformemente distribuído pelas rodas - O facto de ser visível faz com que alguns condutores se desviem
Placas de Dobragem		- Fraca suscetibilidade a variações climáticas - Superfície de pesagem larga, proporciona melhor contacto físico da roda com o sensor - Efetuam contagens bem como pesagem de veículos	- Dispendioso devido aos cortes no pavimento que são morosos

Quadro 5 – Síntese das técnicas intrusivas (continuação)

TECNOLOGIAS INTRUSIVAS			
Tecnologia	Tipo de Classificação	Vantagens	Desvantagens
Células de carga hidráulica		- Fraca suscetibilidade a variações climáticas - Superfície de pesagem larga, proporciona melhor contacto físico da roda com o sensor	- Os mais dispendiosos de todas as tecnologias WIM. Apresentam elevado custo de manutenção, pois é necessário efetuar a substituição completa do mecanismo ao fim de 5 anos.

Quadro 6 – Síntese das técnicas não intrusivas (Adaptado de AASHTO, 2009 e Klein et al., 2006).

TECNOLOGIAS NÃO INTRUSIVAS			
Tecnologia	Tipo de Classificação	Vantagens	Desvantagens
Sistemas de imagens de vídeo	Baseado no número de eixos	- Monitorização de múltiplas vias de tráfego - Podem registar vários dados de tráfego - Grande área de deteção quando existem várias câmaras ligadas entre si - Facilidade de instalação	- Manutenção periódica às lentes das câmaras - Desempenho afetado pelas condições climatéricas: nevoeiro, chuva, neve; transição dia/noite, contraste veículo/pavimento - Suscetibilidade à ação do vento e/ou vibrações - Recolha de dados fiáveis em condições noturnas requer iluminação pública
Radares micro-ondas	Baseado no comprimento total	- Insensíveis a condições climatéricas severas - Possibilidade de monitorização de múltiplas vias de tráfego - Facilidade de instalação - Medição instantânea da velocidade dos veículos	- Sensores de onda contínua (<i>Doppler</i>) não detetam veículos parados
Infravermelhos	Baseado no número de eixos	- A sua instalação não requer nenhum procedimento invasivo - Múltiplas zonas de deteção permitem medir com eficácia a velocidade dos veículos	- A sensibilidade na deteção de veículos é diminuída com a presença de nevoeiro denso, chuva, neve ou até mesmo o reflexo da luz solar
Deteção laser	Baseado no comprimento total	- A sua instalação não requer nenhum procedimento invasivo - Possibilidade de monitorização de múltiplas vias - Medição precisa através do envio de vários feixes	- Manutenção periódica das lentes do equipamento - Ocorrência de oclusão quando instalados na berma - Operação pode ser afetada pelo nevoeiro (a menos de 6m) ou neve
Acústicos passivos	Baseado no número de eixos	- A instalação não requer nenhum procedimento invasivo - Insensível à presença de chuva - Alguns modelos disponibilizam deteção em múltiplas faixas	- Temperaturas baixas podem afetar a precisão da contagem de veículos - Alguns modelos não são recomendados para tráfego muito lento ou parado.
Ultrassons	Baseado no comprimento total	- A instalação não requer nenhum procedimento invasivo - Possibilidade de operação em múltiplas faixas	- Ventos fortes, quedas de neve ou chuvas intensas podem afetar o desempenho do sistema - Veículos muito ruidosos provocam falsas leituras

3. Metodologia para a definição de uma rede de recenseamento de tráfego

3.1. Generalidades

A metodologia adotada para a definição de uma rede de recenseamento de tráfego baseia-se na escolha do conjunto de métodos e procedimentos mais apropriados para se proceder à recolha de dados. Para tal é necessário conhecer a fundo as características da rede onde se irá aplicar o método de modo a garantir a maior cobertura possível das necessidades da mesma. "A metodologia desenvolvida contempla diversos tipos de postos de contagem, para ter em conta a duração das contagens, de modo a que existam postos de contagens temporárias e de contagens permanentes, pois efetuar contagens permanentes em todos os pontos revela-se dispendioso (Road Research Laboratory, 1965).

O presente capítulo tem como objetivo a definição da estrutura da rede de recenseamento de tráfego, ou seja, a definição do número e tipos de postos de contagem a usar, a sua localização, a duração das contagens de tráfego e outros procedimentos associados. Para tal é necessário desenvolver um método capaz de gerar esses resultados, ou seja, o número e a localização dos postos de contagem, tendo em conta o custo associado e os dados disponíveis, ou seja, o número e tipo de trechos e a população associada (ou preferencialmente o seu uso efetivo).

3.2. Estado-da-arte

Após recolha bibliográfica exaustiva sobre os métodos existentes para a seleção da localização dos postos de contagem, no presente subcapítulo foi efetuada uma síntese de alguns trabalhos de investigação relevantes publicados nos últimos anos sobre este tema.

Como referido anteriormente, as contagens de tráfego permitem medir o número de veículos que passam por uma determinada secção (i.e. posto de contagem) durante um determinado período de tempo. Estas são na maior parte das vezes efetuadas para supervisionar e obter as características importantes do tráfego como o tráfego médio diário anual (TMDA), tráfego médio diário (TMD), volume horário de ponta (VHP), entre outras. Estas contagens podem ser eficientemente utilizadas para expandir as matrizes OD, que

representam a distribuição espacial das viagens ao longo das zonas de análise numa determinada rede de transportes (Chen et al., 2007).

A matriz OD é a principal fonte de entrada de dados para muitos estudos na área da engenharia de transportes, principalmente na previsão da procura de tráfego a longo prazo tendo em vista a melhoria da rede e em programas de gestão de tráfego com resultados a curto prazo (Chen et al., 2007, Hu e Liou, 2014). As matrizes OD têm sido ao longo dos anos determinadas através de inquéritos residenciais ou aos condutores, diretamente na via. Este processo revela-se dispendioso, demorado e bastante trabalhoso por exigir uma grande mobilização de recursos (Chen et al., 2007). Do mesmo modo, Hu e Liou (2014) referiram que o método baseado apenas em inquéritos revela-se inviável devido ao elevado custo e erro associado ao registo de dados.

Nas últimas décadas a determinação de matrizes OD através de contagens de tráfego tem sido objeto de estudo por diversos autores (Chen et al., 2007). A qualidade da estimação da matriz depende amplamente de aspetos como a fiabilidade dos dados de entrada (dados recolhidos pelos postos), do algoritmo de estimação da matriz e do número e localização dos postos de contagem (Lam e Lo, 1990, Yang et al., 1991, Yang e Zhou, 1998).

Foram identificadas na bibliografia duas questões relevantes sobre esta matéria, a primeira diz respeito à localização das contagens de tráfego que se designa por TCLP “traffic counting location problem” ou problema de localização das contagens de tráfego e consiste em determinar o número ótimo e a localização dos postos de contagem que melhor cobrem a rede com o propósito de estimar as matrizes OD (Chen et al., 2007; Yang et al., 2003). Chen et al. (2007) refere que os postos de contagem de tráfego devem ser localizados em pontos da rede como interseções congestionadas e entradas de autoestradas.

A outra questão diz respeito à localização dos sensores para otimizar o número de postos, ou seja, minimizar o número de postos nos vértices da rede de modo a cobrir o maior volume de tráfego em todos os seus arcos e designa-se por SLP “*sensor location problem*”, que foi apresentada por Bianco et al. (2014). O mesmo estudo revela que, uma vez resolvido o

problema de localização dos sensores através de algoritmos heurísticos⁵ é sempre possível limitar o erro de estimação da matriz, sendo que para tal é necessário conhecer o tráfego e os coeficientes de viragem em cada nó.

Três autores desenvolveram métodos distintos para seleccionar arcos na rede com informações de fluxo nos casos em que existe uma matriz OD real.

Yang et al. (1991), citado em Yang e Zhou (1998), analisaram com base na teoria do erro máximo relativo possível “*maximum possible relative error*” (MPRE)⁶ a fiabilidade de matrizes OD estimadas tendo em conta o número e a localização dos postos de contagem na rede. Com base no mesmo trabalho, propuseram uma regra denominada por regra de cobertura OD para se determinar a localização dos postos de contagem de tráfego. Esta regra afirma que, para limitar o erro de estimação da matriz OD determinada, os postos de contagem de tráfego devem ser localizados na rede de tal modo que uma parte das viagens entre qualquer OD seja observada.

Com base no trabalho anterior e na teoria do máximo erro relativo, Yang & Zhou (1998) derivaram quatro regras de localização dos postos de contagem, a regra de cobertura OD “*OD covering rule*”, a regra da fração do fluxo máximo “*maximal flow fraction rule*”, a regra do fluxo máximo interceptado “*maximal flow-intercepting rule*” e a regra de independência da ligação “*link independence rule*”. Os mesmos autores desenvolveram modelos de programação linear e algoritmos heurísticos para determinar o número mínimo de postos e a localização dos mesmos de modo a satisfazer as regras anteriormente citadas. Neste estudo o TCLP foi formulado como um modelo de programação matemática, tendo em conta dois casos distintos: no primeiro assume-se que o trajeto do fluxo é conhecido e no segundo assume-se que a distribuição inicial do fluxo e a probabilidade de viragem nos nós é conhecida.

Yim e Lam (1998), citados em Yang et al. (2013), propuseram um método de seleção da matriz OD para determinar a localização prioritária dos postos de contagem com base

⁵ Algoritmos heurísticos são algoritmos exploratórios que procuram resolver problemas, ou seja, uma procura contínua e empírica com várias soluções ótimas, cujo resultado é a melhor solução que se pode encontrar sob determinadas soluções.

⁶ Esta teoria representa o desvio máximo possível relativo da matriz OD estimada em relação

numa matriz OD real através da aplicação de algoritmos heurísticos. Este método tem como objetivo a maximização do fluxo total intercetado pelo sensor e estabelece que os postos de contagem devem ser localizados na rede de modo que, para um determinado número de postos, a melhor combinação de localizações é aquela que permite captar o maior número de pares OD (Yim e Lam, 1998, citado em Gentili & Mirchandani, 2012).

Em síntese, o foco de todos os trabalhos de pesquisa citados é tentar resolver o problema de localização dos sensores criando estratégias para otimizar a seleção dos locais de implantação, de modo a maximizar a percentagem de pares OD contados numa rede viária.

O problema de localização dos sensores, designado na bibliografia por TCLP pode ser dividido em duas classes de problemas, o problema de localização dos sensores para observação do fluxo “*sensor location flow-observability problem*” e o problema de localização dos sensores para estimação do fluxo “*sensor location flow-estimation problem*” (Gentili e Mirchandani, 2011).

Esta dicotomia resulta do facto da localização dos sensores na rede, tanto nos arcos como nos nós, poder ser transformada num sistema linear de equações onde o conjunto de variáveis representa os fluxos desconhecidos e o conjunto de equações advém da distribuição dos sensores. Quando o sistema resultante tem uma única solução, diz-se que o sistema é completamente observável e portanto todos os fluxos envolvidos no sistema são conhecidos, ou seja, observáveis. O problema de localização resultante consiste na determinação da distribuição ótima dos sensores na rede que resulta num sistema observável. Por outro lado, quando o sistema admite um número infinito de soluções (é possível e indeterminado), o problema que existe é determinar um modo de otimizar a distribuição dos sensores na rede tal que os fluxos estimados que se geram sejam tão aproximados à realidade quanto possível. Geralmente, os sistemas indeterminados aparecem quando o principal objetivo consiste em determinar os fluxos de origem-destino através da localização de postos de contagem nos arcos da rede (Bianco et al., 2013).

Em todos estes métodos a análise recai sobre situações onde existe informação disponível sobre os fluxos de tráfego e, em muitos deles, sobre as matrizes OD relevantes, ou seja, são métodos a aplicar quando o objetivo é melhorar ou otimizar uma rede de recolha de

dados já existente. Segundo Gentilli & Mirchandani (2011), algum tipo de informação à priori é sempre necessário para caraterizar os fluxos de tráfego da rede. Tal informação pode ser obtida através de inquéritos, dados históricos disponíveis, matrizes OD ou volumes de tráfego existentes.

Uma vez que o objetivo do presente trabalho é definir uma rede de recolha de dados de tráfego para a situação em que não existe nenhum tipo de informação disponível sobre fluxos de tráfego, estes métodos não poderão ser aplicados face à inexistência destes dados. Porém, no futuro quando existir uma rede de recolha de dados definida e em funcionamento, estes métodos poderão vir a ser aplicados com o objetivo de otimizar o seu funcionamento.

Devido ao facto da aplicação dos métodos anteriormente descritos se ter revelado inviável, a solução encontrada para resolver o problema foi desenvolver um método conceptualmente simples baseado na programação linear inteira.

3.2.1. Programação linear inteira

A *programação linear* (PL) constitui um dos ramos mais utilizados da investigação operacional e apresenta-se como uma subclasse especial de problemas da programação matemática. A sua designação deve-se ao facto de tanto as condições como o objetivo deste tipo de problemas poderem ser expressos através de relações lineares, nomeadamente equações e inequações lineares (Ramalhete et al, 1985).

O modelo de programação linear consiste na determinação de valores não negativos para N variáveis ($x_1, x_2, \dots, x_N$), de forma a satisfazer um conjunto de M equações ou inequações lineares e a otimizar (maximizar ou minimizar) uma função linear dessas variáveis (Ramalhete et al, 1985).

Representa-se algebricamente da seguinte maneira:

$$\text{Maximizar (Minimizar) } Z = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_N x_N \quad (6)$$

Sujeito a:	Coluna j	
	↓	
	$a_{11} x_1 + a_{12} x_2 + \dots + a_{1j} x_j + \dots + a_{1N} x_N$	$\{ \leq, =, \geq \} b_1$
	$a_{21} x_1 + a_{22} x_2 + \dots + a_{2j} x_j + \dots + a_{2N} x_N$	$\{ \leq, =, \geq \} b_2$
	...	
Linha i →	$a_{i1} x_1 + a_{i2} x_2 + \dots + a_{ij} x_j + \dots + a_{iN} x_N$	$\{ \leq, =, \geq \} b_i \quad (7)$
	...	
	$a_{M1} x_1 + a_{M2} x_2 + \dots + a_{Mj} x_j + \dots + a_{MN} x_N$	$\{ \leq, =, \geq \} b_M$
	$x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_N \geq 0$	(8)

Onde:

a_{ij} , b_i e c_j : são constantes e representam os parâmetros do modelo e em cada restrição apenas e somente se verifica uma das relações, $\leq$, $=$ ou $\geq$;

a_{ij} ($i= 1, 2, \dots, M$; $j= 1, 2, \dots, N$): designam-se por coeficientes técnicos ou tecnológicos;

$b_1, b_2, \dots, b_M$: designam-se por termos independentes (constantes de restrição ou segundos membros);

$c_1, c_2, \dots, c_N$: designam-se por coeficientes da função objetivo;

$x_1, x_2, \dots, x_N$: representam as variáveis do modelo e designam-se por variáveis de decisão, principais ou controláveis;

A função Z a maximizar ou minimizar, designa-se por função objetivo (FO), função económica ou função critério. As equações e inequações designam-se por restrições ou restrições funcionais. As desigualdades $x_j \geq 0$ ($j=1,2, \dots, N$) designam-se por condições de não negatividade, sendo que o modelo pode igualmente conter variáveis não positivas e variáveis livres (sem restrição de sinal).

No entanto, devido à dualidade⁷ o modelo é frequentemente apresentado nas seguintes formas típicas:

$$\text{Maximizar (Minimizar) } Z = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_N x_N \quad (9)$$

$$\begin{aligned} a_{11} x_1 + a_{12} x_2 + \dots + a_{1N} x_N &\leq (\geq) b_1 \\ a_{21} x_1 + a_{22} x_2 + \dots + a_{2N} x_N &\leq (\geq) b_2 \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} &\dots \\ a_{M1} x_1 + a_{M2} x_2 + \dots + a_{MN} x_N &\leq (\geq) b_M \\ x_j &\geq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, N) \end{aligned} \quad (11)$$

Estas duas formas são tão gerais como (7), (8) e (9), pois, mediante operações convenientes é sempre possível transformar qualquer problema numa daquelas formas. De seguida, mostra-se como qualquer problema de programação linear pode ser convertido, por exemplo, à forma (9), (10) e (11):

- 1) Qualquer problema de minimização pode ser convertido num problema de maximização, pois: mínimo $Z = -$ máximo $(-Z)$
- 2) A restrição de desigualdade do tipo $(\geq)$ pode ser sempre convertida numa restrição do tipo $(\leq)$ através da multiplicação de ambos os membros por (-1) :

$$a_{11} x_1 + a_{12} x_2 + \dots + a_{1N} x_N \geq b_1 \Leftrightarrow -a_{11} x_1 - a_{12} x_2 - \dots - a_{1N} x_N \geq -b_1$$

- 3) A restrição de igualdade pode ser sempre convertida em duas desigualdades do tipo $(\leq)$ equivalentes conjuntamente àquela:

$$a_{11} x_1 + \dots + a_{1N} x_N = b_1 \Leftrightarrow \begin{cases} a_{11} x_1 + \dots + a_{1N} x_N \leq b_1 \\ a_{11} x_1 + \dots + a_{1N} x_N \geq b_1 \end{cases} \Leftrightarrow$$

⁷ A teoria da programação linear assume que cada problema formulado pode ser visto sob dois pontos de vista opostos, que traduzem dois problemas distintos, o problema primal e o problema dual (Hill & Santos, 2009). Assim, o problema dual de um problema de maximização é um problema de minimização, a cada variável do primal corresponde uma restrição do dual e a cada restrição do primal corresponde uma variável do dual (João Pedro Pedroso, 2014).

$$a_{11} x_1 + \dots + a_{1N} x_N = b_1 \Leftrightarrow \begin{cases} a_{11} x_1 + \dots + a_{1N} x_N \leq b_1 \\ -a_{11} x_1 - \dots - a_{1N} x_N \geq -b_1 \end{cases}$$

- 4) A variável livre, pode ser sempre substituída pela diferença de duas variáveis não negativas, isto é, qualquer número pode sempre ser obtido pela diferença de dois números não negativos. Formulando-se então de novo o problema função destas variáveis.

Portanto, para se formular o problema que se pretende resolver, é necessário definir as variáveis de decisão, definir as restrições como funções lineares das variáveis de decisão e por fim escrever a função objetivo como função linear das variáveis de decisão (João Pedro Pedroso, 2014).

Segundo Feiring (1986), como os procedimentos para achar as soluções dos problemas de programação linear são iterativos, a maior parte dos mesmos devem ser resolvidos recorrendo a computadores. Com o avanço da tecnologia de computadores e softwares de programação linear este procedimento tornou-se mais fácil e rápido.

Os problemas de PL podem ser resolvidos graficamente quando possuem até três variáveis, porém é mais utilizado para duas variáveis, pois permitem encontrar rapidamente a solução ótima. Esta resolução é de grande utilidade pois permite visualizar o processo de aproximação à solução do problema com a vantagem de se poder avaliar a maior ou menor influência das restrições do problema para chegar à solução ótima (Ramalhete et al., 1985, Hill e Santos, 2009). Este método consiste em representar as variáveis de decisão nos eixos cartesianos, as restrições como retas no espaço definido por essas variáveis, dando assim origem a uma região definida pela interseção dessas retas com os eixos de coordenadas que contém o conjunto de pontos que satisfazem todas as restrições (conjunto das soluções admissíveis). Por último, procura-se nessa região de soluções admissíveis, o ponto ou os pontos onde a função objetivo é máxima ou mínima por meio de tentativas ou através de outras regras mencionadas na bibliografia (ver Ramalhete et al., 1985, Hill e Santos, 2009, Lobo, 2014a).

Uma vez que o método anterior apresenta a limitação do número de variáveis suscetíveis de representação em gráficos cartesianos, quando se tem mais de três variáveis utiliza-se um procedimento algébrico iterativo que trata o problema como um sistema de equações lineares, designado por *Método Simplex* ou *Algoritmo Simplex*. Este método é o mais utilizado na resolução de problemas de programação linear, por se revelar bastante eficiente e de fácil implementação (Ramalhete et al., 1985).

O método simplex pode ser aplicado a qualquer tipo de problema, sem limitação de número de variáveis e número ou tipo de restrições, desde que se verifiquem as cinco propriedades dos problemas de programação linear: a proporcionalidade, a divisibilidade, a não negatividade, a aditividade e a linearidade da função objetivo. Aplica-se então uma série de procedimentos bem definidos, partindo de uma solução possível inicial, em que o algoritmo vai alterando sucessivamente a solução de modo a que, em cada iteração efetuada, o valor da função objetivo melhore ou, quando muito fique na mesma. Assim, passo a passo, vão sendo criadas as sucessivas soluções possíveis que se aproximam cada vez mais da solução que será ótima para o problema (aquela solução que já não pode ser melhorada). Deste modo, num problema de maximização deparamo-nos com soluções que apresentam um valor da função cada vez maior, até atingir um máximo possível, sendo que a situação contrária se verifica quando se tratar de um problema de minimização (Hill e Santos, 2009).

Porém, a aplicação deste método pressupõe que o problema esteja na sua forma canónica, que apresenta algumas alterações em relação à forma geral do problema. Nesta forma, as restrições devem ser convertidas em igualdades equivalentes através da adição de variáveis não negativas designadas por *variáveis de folga*⁸ ou *variáveis de desvio*, em que cada variável aparece apenas numa das restrições do problema, tomando o coeficiente 0 nas outras. Por outro lado, os termos independentes das restrições devem ser não negativos, ou seja, $b_i \geq 0$ ⁹. Quanto à função objetivo, a transformação corresponde a colocar as variáveis todas no primeiro membro, deixando as constantes no segundo membro (Ramalhete et al., 1985, Hill e Santos, 2009).

⁸ O coeficiente destas variáveis de folga deve ser +1 no caso de restrição do tipo ($\leq$) e -1 no caso de restrição do tipo ($\geq$).

⁹ Se em alguma das restrições o termo independente se apresentar negativo toda a equação deverá ser multiplicada por -1.

Existe uma variável única em cada restrição, designada por *variável básica inicial*, o que significa que as variáveis de folga são *variáveis básicas iniciais* e se assumirmos que as variáveis de decisão (neste caso designadas por *não básicas*) são 0, obtemos uma solução inicial designada por *solução básica inicial*. Se além disso a solução básica inicial verificar as restrições de não negatividade designa-se por *solução básica admissível* (Hill e Santos, 2009, Ramalhete et al., 1985).

Este método baseia-se na construção de tabelas onde é introduzido o problema formulado e são feitas as sucessivas operações de iteração, através do processo de troca de variáveis na base e do método de Gauss, com o objetivo de melhorar a solução básica inicial até chegar à solução ótima, que é encontrada quando todos os coeficientes da função objetivo forem positivos (Hill e Santos, 2009, Lobo, 2014b).

Tome-se como exemplo o seguinte problema:

$$\text{Maximizar } Z = 40 x_1 + 30 x_2 \quad (12)$$

$$3 x_1 + 4 x_2 \leq 12$$

$$7 x_1 + 2 x_2 \leq 14$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

A forma canónica do problema será:

$$\text{Max } Z = 40 x_1 - 30 x_2 + 0 x_3 + 0 x_4 \quad (13)$$

$$3 x_1 + 4 x_2 + x_3 + \quad = 12$$

$$7 x_1 + 2 x_2 + \quad + x_4 = 14$$

$$x_1, x_2, x_3, x_4 \geq 0$$

Para a introdução no

Quadro 7, considera-se que na função objetivo todas as variáveis passam para o primeiro membro e as constantes para o segundo membro, portanto tem-se que: $Z - 40x_1 - 30x_2 + 0x_3 + 0x_4$

Quadro 7 – Quadro ilustrativo da aplicação do método Simplex por tabelas

Variáveis básicas	Variáveis não básicas					b_i
	Z	X_1	X_2	X_3	X_4	
Z	1	-40	-30	0	0	0
X_3	0	3	4	1	0	12
X_4	0	7	2	0	1	14

Solução básica inicial:

$$\begin{array}{l} \text{Variáveis básicas} \left\{ \begin{array}{l} X_3 = 12 \\ X_4 = 14 \end{array} \right. \quad \text{Variáveis não básicas} \left\{ \begin{array}{l} X_1 = 0 \\ X_2 = 0 \end{array} \right. \\ Z = 0 \end{array}$$

Um caso particular da PL é a programação linear inteira (PLI), que é o caso específico da programação linear em que todas as variáveis do modelo, ou pelo menos parte delas são inteiras, isto é $X \in Z^N$. Nos casos em que o modelo contempla exclusivamente variáveis inteiras, isto é, estão sujeitas à condição de integralidade, está-se diante de um problema de Programação Linear Inteira Pura (PLIP). Se o modelo incluir variáveis contínuas e variáveis inteiras, está-se então perante um problema de Programação Linear Inteira Mista (PLIM), que é o caso mais comum (Ramalhete et al., 1985, Alves e Delgado, 1997).

A inclusão de variáveis inteiras no modelo de programação linear amplia significativamente o tipo de problemas reais que podem ser resolvidos recorrendo à programação matemática, pois são vários os problemas cuja solução só faz sentido com variáveis inteiras, como por exemplo, o número de veículos a adquirir, a mobilização de alguns tipos de máquinas de construção, o número de projetos a construir, e, no caso presente, o número de postos de contagem a instalar (Ramalhete et al., 1985, Alves e Delgado, 1997).

Os problemas de PLI são mais difíceis de resolver quando comparados com os de PL, pois a simples introdução das restrições de integralidade num problema de PL tem como consequência o facto de serem consideradas muito menos soluções (apenas soluções inteiras e não reais), tornando-o num problema de características diferentes, ao qual não podem ser aplicadas técnicas de resolução de PL, tendo de ser aplicadas técnicas específicas. O facto de remover de um problema de PL as soluções possíveis não-inteiras dificulta a resolução do problema, pois era a existência dessas soluções que assegurava a existência das soluções básicas (pontos extremos do conjunto das soluções possíveis) e consequentemente a simplicidade do Método Simplex, que é o mais utilizado e eficiente para a resolução de problemas de PL (Alves e Delgado, 1997).

Quando um problema de PLI apresenta um número finito de soluções possíveis, pode ocorrer a ideia da enumeração exaustiva como abordagem simples para a determinar a solução ótima, porém nem sempre é viável, pois um número finito não significa que seja um número pequeno. Contrariamente ao que acontece nos problemas de PL, quanto maior for o conjunto de soluções possíveis, maior será a dificuldade de resolução, pois o número de soluções possíveis pode com facilidade tornar-se demasiado grande (por exemplo, dezenas de milhar), inviabilizando a enumeração exaustiva. Portanto torna-se necessário utilizar métodos que analisem apenas uma parte do conjunto de soluções possíveis (Alves e Delgado, 1997).

Uma forma de resolver estes problemas é através da relaxação linear, que consiste em eliminar as restrições de integralidade do problema original de PLI, transformando-o num problema de PL, designado por problema relaxado. Resolve-se então o novo problema como se fosse um problema de PL, recorrendo ao Método Simplex. Como o problema relaxado é um problema de PL, a solução ótima admite variáveis reais e a situação que ocorre usualmente é parte das mesmas ou a sua totalidade apresentam-se como números fracionários. Uma vez que a solução admissível do problema original tem que ser uma solução do problema relaxado, arredonda-se o resultado obtido por excesso ou por defeito, conforme for mais viável, para se obter um número inteiro (Alves e Delgado, 1997, Rothlauf, 1998).

Apesar da simplicidade e eficácia aparentes, esta técnica não é recomendável devido a duas situações: a solução ótima do problema relaxado após o arredondamento pode não ser admissível para o problema original de PLI, ou por outro lado, a solução inteira do problema

resultante do arredondamento pode estar relativamente afastada da solução ótima do problema de PLI, revelando-se assim excessivamente sub-ótima (Lobo, 2014b).

De acordo com Alves e Delgado (1997), conclui-se que existe a necessidade de métodos que examinem apenas uma parte do conjunto de soluções admissíveis e que aproveitem as vantagens do método simplex. Existem dois métodos que possuem estas características e são os principais métodos de resolução de problemas de PLI: o Algoritmo de *Branch and Bound*, (ou Algoritmo de Partição e Avaliação Sucessivas) e o Algoritmo de Gomory ou Plano de Corte (Guerreiro et al., 1985, Thie, 1988, Alves e Delgado, 1997). Apesar de serem métodos diferentes, ambos utilizam o algoritmo simplex para chegar à solução ótima do problema relaxado e a região admissível vai sendo sucessivamente reduzida até se alcançar a solução do problema de PLI. Estes métodos podem ser aplicados a qualquer modelo de PLI (Alves e Delgado, 1997).

A fundamentação teórica, vantagens e desvantagens do Algoritmo de Gomory ou Plano de Corte está fora dos objetivos do presente estudo, encontrando-se descritas por Alves e Delgado (1997) e Guerreiro et al., (1985). O método de interesse para o estudo será Algoritmo de *branch and bound*, cuja fundamentação mais se adequou aos objetivos pretendidos.

O algoritmo de *branch and bound* (ou ramificação e limitação) está na base da maioria dos códigos de computação relativos à PLI, sendo aplicáveis a problemas de programação pura e mista (Guerreiro et al., 1985).

Este método consiste na partição (ramificação) sucessiva do conjunto de soluções possíveis do problema de PLI em subconjuntos e na limitação (avaliação) do valor ótimo da função objetivo (limite inferior se maximização ou superior no caso de minimização), de modo a excluir os subconjuntos que não contenham a solução ótima (Alves e Delgado, 1997, Guerreiro et al., 1985).

Se partirmos do pressuposto que: “se na solução ótima da relaxação linear de um problema de PLI, as variáveis tomam valores inteiros, então essa solução é a solução ótima do PLI”, o primeiro passo é resolver o problema através da relaxação linear, ou seja, ignorando

as condições de integralidade do problema de PLI e resolvendo o problema como um problema de PL, obtendo assim a solução ótima relaxada (Alves e Delgado, 1997). Este método utiliza um diagrama, designado frequentemente por árvore de pesquisa de soluções, constituído por nós e ramos como auxílio no processo de determinação da solução. O primeiro nó do diagrama contém a solução ótima obtida através da resolução do problema relaxado, cujo valor da função objetivo representa o limite superior ou inferior da solução ótima do problema original, caso seja um problema de maximização ou minimização, respetivamente, querendo isto dizer que o valor (Z_0) não deve ser ultrapassado. Se a solução ótima do problema de PL satisfizer as condições de integralidade (variáveis tomando valores inteiros), então foi encontrada uma possível solução ótima do problema original. Se a solução ótima não satisfizer as condições de integralidade, efetua-se a partição do problema em dois sub-problemas diferentes (A e B), em que cada um advém da adição de uma nova restrição ao problema inicial relaxado. As duas novas restrições são geradas a partir da solução ótima não inteira e são impostas a uma das variáveis dessa solução. Seja a variável $x_j = b_i$ nesta solução, então para o problema A a restrição a adicionar será $x_j \leq [b_i]$ e para o problema B a restrição será $x_j \geq [b_i] + 1$, (Guerreiro et al., 1985, Thie, 1988).

Alguns autores defendem que a variável escolhida deve ser aquela cujo valor se encontra mais longe do valor inteiro em questão. Os problemas A e B são resolvidos separadamente como problemas relaxados, obtendo-se então dois conjuntos de soluções. Se a solução de algum dos problemas for inteira então é uma possível solução ótima do problema, caso se obtenham soluções não inteiras, então deve-se aplicar novamente o método atrás descrito ao problema que apresente maior valor da função objetivo, mantendo a restrição anteriormente adicionada. E assim sucessivamente vão-se resolvendo problemas de PL resultantes da adição de novas restrições, estabelecendo-se assim limites para o valor da função objetivo e eliminando assim diversos subconjuntos até se encontrar a solução ótima do problema de PLI. Quando se encontra uma solução inteira esta passa a ser uma candidata à solução ótima do problema de PLI e o valor da função objetivo da mesma passa a ser o limite inferior do intervalo de soluções possíveis do problema, pois a solução ótima nunca poderá ser pior (inferior) que a já obtida. O limite superior, conforme citado anteriormente, é definido no princípio através da resolução do problema inicial ignorando as restrições de integralidade, (Guerreiro et al., 1985, Thie, 1988, Alves e Delgado, 1997).

A imposição de limites torna o algoritmo de *branch and bound* mais eficiente ao permitir descartar da árvore nós que ainda não tenham sido completamente explorados porém existe a certeza de que nunca originarão soluções melhores do que as já obtidas. Por outro lado, permitem medir a distância em termos de valor da função objetivo a que se está da solução ótima.

Suponha-se que após a resolução dos dois problemas, se obtenha uma solução ótima inteira para o sub-problema A e outra solução ótima não inteira para o sub-problema B. Uma vez que existe uma solução inteira, então esta é uma solução ótima do problema, porém se o valor da função objetivo Z_A for menor que Z_B e os dois menores que o valor limite Z_0 , ou seja, $Z_A \leq Z_B \leq Z_0$, isto quer dizer que a nossa solução ótima pode estar dentro do intervalo definido por Z_A e Z_0 , passando Z_A a ser o limite inferior e B um nó promissor, porque pode conduzir à melhor solução inteira. Procede-se então à partição no nó B, dando origem a dois novos sub-problemas, B_1 e B_2 , para ver se é possível encontrar uma solução ótima melhor que a do problema A e assim sucessivamente até encontrar-se o resultado pretendido (Alves Delgado, 1997).

De acordo com Alves e Delgado (1997), de um modo geral, resolver um problema de PLI através deste método revela-se menos trabalhoso do que através do método dos planos de corte e apresenta a vantagem de ser possível interromper o método antes de se chegar à solução ótima e de dispor de uma solução inteira, em relação à qual se pode ter uma ideia de quão próxima estará da solução ótima graças aos limites que se vão determinando.

Existe um caso particular da PLI, de especial interesse para o presente trabalho, em que todas as variáveis inteiras do modelo são variáveis binárias, ou seja, apenas podem tomar os valores 0 ou 1, isto é $X \in \{0, 1\}$. Este tipo de problemas designa-se por problemas de *programação linear inteira binária* e são muito úteis para selecionar alternativas ou tomar decisões dicotómicas, do tipo sim ou não ou fazer ou não fazer.

Estes problemas podem ser resolvidos pelos algoritmos atrás citados. Porém, pela sua especificidade existem algoritmos do tipo *branch and bound* especialmente adaptados a este tipo de problemas e mais eficientes que os outros. Um destes algoritmos foi desenvolvido por Balas em 1965 e é conhecido por “Enumeração Implícita” ou “Algoritmo de Balas”. Este

processo assenta num processo de pesquisa ou enumeração das soluções do problema, sendo que algumas delas são analisadas explicitamente e outras implicitamente. Neste método o facto de as variáveis apenas tomarem o valor de 0 ou 1 ajuda a simplificar a ramificação e a limitação para determinar de forma eficiente um nó inviável.

3.3. Metodologia adotada

O problema que se pretende resolver no presente trabalho é o da localização de postos de contagem de tráfego ao longo da rede viária nacional, para garantir a máxima cobertura da rede com o mínimo investimento possível.

Uma vez verificada a inexistência de dados contínuos e coerentes relativos ao tráfego em Angola, desenvolveu-se um método com base na informação disponível sobre o país, capaz de servir de suporte à caracterização da rede viária. Para esse efeito, foram utilizados dados demográficos, dados geográficos e o mapa da rede fundamental de estradas (ver anexo A.2).

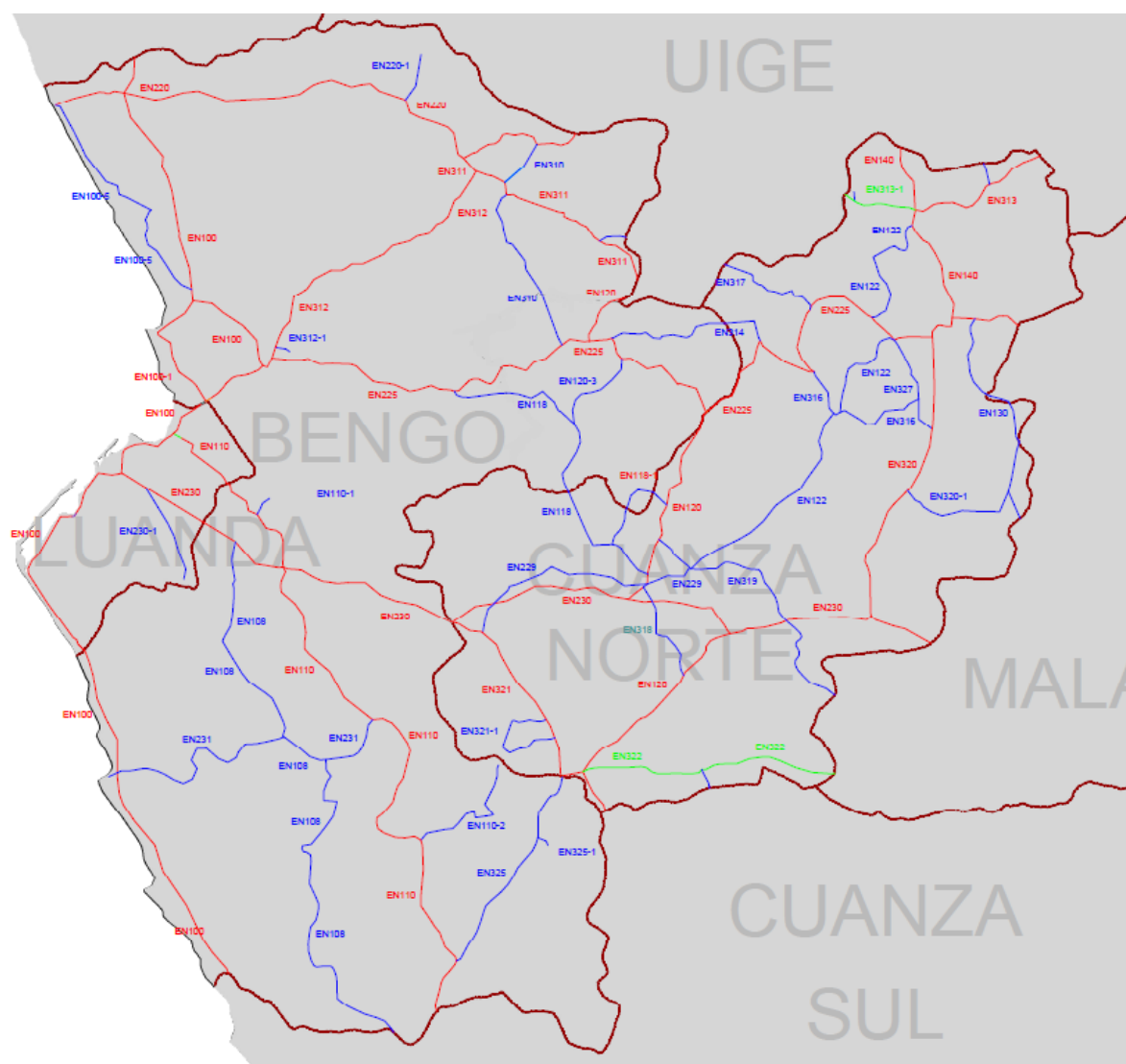
A partir do mapa é possível identificar e enumerar os trechos de estrada, bem como obter os respetivos comprimentos. De acordo com o Instituto de Estradas de Angola (INEA) a rede rodoviária pode ser classificada segundo a seguinte desagregação:

- Estradas já catalogadas pelo INEA;
- Sub-troços a serem complementados às estradas já catalogadas pelo INEA;
- Estradas a serem implantadas na rede fundamental.

Uma vez que a rede fundamental é bastante densa, foram definidos dois níveis de hierarquia dentro dessa mesma rede com base no mapa: o primeiro nível, representativo dos principais eixos rodoviários (equiparado à rede fundamental ou principal), que engloba as estradas catalogadas e o segundo nível (equiparado à rede complementar) que engloba os sub-troços a serem complementados às estradas já catalogadas e as estradas a serem implantadas na rede fundamental.

Por outro lado, Angola encontra-se dividida em 18 províncias, com uma área total de 1.246.700 km² e uma população estimada em 21.895.000 habitantes, conforme referido em

1.1. O método desenvolvido foi aplicado a três províncias contíguas: Luanda, Bengo e Cuanza Norte. Sendo Luanda a província onde se localiza a capital do país, com aproximadamente 8.000.000 habitantes (37% da população do país), contando com o principal porto e sendo o centro económico do país, não faria sentido não ser incluída. De seguida, foram escolhidas duas províncias contíguas a Luanda, como se pode ver na figura abaixo.



LEGENDA:

- Estradas já catalogadas pelo INEA
- Sub-troços a serem complementados às estradas já catalogadas pelo INEA
- Estradas a serem implantadas na Rede Fundamental

Figura 21 – Mapa de estradas de Luanda, Bengo e Cuanza Norte.

O tipo de equipamento e o número exato de operadores necessários para realizar as contagens de tráfego dependem de fatores como o volume de tráfego a observar, as características do trecho de estrada onde o posto de contagem se encontra instalado bem como do tráfego que nele circula, a composição de tráfego, entre outros. Assim, foram definidos os tipos de equipamentos a utilizar, bem como a composição das equipes de operadores necessárias.

Foram calculados índices representativos da utilidade dos trechos e de cada província, com base nos dados anteriormente referidos e de seguida transformou-se o caso de estudo num problema de programação linear inteira com variáveis binárias. Para tal, foi definida a função objetivo e as respetivas restrições, sendo que as variáveis da função objetivo associadas a cada trecho podem tomar os valores 1 ou 0, conforme estes tenham ou não um posto de contagem, respetivamente. Foram também calculados os custos associados a cada tipo de posto de contagem e definidos os níveis de investimento possíveis para as três províncias em análise.

Assumiu-se que os três tipos de postos de contagem podiam ser instalados em qualquer trecho e assim, na função objetivo, a cada trecho estão associadas três variáveis. Considerou-se não haver vantagens na colocação redundante de postos de contagem em qualquer trecho (ou seja, em cada trecho de estrada só pode ser instalado um único posto de contagem, de um dos três tipos possíveis). Depois de definidas todas as variáveis do problema de programação linear inteira, o mesmo foi resolvido recorrendo a um *software* de cálculo numérico desenvolvido para o efeito. Os resultados obtidos da otimização linear foram do tipo 1 ou 0 para cada variável associada a cada trecho.

3.3.1. Descrição dos dados

Para cada província foi definido um conjunto de atributos, nomeadamente, o número de trechos (diferenciados entre trechos do 1º nível e do 2º nível) com os respetivos comprimentos e a população da província, a partir dos quais se criaram indicadores capazes de os relacionar.

As províncias foram designadas por letras, A, B e C, correspondendo respetivamente, a Luanda, Bengo e Cuanza Norte. Os trechos foram numerados e identificados por um código alfanumérico que indica a província, o nível de hierarquização e o número do trecho. Foram numerados de modo a que dentro do conjunto de trechos de uma província, fossem geradas duas numerações diferentes, a dos trechos do 1º nível e a dos trechos do segundo nível. Por exemplo, A102 indica que é o trecho número 02, do 1º nível, da província de Luanda, assim como A201 indica que se trata do trecho número 01 do 2º nível da mesma província. No Anexo A.3 encontram-se os quadros referentes a cada província, com a designação e caracterização dos respetivos trechos.

Com os dados demográficos e áreas de cada província e do país, calculou-se a densidade rodoviária, a densidade populacional e a população por quilómetro de estrada.

$$Densidade\ Rodoviária = \frac{L_{Total\ Província}}{A_{Província}} \quad (14)$$

em que:

$L_{Total\ Província}$ - Comprimento total dos trechos (km)

$A_{Província}$ - Área da província (km²)

$$Densidade\ Populacional = \frac{Pop_{Província}}{A_{Província}} \quad (15)$$

em que:

$Pop_{Província}$ - População da província (habitantes)

$$Pop/km = \frac{Pop_{Província}}{L_{Total\ província}} \quad (16)$$

A província de Luanda possui 6 trechos, que perfazem um total de cerca de 162 km de estrada (ver Quadro 8). Note-se que Luanda é a província mais pequena de Angola, apresenta muito poucos trechos de estrada relativamente às outras províncias; porém devido ao elevado número de habitantes e a outros fatores já referidos, esta província é de grande relevância para o estudo em causa. No caso da província do Bengo, a qual possui 55 trechos, destaca-se o facto desta província ocupar uma área extensa sendo no entanto pouco populosa

(com apenas 2,28% da população nacional). Tal como acontece no Bengo, a província de Cuanza Norte caracteriza-se por baixas densidades populacionais.

No Quadro 8 apresentam-se os valores calculados para os parâmetros e províncias anteriormente descritas.

Quadro 8 – Parâmetros de cada província.

	Luanda	Bengo	Cuanza Norte
Área (km)	2355,72	32945,66	23822,20
População (hab)	8000000	500000	420000
Densidade Rod.	0,0690	0,0497	0,0592
Densidade Pop.	3,3960	0,0152	0,0176
Pop / km	49184	306	298
	(17,69)	(0,11)	(0,11)
% Pop Nacional	36,54%	2,28%	1,92%

No caso do parâmetro Pop/km, foi ainda calculada a população por quilómetro para o conjunto das três províncias, apresentando-se entre parêntesis a relação entre o parâmetro para cada província e o parâmetro para o conjunto das três províncias. Da observação destes valores, é possível verificar a enorme disparidade entre Luanda e as restantes províncias.

Com base nos parâmetros calculados foram definidos indicadores representativos do peso de cada província no conjunto das três províncias em análise, com base na densidade populacional, na população por quilómetro e na percentagem da população nacional em relação aos trechos de cada província:

- “Dens.Pop x km” é um indicador que resulta da multiplicação da densidade populacional pelo comprimento do trecho de estrada e corresponde a ponderar cada trecho com base na densidade populacional da província e no comprimento do trecho.
- “Pop/km x km” é dado pelo produto da população por quilómetro pelo comprimento do trecho de estrada e corresponde a ponderar cada trecho com base na densidade linear (por extensão de estradas) de população e no comprimento do trecho.

- O indicador “%NacPop x km” é dado pela multiplicação da percentagem de população na província em relação à população nacional pelo comprimento do trecho de estrada. Neste caso, o peso do trecho depende do seu comprimento e da percentagem de população da província onde este se encontra.

Estes indicadores foram calculados para todos os trechos das três províncias, conforme se pode ver nos quadros 1, 2 e 3 do anexo A.3. Com base nesses dados, foram então definidas quatro funções para a utilidade¹⁰ dos trechos com base nesses indicadores, tendo como finalidade escolher a que melhor se enquadra nos objetivos pretendidos e se adapta à realidade. Uma primeira função correspondeu à percentagem de comprimento do trecho relativamente ao comprimento total de estradas das três províncias.

No Quadro 9, apresenta-se a utilidade de cada província com base nas funções definidas, obtida através da soma das utilidades dos diferentes trechos de cada província (ver quadros apresentados no anexo A.3). Com base nesses valores foram construídos os gráficos que traduzem o peso de cada província em termos de função utilidade, conforme se pode ver na Figura 22.

Quadro 9 – Utilidade de cada província.

	Comprimento	Dens.Pop×km	Pop/km×km	%NacPop×km
Luanda	0,0507	0,9175	0,8969	0,4799
Bengo	0,5101	0,0413	0,0561	0,3018
C. Norte	0,4392	0,0413	0,0471	0,2183

¹⁰ Utilidade é a satisfação que se extrai do consumo de um determinado bem ou serviço.

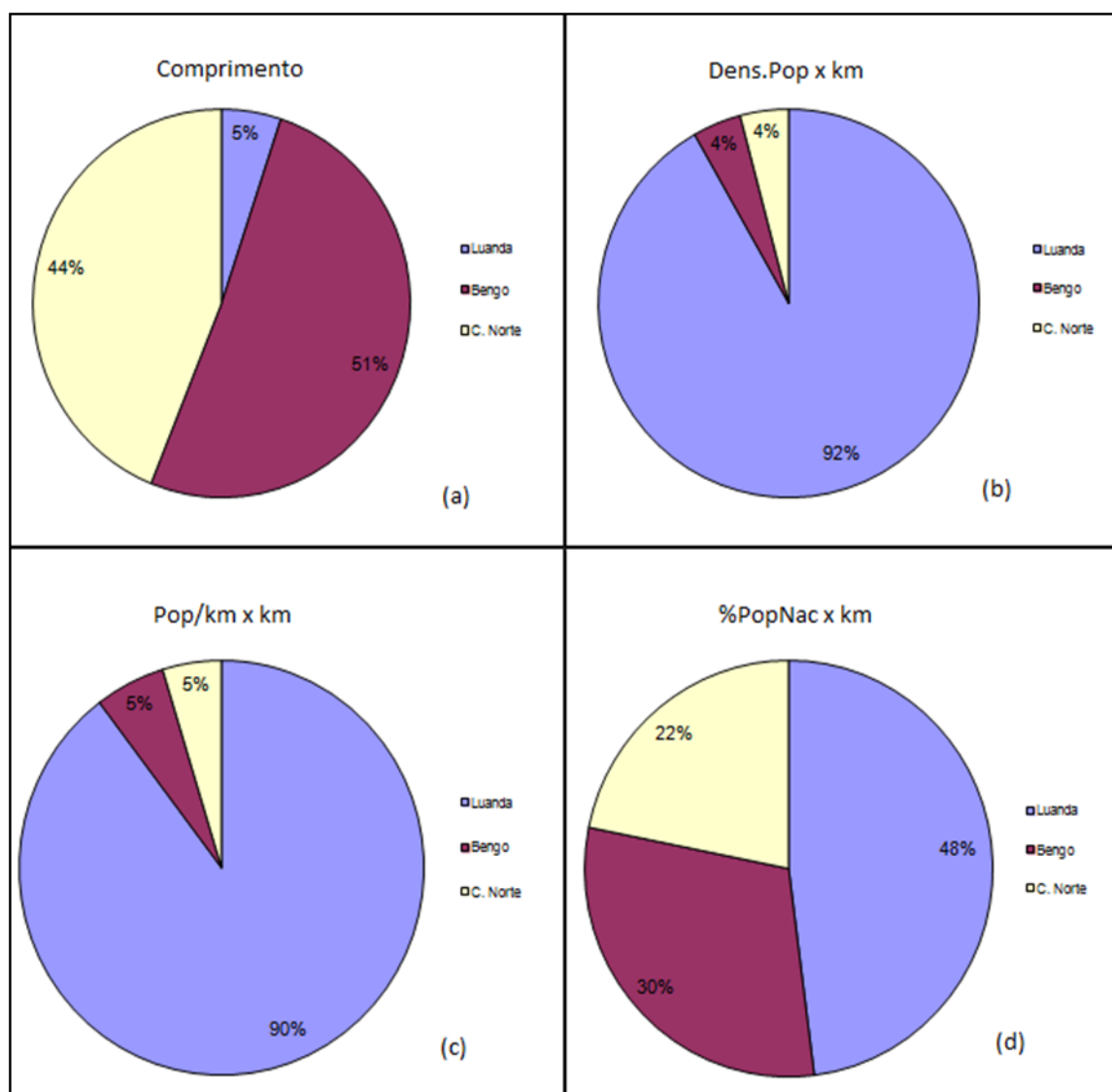


Figura 22 – Gráficos das quatro funções estudadas. (a) Comprimento. (b) Densidade Populacional x km. (c) População/km x km. (d) %População Nacional x km.

Nesta figura, o gráfico (a) representa a função baseada apenas no comprimento. Pode-se concluir que a província de Luanda que é a mais importante encontra-se subalternizada, ou seja, com peso inferior ao que na realidade apresenta, o que se evidencia ainda mais quando se está a fazer o estudo para apenas três províncias. Isto acontece porque é a província com menor comprimento total de estrada mas apresenta uma densidade populacional muito superior à das outras províncias. Logo, esta função não é muito favorável e não vai de encontro aos objetivos pretendidos.

No gráfico (b), a província de Luanda apresenta um peso excessivamente elevado em comparação com as restantes províncias. Esta função apresenta-se pouco vantajosa, uma vez que sobrevaloriza o fator “população” e subvaloriza a área da província e o comprimento total de estrada. Logo, é uma opção que não é muito equilibrada no contexto do presente trabalho.

No gráfico (c), verifica-se uma situação semelhante à anterior, com valores da mesma ordem de grandeza. Portanto, é também uma opção pouco favorável para os objetivos pretendidos.

Finalmente no quarto gráfico (d), nota-se um maior equilíbrio entre as três províncias, apresentando Luanda peso superior sem subalternizar em demasia as outras duas províncias. Esta função apresenta um cenário razoável face à inexistência de mais dados e considerando que maior população gera maior tráfego. Assim, de todas as funções consideradas conclui-se que esta é a que melhor traduz a realidade, tendo em conta as limitações anteriormente referidas, pelo que foi esta a função escolhida para prosseguir a análise.

A utilidade de cada trecho foi então calculada segundo a função anteriormente escolhida, designada por *utilidade geométrica* (representa o peso da infraestrutura), e também segundo o tipo de posto de contagem a utilizar, designada por *utilidade do tempo* (representa o peso da cobertura das contagens).

Foram definidos três tipos de postos de contagem:

- Tipo I – equipamentos automáticos de contagem permanente (sistemas de deteção de imagens de vídeo), que funcionam 24 horas por dia durante todo o ano (não se consideram os 365 dias, considera-se que durante 10% desse período o equipamento não irá funcionar, pelo que se consideraram 329 dias);
- Tipo II – equipamentos automáticos de contagem temporária (detetores magnéticos), cujo período considerado foi de 14 dias em cada trecho, podendo ao longo do ano ser utilizados 25 vezes, ou seja, podendo ser colocados em 25 trechos diferentes;
- Tipo III – são as contagens manuais, considerando 12 horas por dia (considerou-se para o caso de Angola, o período das 6h:30 às 18h:30, atendendo a que nesse período se consegue observar a hora de ponta da manhã e a da tarde).

A utilidade com base no tempo de contagem associado a cada tipo de posto de contagem a utilizar, foi inicialmente calculada como uma função linear da dimensão do tempo de contagem, pelo que se verificou que os postos do tipo I (329 dias) apresentavam um peso bastante superior aos postos dos tipos II (14 dias) e III (meio dia). Este critério conduziu a um grande desequilíbrio entre os diferentes tipos de postos, uma vez que não traduz com fidelidade o impacto decrescente do número de dias de contagem no aumento da exatidão das estimativas do TMDA obtidas com os respetivos resultados (ver Figura 23):

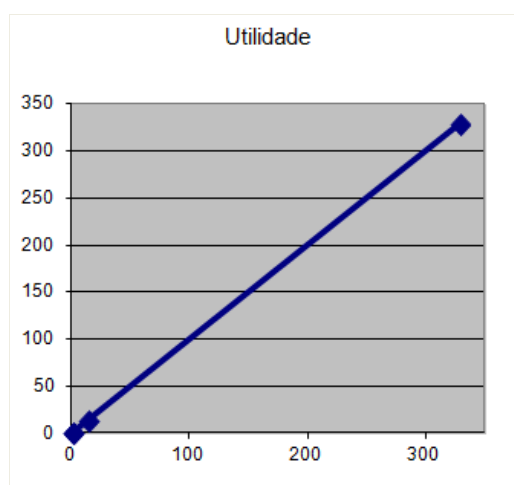


Figura 23 – Utilidade do tempo em função dos dias de contagem.

Por isso, arranjou-se uma forma de ter uma função utilidade que garantisse melhor equilíbrio entre os três tipos de postos, calculando a utilidade em função da exatidão de estimativa do TMDA associada ao tempo de contagem. Essa abordagem é adaptada do Road Research Laboratory (1965), o qual define cinco categorias de exatidão e respetivo erro associado, dependendo do tipo de contagem (manual ou automática) e da duração das contagens. Assumiu-se que o erro associado a cada classe de exatidão é dado pelo valor médio do intervalo apresentado para cada classe, tendo por base os valores do Quadro 10.

Quadro 10

Quadro 10 – Categorias de exatidão associadas aos métodos de contagem. (Adaptado de Road Research Laboratory, 1965)

Categoria	Erro associado	Valores médios	
A	Até 5%	2,5%	Muito satisfatório
B	5 – 10%	7,5%	Satisfatório para os propósitos normais
C	10 – 25%	17,5%	Bom o suficiente
D	25 – 50%	37,5%	Insatisfatório
E	Acima de 50%		Inútil

Uma vez que a categoria E produz resultados designados por “inútil”, devido ao elevado erro associado, esta não foi considerada.

A mesma fonte bibliográfica apresenta de seguida um quadro com diferentes hipóteses de contagem em função da duração das mesmas, com a finalidade de estimar o TMDA associando a cada uma delas o respetivo erro expectável. Da análise desse quadro resulta o seguinte:

- Para os postos do tipo I, ou seja, contagens integrais ao longo do ano, está definida a classe A e admitindo um erro de 2,5% (admitindo que ocorrem sempre avarias pontuais dos equipamentos), considera-se uma utilidade de 100% com base na exatidão, ou seja, o valor ótimo.
- Para os postos do tipo II, foi feita uma aproximação considerando que as contagens temporárias se enquadram no grupo das contagens manuais desse quadro. Como o quadro não apresentava nenhum caso semelhante ao tipo de contagem definido, ou seja, 14 dias consecutivos de contagem, arranjou-se uma forma de enquadrar o mesmo. Foram escolhidos dois casos: contagens das 6h:00 às 22h:00 durante 7 dias consecutivos (categoria C) e contagens das 6h:00 às 22h a cada 26 dias por ano, o que perfaz 14 contagens por ano (categoria A ou B), assumiu-se então que a categoria deste tipo de posto de contagem estaria entre B e C pois ter 14 dias de contagem consecutivos há-de ser melhor do que ter 7 dias e há-de ser pior do que 14 dias distribuídos ao longo do ano. Considera-se isto porque este tipo de contagem consegue

apanhar as variações sazonais e os 14 dias consecutivos não. Sendo que foi assumida a categoria C com um erro associado de 15%, o que corresponde a uma exatidão de 85%.

- Para os postos do tipo III considerou-se o caso de contar num dia de semana entre as 6h:00 e as 22h:00, ao qual corresponde a categoria de C ou D, o que corresponde a uma exatidão de 40%, atendendo a que a contagem que se prevê realizar se efetuará durante um intervalo horário menor.

Apresenta-se na figura 23 a utilidade de cada posto em termos da exatidão pretendida.

Utilidade das estações		
	Dias	Utilidade
	0	0
I	329	1
II	14	0,85
III	0,5	0,4

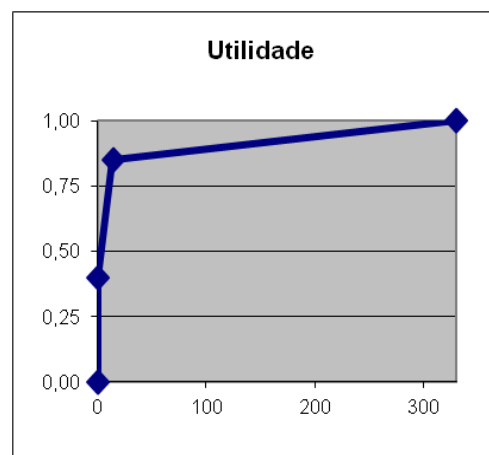


Figura 24 – Utilidade em função da exatidão.

3.3.2. Resolução do modelo

Depois de definidas as utilidades a atribuir a cada trecho (125 no total, 6 trechos da província de Luanda, 55 do Bengo e 64 do Cuanza Norte) em função do tipo de contagem, definiu-se o caso de estudo como um problema de otimização linear, com a função objetivo e as respetivas restrições. Seja “ t ” o índice do trecho pertencente ao conjunto de trechos $T = \{1, 2, \dots, 125\}$, “ i ” o índice do tipo de posto pertencente ao conjunto do tipo de postos de contagem $I = \{1, 2, 3\}$, $P = \{1, 2, 3\}$ o conjunto das províncias, B o limite máximo admitido para o investimento a realizar, C o custo associado aos postos de contagem e R o número de postos de contagem do tipo II possíveis expressos pelo número de reutilizações correspondente. Considere-se ainda que o conjunto de trechos T é constituído por três

subconjuntos (T_p) correspondentes aos trechos de cada província e que u_t^g é a utilidade geométrica de “t” e u_t^i a utilidade do tempo do posto do tipo “i”.

$$\text{Max } F = \sum_{t=1}^{125} \sum_{i=1}^3 n_t^i \times (u_t^g \times u_t^i)_t \quad (17)$$

Sujeito a:

$$\sum_{t=1}^{125} n_t^I \times C_t^I + n_t^{II} \times C_t^{II} + n_t^{III} \times C_t^{III} \leq B \quad (18)$$

$$n_t^I + n_t^{II} + n_t^{III} \leq 1 \quad (19)$$

$$\sum_t n_t^I \geq 1 \quad (20)$$

$$\forall t \in T_p$$

$$\sum_t n_t^{II} = R \quad (21)$$

$$\forall t \in T$$

$$0 \leq n_t^i \leq 1 ; \text{inteiro} \quad (22)$$

$$\forall i \in I$$

As variáveis “ n_t^i ” representam as variáveis de decisão do modelo e apenas podem tomar os valores de 1 ou 0 (22), consoante o trecho possua ou não um posto de contagem, respetivamente. Na função objetivo (17), cada trecho dá origem a três variáveis, que representam a possibilidade do mesmo ter um posto do tipo I, II ou III, gerando no total 375 variáveis. A restrição (19) impõe que cada trecho deve possuir apenas um posto de contagem (seja este do tipo I, II ou III), o que significa que se uma das três variáveis referentes ao trecho tomar o valor de 1, as outras têm que ser 0. A restrição (18) representa a função custo, que traduz o custo de cada trecho em função do tipo de equipamento. Foi também adicionada uma restrição que impõe que deve existir pelo menos um posto de contagem do tipo I em cada província (20), para garantir que em cada uma exista pelo menos um trecho com dados de

contagem permanente, ou seja, dados de 24 h de todos os dias do ano. A restrição (21) corresponde ao número de postos do tipo II que podem existir, atendendo à possibilidade de reutilização destes postos temporários ao longo do ano (relembrando que cada posto poderá ser instalado em 25 trechos diferentes durante o ano). Uma vez que na programação linear o valor do termo à direita das restrições é uma constante, houve que efetuar a otimização, tantas vezes quantas o número de equipamentos potencialmente utilizáveis na rede (0, 1, 2, 3 ou 4) correspondendo a cinco valores da variável R (0, 25, 50, 75, 100).

De seguida, foram calculados os custos para cada tipo de posto com base nos custos de aquisição, instalação e manutenção dos equipamentos e da mão-de-obra. Para os postos de contagem do tipo I, foi escolhida a tecnologia de processamento de imagens de vídeo, ou seja, câmaras de vídeo, cujo custo de aquisição do equipamento foi obtido junto de um fornecedor, para o aparelho *Autoscope Encore*. Para o cálculo do custo, foi considerado o custo de montagem e de alimentação, uma vida útil de quatro anos (embora sejam normalmente expectáveis oito anos) tendo em conta as condicionantes físicas e socioeconómicas do local. Para a mão-de-obra, considerou-se que um operador se deslocará mensalmente para efetuar a inspeção e manutenção do sistema, com ajudas de custo referentes a 1 dia a 25%¹¹. Note-se que o operador deve possuir formação técnica ou superior: considerou-se um recém-licenciado com um salário mensal de 900.00 € (o equivalente a 1200,00 USD). O cálculo total foi efetuado da seguinte maneira:

Equipamento:	4000,00 €
Montagem + Alimentação solar:	1000,00 €
Vida útil:	4 anos
	$(4000 + 1000) / 4 = 1250,00 \text{ €}$

Uma inspeção mensal:

Operador:	900,00 €/mês / 22 dias úteis/mês	40,91 €
Ajudas de custo:	1 dia a 25% a 79,66 €/dia	19,92 €
Deslocação	200 km a 0,36 €/km	72,00 €
	$(40.91 + 19.92 + 72.00) \times 12$	= 1593,89 €

¹¹ Considerando que o operador fará apenas uma refeição (neste caso, almoço)

Considera-se que as ajudas de custo são atribuídas pela administração rodoviária de acordo com as seguintes regras: 25% para almoço (período de trabalho entre as 8h e as 20h), 25% para jantar (período de trabalho abrangendo também entre as 20h e as 24h), mais 50% caso seja necessário pernoitar fora da residência. Utilizou-se um valor de referência em empresas portuguesas.

Para os postos de contagem do tipo II, de contagem temporária, foi escolhido um sistema à base de detetores magnéticos, que ao fim de 14 dias num local serão transferidos para outro local, conforme atrás referido, pelo que ao longo do ano poderá estar em 25 locais diferentes. Admitiu-se um custo de aquisição do equipamento de 2200,00 €, uma vida útil de dois anos e meio (metade dos cinco normalmente expectáveis) e neste caso a alimentação solar não é contabilizada pois este equipamento funciona com uma bateria. Quanto à mão de obra, considerou-se um operador com a mesma categoria do anterior, que fará duas deslocações mensais para a montagem e remontagem do equipamento, manutenção, extração de dados e troca de bateria. Note-se que a montagem deste tipo de equipamento é feita diretamente na faixa de rodagem, sendo por isso necessário contar com o apoio policial para a interrupção do tráfego. Foi admitido um valor para o custo de um polícia no local.

Equipamento:	2200,00 €
Vida útil:	2,5 anos

Operação em 25 locais (2 semanas):	
	$(2200) / 2.5 / 25 = 35,20 \text{ €}$

Montagem/remontagem a cada duas semanas:

2 Operadores:	$2 \times 900,00 \text{ € /mês} / 22 \text{ dias úteis/mês}$	81,82 €
Ajudas de custo:	2 dias a 25% a 79,66 €/dia	39,83 €
Deslocação	100 km a 0,36 €/km	36,00 €
Apoio policial	$2 \times 150,00 \text{ €/local}$	300,00 €
	$(81,82 + 39,83 + 36,00 + 300,00)$	= 457,65 €

Para os postos do tipo III, de contagem manual, não se considera o custo do equipamento, considera-se apenas o custo associado à mão de obra. Considerou-se que serão necessários quatro operadores, incluindo o motorista, sendo que os operadores não precisam de possuir nenhuma formação técnica ou especializada, apenas o certificado de conclusão do ensino médio (12º ano). O custo dos operadores foi efetuado com base num salário mínimo mensal 230.00 € (o equivalente a 300.00 USD de salário mínimo em Angola). Nos postos temporários, considerou-se um percurso menor porque se admite a deslocação direta entre estações de contagem sem necessidade de deslocação ao centro operacional da província.

Equipamento: 0,00 €
=0,00 €

Meio dia de contagem mais um dia de preparação/tratamento de dados:

4 Operadores :	$4 \times 1.5 \times 230,00 \text{ €/mês} / 22 \text{ dias úteis./mês}$	62,73 €
Ajudas de custo:	4 dias a 100% a 39,83 €/dia	159,32 €
Deslocação	100 km a 0,36 €/km	36,00 €
	$(62,73 + 159,32 + 36,00)$	= 258,05 €

Para os três tipos de postos de contagem foram obtidos os custos apresentados no Quadro 11 e as respetivas utilidades de tempo. Da análise do mesmo, nota-se que os postos de contagem do tipo I apresentam um custo superior em relação aos restantes, o que pode ser explicado pelo elevado custo de aquisição e de manutenção deste tipo de equipamento, porém apresentam uma vida útil superior aos restantes.

Quadro 11 – Custo calculados para os três tipos de postos de contagem.

Tipo	I	II	III
Utilidade Tempo (d)	1	0,85	0,4
Custo (€)	2.843,89 €	492,85 €	258,05 €

Através da utilidade geométrica (% população x km) e da utilidade do tempo, calculou-se então o máximo da função objetivo, que é dado pela soma das utilidades geométricas de cada província¹² multiplicadas pela utilidade do tempo máxima (neste caso 1,

¹² Dadas pela soma das utilidades de todos os trechos dessa província

para o caso extremo de todos os trechos possuírem um posto de contagem do tipo I), conforme se pode ver no Quadro 12. Encontra-se no anexo A.4 um quadro que contém todos os trechos e respectivas utilidades, bem como o cálculo do máximo da função objetivo. De seguida apresenta-se um quadro com o resumo do cálculo referido.

Quadro 12 – Resumo do cálculo do máximo da função objetivo

Províncias	Utilidade
A	59,43
B	37,37
C	27,03
	123,83

$$Máx FO = 59,43 \times 1 + 37,37 \times 1 + 27,03 \times 1 = 123,83 \quad (23)$$

Admitiu-se um valor de investimento desejado de 75.000,00 €, sendo que para o cálculo do investimento mínimo necessário foram consideradas duas das restrições anteriormente apresentadas: a (20), referente à imposição de existir pelo menos um posto de contagem do tipo I em cada província e a (21) referente à existência de postos de contagem do tipo II, considerando neste caso o uso de nenhum posto deste tipo.

Quadro 13 – Restrição do número de postos do tipo I em cada província

Estações Tipo I	Nº Províncias	Min. por Província	Nº usado
	3	1	3

Quadro 14 – Restrição do número de postos do tipo I em cada província

Estações Tipo II	Nº reutilizações	Nº equipam.	Nº usado
	25	1	25
	25	0	0

Foi então calculado o valor do investimento mínimo, considerando um mínimo de três postos do tipo I em cada província e nenhum posto do tipo II, através da soma do custo de cada posto multiplicado pelo número de utilizações:

$$\text{Investimento mínimo} = 2.843,89 \times 3 + 492,85 \times 0 = 8.843,89 \text{ €}$$

Apresenta-se de seguida o mesmo cálculo, considerando desta vez a existência de um posto de contagem do tipo II, para se demonstrar o impacto que a variação do número de postos do tipo II tem sobre o custo.

$$\text{Investimento mínimo} = 2.843,89 \times 3 + 492,85 \times 25 = 20.852,87 \text{ €}$$

Uma vez definidos todos os parâmetros necessários, procedeu-se à otimização linear deste modelo, cuja função objetivo apresenta 375 variáveis e está sujeita a 509 restrições. Para tal foi desenvolvida uma ferramenta informática no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) recorrendo ao “*Scilab*¹³”, resolvendo o problema como um modelo de programação linear inteira com variáveis binárias, aplicando o algoritmo de *branch and bound*.

Para o cálculo, foram considerados cinco níveis de investimento diferentes (25.000,00 €, 35.000,00 €, 50.000,00 €, 60.000,00 €, 75.000,00 € e 85.000,00 €) e também cinco cenários diferentes para os postos de contagem do tipo II, considerando as seguintes alternativas: 0, 1, 2, 3 ou 4 postos. Isto porque, se pretende efetuar uma análise de sensibilidade ao modelo, para se perceber como é que a variação destes parâmetros afeta o resultado final em termos de custos e de benefícios.

A análise de sensibilidade é um método de apoio à decisão, que permite observar o impacto que a variação de alguns parâmetros do modelo provoca nos resultados. Este método consiste em fazer diferentes simulações para os parâmetros ou variáveis do modelo que constituem maior incerteza, determinando o impacto de tais alterações na rentabilidade do projeto. As conclusões tiradas desta análise são fundamentais para se decidir até que ponto é viável realizar um determinado investimento (Roque, 2013).

¹³ Software para a resolução de problemas numéricos

3.3.3. Resultados obtidos

A otimização linear do modelo foi feita por meio de sucessivas iterações pela ferramenta de cálculo desenvolvida, até chegar à solução ótima para cada nível de investimento e para os diferentes cenários de postos do tipo II. Como resultado, o programa produziu uma lista de todos os trechos, 375 no total, considerando que cada trecho é representado três vezes (uma vez por cada tipo de posto), atribuindo aos mesmos o valor de 1 ou 0 consoante estes possuam ou não, o posto de contagem associado.

Os resultados estão apresentados no anexo A.5, em que cada trecho possui um código de identificação, neste caso, semelhante ao definido no início do presente subcapítulo, acrescentando apenas a designação do tipo de posto no fim. Por exemplo, o trecho A102 (que representa o trecho 2, do 1º nível, da província de Luanda, conforme referido anteriormente) assume agora a designação de A102I, A102II e A102III, em que apenas um destes terá o valor de 1 e os outros de 0, atendendo à restrição (19), que impõe que um trecho pode ter apenas um posto de contagem.

Neste caso, a análise de sensibilidade foi feita variando o investimento e a quantidade de postos de contagem do tipo II. No caso destes últimos, considerou-se apenas a variação entre zero e quatro postos, devido ao facto da rede considerada ter 125 trechos, com a restrição de ter pelo menos um posto do tipo I por província e de não ter mais do que um posto por trecho. Assim, se fossem considerados cinco postos, os mesmos seriam instalados em 125 trechos ao longo ano, atendendo ao facto de cada posto poder ser utilizado em 25 trechos diferentes por ano, o que não seria possível devido à existência da restrição de ter um posto do tipo I por província e de não haver mais do que um posto por trecho.

No Quadro 15, encontram-se os resultados obtidos para os diferentes investimentos considerados, cujos valores representam o total do número de postos sem fazer referência às províncias. Essa informação encontra-se no quadro, que apresenta os resultados da otimização do modelo.

Quadro 15 – Resultados

Inv. Máximo	Investimento	Tipo I	Tipo II	Tipo III	F. Objetivo
25000	24805	6	0	30	70,17
	24982	3	25	16	84,13
35000	34879	8	0	47	79,76
	34798	5	25	32	91,19
	34980	3	50	7	95,04
50000	49857	10	0	83	87,81
	49776	7	25	68	98,43
	49963	6	50	32	103,30
	49887	4	75	6	104,79
60000	59942	14	0	78	91,45
	59856	10	25	74	101,16
	59780	8	50	48	106,47
	59967	7	75	12	109,24
	59881	3	100	8	108,18
75000	74936	19	0	81	96,02
	74854	16	25	66	104,27
	74773	13	50	51	109,30
	74950	10	75	37	112,34
	74874	8	100	11	113,73
85000	84758	22	0	86	98,54
	84934	19	25	72	106,09
	84859	17	50	46	110,83
	84778	14	75	31	113,68
	84960	12	100	6	115,07

Com os dados do quadro anterior, construiu-se um novo quadro (ver Quadro 16) que demonstra a influência que a variação do número de postos de contagem do tipo II tem no investimento necessário.

Quadro 16 – Valor absoluto da função objetivo (F.O.)

Valor absoluto da função objetivo										
Tipo II	0		1		2		3		4	
Inv. Máx	Inv.	F.O.	Inv.	F.O.	Inv.	F.O.	Inv.	F.O.	Inv.	F.O.
25000	24805	70,17	24982	84,13						
35000	34879	79,76	34798	91,19	34980	95,04				
50000	49857	87,81	49776	98,43	49963	103,30	49887	104,79		
60000	59942	91,45	59856	101,16	59780	106,47	59967	109,24	59881	108,18
75000	74936	96,02	74854	104,27	74773	109,30	74950	112,34	74874	113,73
85000	84758	98,54	84934	106,09	84859	110,83	84778	113,68	84960	115,07

A partir do quadro anterior, construiu-se o gráfico apresentado abaixo (ver Figura 25), como auxílio à tomada de decisão do número de postos do tipo II a utilizar com o objetivo de garantir a máxima cobertura da rede ao mínimo investimento possível. Este gráfico, representa no eixo das abcissas o investimento (€) e no eixo das ordenadas o valor ótimo da função objetivo associado.

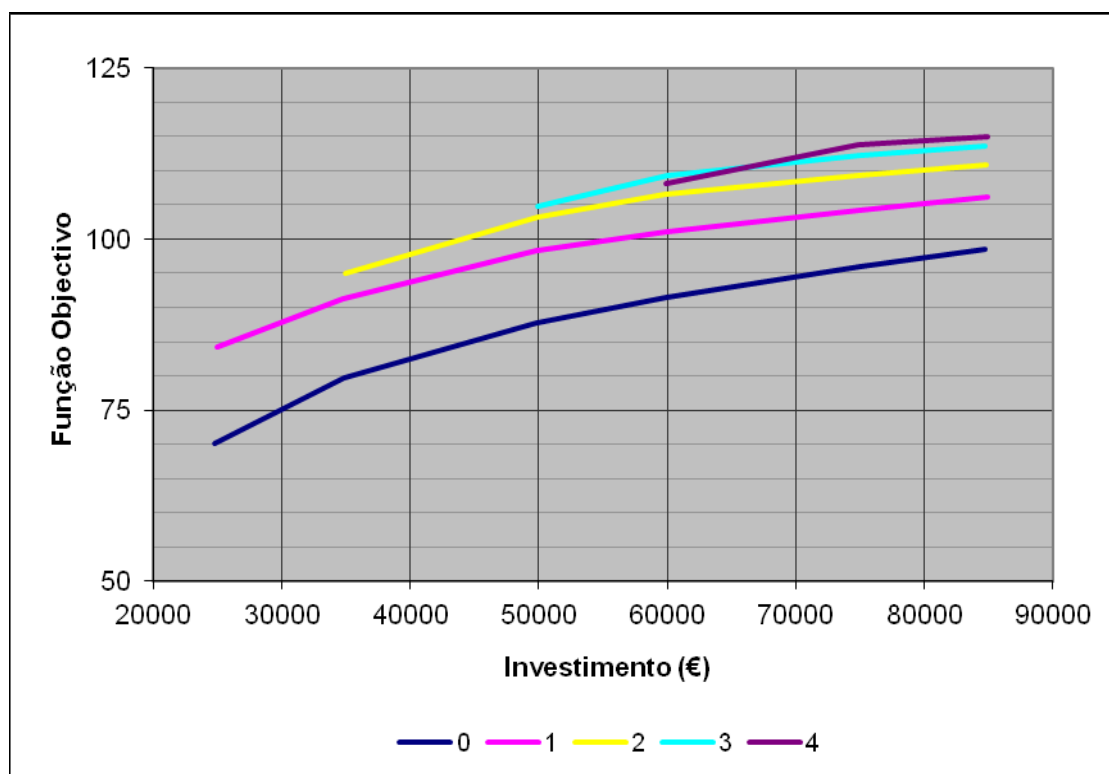


Figura 25 – Análise de sensibilidade

Da análise do gráfico anterior pode-se notar que para o investimento de 25.000,00 € é possível ter um posto do tipo II ou não ter nenhum, porém nota-se que para o mesmo valor de investimento, passar de 0 para 1 posto representa um grande incremento na função objetivo, passando de 70,17 para 84,13, e em termos de investimento, de 24.805,00 € para 24.982,00 €, pelo que é preferível optar pela última opção face ao benefício apresentado em função da pequena diferença no valor do investimento.

Até aos 35.000,00 € apenas se consegue garantir a utilização de um posto, porém a partir desse valor já se consegue garantir a utilização de dois postos e verifica-se a mesma situação anteriormente descrita, apesar da utilização de dois postos não apresentar um grande incremento em termos de função objetivo para o mesmo investimento. Tem-se então um aumento no benefício de 91,19 para 95,04 e no investimento, de 34.798,00 € para 34.980,00 € e por esta ligeira diferença no valor do investimento face ao aumento do benefício, é preferível optar pela utilização de dois postos de contagem.

Esta tendência verifica-se para os restantes níveis de investimento. À medida que se aumenta o número de postos o incremento no benefício compensa a diferença no valor do investimento, pois a utilização de mais um posto garante a cobertura de mais 25 trechos da rede viária. A partir dos 60.000,00 €, é possível ter os quatro postos de contagem, porém passar de três para quatro já não acrescenta grande benefício à função objetivo face ao aumento do investimento, exceto num ponto de inflexão que se verifica próximo dos 75.000,00 €, em que ao passar de três para quatro postos, aumenta o benefício de 112,34 para 113,73 e diminui-se o valor do investimento, passando de 74.950,00 € para 74.874,00 €. Esta solução também é a mais resiliente em caso de avaria ou inoperação de um dos contadores portáteis, já que a perda de um deles não acarreta grande diminuição no valor da função objetivo. Portanto esta é a solução ótima escolhida para o modelo em estudo.

O quadro seguinte, é uma variante do Quadro 16, com a diferença de que a função utilidade é apresentada em termos da percentagem do valor máximo da função objetivo. E da análise desse quadro conclui-se que para a opção escolhida, atinge-se 92% do valor máximo da função objetivo, que é um valor muito próximo do ideal. Da análise do Quadro 15, pode-se observar que para esta solução, contam-se com 8 postos do tipo I, 100 postos do tipo II e 11 postos do tipo III.

Quadro 17 – Valor máximo da função objetivo em termos de percentagem

Percentagem do valor máximo da função utilidade										
Tipo II	0		1		2		3		4	
Inv.Máx	Inv.	F.Ut.	Inv.	F.Ut.	Inv.	F.Ut.	Inv.	F.Ut.	Inv.	F.Ut.
25000	24805	57%	24982	68%						
35000	34879	64%	34798	74%	34980	77%				
50000	49857	71%	49776	79%	49963	83%	49887	85%		
60000	59942	74%	59856	82%	59780	86%	59967	88%	59881	87%
75000	74936	78%	74854	84%	74773	88%	74950	91%	74874	92%
85000	84758	80%	84934	86%	84859	89%	84778	92%	84960	93%

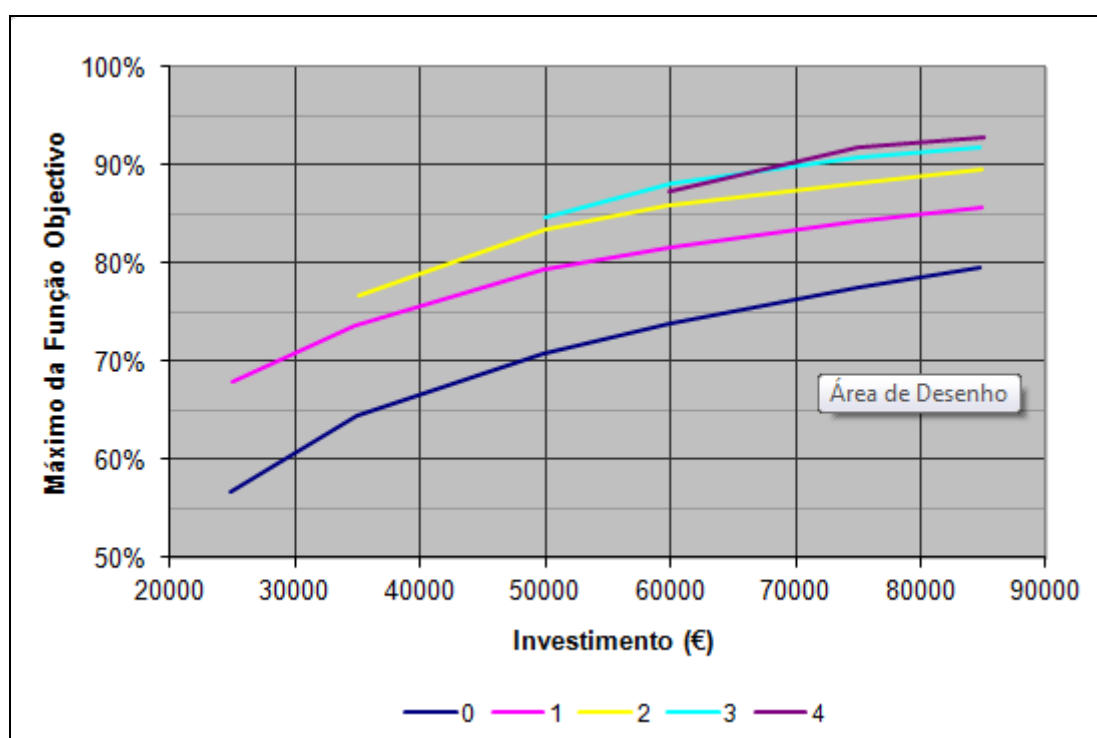


Figura 26 – Análise de sensibilidade

3.4. Proposta da rede

Com base nos resultados obtidos anteriormente, para a solução ótima escolhida, com o benefício de 113,73 e investimento de 74.874,43 €, apresenta-se na figura seguinte a localização dos postos de contagem nas três províncias.



LEGENDA:

- Postos de contagem do tipo I
- Postos de contagem do tipo II
- Postos de contagem do tipo III
- Troços sem postos de contagem

Figura 27 – Rede proposta

4. Conclusões

O objetivo principal do presente trabalho foi desenvolver um método para definir uma rede de recenseamento de tráfego para a rede fundamental de estradas de Angola. Atendendo ao facto de não haver dados de tráfego disponíveis desenvolveu-se uma metodologia para a definição da rede sem informação de tráfego à priori.

Em Angola não existe uma rede de recolha de dados de tráfego de forma permanente; efetuam-se apenas contagens pontuais para fins muito específicos e em locais escolhidos para o efeito. Não obstante, é necessário que o tráfego que circula pela rede viária possa ser supervisionado, para se caracterizar a procura e a oferta em termos de capacidade das infraestruturas, avaliar o desempenho da rede viária (identificação dos níveis de saturação nas secções e nas intersecções), identificar os locais onde poderá ser necessário intervir a nível da gestão do volume de tráfego, definir as maiores deficiências e perceber até que ponto se podem efetuar melhorias. O conhecimento do tráfego é assim fundamental para se efetuar o planeamento e gestão do tráfego, dimensionar infraestruturas capazes de servir a procura real, efetuar adequada manutenção das infraestruturas existentes, atuar a nível da segurança rodoviária através da aplicação de medidas preventivas e corretivas, entre outros. Tal conhecimento é especialmente importante por se tratar de um país em crescente desenvolvimento tanto a nível socioeconómico como de infraestruturas.

Fez-se uma síntese dos parâmetros caracterizadores das correntes de tráfego, designadamente, o volume, a velocidade e densidade. Foram definidos e caracterizados os tipos de contagens de veículos existentes com base na duração e na finalidade das contagens. Foi ainda efetuado um levantamento detalhado das técnicas de contagem de tráfego mais utilizadas e dos respetivos equipamentos.

No desenvolvimento do método proposto foi feita uma caracterização dos trechos da rede, atribuindo a estes um peso, em função de características demográficas e geométricas definidas, uma vez que o volume de tráfego ainda é desconhecido. Devido ao facto da malha da rede fundamental ser bastante densa, efetuou-se uma hierarquização dos trechos de acordo com a informação atualmente disponível e contida

no mapa. Esta hierarquização é suscetível de melhoramentos, à medida que informação socioeconómica seja acessível. Poderiam, por exemplo, ser definidas como estradas do primeiro nível, aquelas que apresentam maior afluência de tráfego e as que ligam as províncias e principais pontos industriais e agrícolas; sendo todas as restantes de segunda ordem.

Foram igualmente definidos os tipos de postos de contagem mais recomendáveis e os respetivos equipamentos, bem como a duração dos respetivos períodos de contagem. Com esta informação foi desenvolvido um método baseado na programação linear inteira binária, para otimizar a função objetivo constituída pelos trechos e as respetivas utilidades, tendo em conta as restrições definidas e o custo. Fez-se ainda uma análise de sensibilidade com a finalidade de perceber até que ponto se consegue obter maior utilidade com o incremento do investimento.

Finalmente, o método desenvolvido foi aplicado a três províncias, dada a extensão da rede angolana, tendo por objetivo testar a fiabilidade e aplicabilidade do método.

Os resultados obtidos foram satisfatórios tendo em conta a informação disponível. Assim, obteve-se uma lista dos trechos, devidamente discriminados de acordo com o tipo de província e o tipo de posto de contagem associado, aos quais foi atribuído o valor de 1 ou 0 (valores das variáveis binárias), consoante sejam dotados ou não com postos de contagem de determinado tipo.

O objetivo principal do presente trabalho foi atingido quer do ponto de vista prático quer do científico. Com efeito, a metodologia desenvolvida pode representar um contributo para a investigação nesta área, uma vez que na recolha bibliográfica exaustiva sobre o tema efetuada se verificou a inexistência de métodos para localizar postos de contagem numa rede na situação de ausência de dados de tráfego disponíveis. Contatou-se, assim, que este tema constitui uma lacuna nesta área de investigação.

4.1. Desenvolvimentos futuros

Após a realização do presente trabalho e de modo a melhorar a metodologia apresentada, identifica-se um conjunto de possíveis desenvolvimentos futuros decorrentes dos resultados obtidos e visando a sua aplicação a toda a rede rodoviária angolana.

Primeiramente, a definição da utilidade da contagem dos trechos pode ser melhorada e, conseqüentemente, a função objetivo, objeto de otimização. A utilidade geométrica atribuída a cada província (posteriormente a cada trecho) teve como base apenas a população de cada província e a extensão de cada trecho. Porém de modo a torná-la mais coerente e representativa, podem ser considerados outros indicadores, como índices de produção agrícola, índices de industrialização e de atividade económica, entre outros. Com este tipo de análise, o que se pretende é atribuir a cada província um conjunto de características que sejam representativas do seu peso na geração de tráfego rodoviário, quando comparadas com o resto das províncias. Deste modo, é possível perceber quais as províncias mais relevantes em termos de geração e atração de tráfego e, numa ótica mais restrita, quais as localidades e estradas que pela sua relevância, devem conter postos de contagem.

Em segundo lugar, a utilidade do tempo de contagem pode ser melhorada com base nos postos de contagens permanentes, uma vez que após um ano inteiro de contagens será possível obter os volumes médios diários, semanais, mensais e anuais, ou seja, a variação do tráfego ao longo do ano. Uma vez que a utilidade do tempo foi calculada com base num método desenvolvido na Inglaterra na década de 60 pelo Road Research Laboratory (1965), a partir do momento em que se dispuser de dados nacionais, o modelo pode ser ajustado à realidade, através do cálculo dos fatores de conversão com base nos dados existentes. Conforme referido no subcapítulo 2.2.1, tendo contagens de estações permanentes é possível calcular fatores de conversão de modo a aplicá-los a contagens temporárias de locais com as mesmas características (ou similares) e obter resultados fiáveis.

Por outro lado, a partir do momento em que se tenha informação de tráfego disponível será possível aplicar os métodos descritos no subcapítulo 3.2 de modo a otimizar a localização de postos de contagem para se ter maior cobertura da rede e um menor investimento associado. É previsível que nessa altura a aplicação da programação linear se revele muito morosa e se tenha de aplicar métodos de otimização computacionalmente mais eficientes, mais provavelmente associados à função objetivo e restrições não lineares.

Outra melhoria potencial passa pela georreferenciação dos postos de contagens, de modo a registar as coordenadas exatas da localização dos mesmos e posteriormente inserir-se num Sistema de Informação Geográfica (SIG), onde será possível atender a informação de carácter espacial adicional.

A partir do momento em que se tenham dados de tráfego da rede viária, diversas análises na área de transportes poderão ser feitas, tanto ao nível de planeamento e gestão de tráfego como ao nível do dimensionamento das infraestruturas. A partir desses dados será possível atuar de forma mais exata e assertiva no âmbito da segurança rodoviária, de modo a combater a sinistralidade e promover maior segurança na circulação rodoviária. É importante identificar na rede as zonas de acumulação de acidentes e os locais potencialmente perigosos e atuar de forma corretiva e preventiva nos mesmos, bem como definir um conjunto de medidas a aplicar na rede viária tendo em vista a melhoria da segurança rodoviária.

Ainda no âmbito da segurança rodoviária, é fundamental desenvolver um sistema de registo e análise de dados relativos a acidentes, de modo a conhecer os locais onde ocorrem os acidentes, as respetivas causas e o tipo de veículos envolvidos. Assim, diversas análises podem ser efetuadas com a finalidade de se perceber de um modo global as causas dos acidentes e que medidas podem ser aplicadas para combater a sinistralidade. Por outro lado, pode ainda estudar-se a possibilidade da aplicação de modelos de estimativa de acidentes, que constituem uma ferramenta importante na promoção da segurança rodoviária, pois fornecem estimativas precisas para a frequência total de acidentes para uma localização por unidade de tempo (permitindo identificar

locais anormalmente perigosos), e são geralmente função do tráfego da estrada e das suas características geométricas.

Em suma, podem ser feitas melhorias à metodologia definida de modo a tornar o modelo mais coerente e mais adequado à realidade. Por outro lado, a partir dos resultados obtidos será possível desenvolver diversos estudos na área de transportes de modo a melhorar quer o sistema rodoviário quer a eficiência dos investimentos que nele serão feitos nos próximos anos.

Bibliografia

- AASHTO. (2009). *Guidelines for Traffic Data Programs*. AASHTO.
- Alves, R., & Delgado, C. (1997). *Programação Linear Inteira*. Porto: Faculdade de Economia da Universidade do Porto.
- Andrade, M. N. (2000). *Métodos e técnicas de recolha de dados de tráfego - Algoritmo para a definição da matriz origem/destino (Tese de mestrado)*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Barrico, C. (2000). Apontamentos da cadeira de IO - Introdução à programação linear. Universidade da Beira interior.
- Bianco, L., Cerrone, C., Cerulli, R., & Gentili, M. (2014). Locating sensors to observe network arc flows: Exact and heuristic approaches. *Computers & Operations Research* 46, pp. 12-22.
- Brito, J. B. (2012). *Caracterização da flutuação do tráfego na cidade de Lisboa (Tese de mestrado)*. Universidade Nova de Lisboa.
- Chen, A., Pravinongvuth, S., Chootinan, P., Lee, M., & Recker, W. (2007). Strategies for selecting additional traffic counts for improving O-D trip table estimation. *Transportmetrica*, Vol 3, No.3, pp. 191-211.
- Costa, A. H. (2008). *Correntes de Tráfego*. Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte.
- DEM-UC, Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Coimbra. (9 de Julho de 2014). Obtido de http://gestao.dem.uc.pt/gestao_industrial/mad/Vol2.pdf
- DNIT. (2006). *Manual de estudo de tráfego*. Rio de Janeiro.
- DNIT. (2007). *Fase 2 - Pré-avaliação dos equipamentos disponíveis para utilização nas pesagens*. DNIT.
- Estradas de Portugal, E. (03 de Julho de 2014). *Estradas de Portugal, EP*. Obtido de <http://www.estradasdeportugal.pt/index.php/pt/areas-de-atuacao/empreendimentos/15-downloads>
- Feiring, B. R. (1986). *Linear programming - An introduction*. Sage Publications.
- Gentili, M., & Mirchandani, P. (2011). Survey of models to locate sensors to estimate traffic flows. *90th TRB Annual Meeting*.

- Gentili, M., & Mirchandani, P. B. (2012). Locating sensors on traffic networks: models, challenges and research opportunities. *Transportation Research Part C* 24, pp. 227-255.
- Guerreiro, J., Magalhães, A., & Ramalhete, M. (1985). *Programação Linear - Volume II*. Portugal: McGraw-Hill.
- Hallenbeck, M., & Weinblatt, H. (2004). *Equipment for Collecting Traffic Load Data*. Washington, D.C.: Transportation Research Board.
- Halvorsen, D., & Motzko, F. (2000). Fiber optic traffic sensors. *North American travel monitoring exposition and conference*.
- Hill, M., & Santos, M. (2009). *Investigação Operacional - Programação Linear*. Lisboa: Edições Sílabo.
- Hu, S.-R., & Liou, H.-T. (2014). A generalized sensor location model for the estimation of network origin-destination matrices. *Transportation Research Part C*, pp. 93-110.
- IMTT. (2011). *Coleção de brochuras técnicas/temáticas - Contagens e inquéritos de tráfego*.
- IST. (2006). Folhas da disciplina de Gestão de tráfego rodoviário.
- João Pedro Pedroso. (14 de Junho de 2014). Obtido de <http://www.dcc.fc.up.pt/~jpp/mad/teorica-03.pdf>
- Klein, L. A., Mills, M. K., & Gibson, D. R. (2006). *Traffic Detector Handbook - Third Edition - Volume I*. Federal Highway Administration.
- Lam, W., & Lo, H. (1990). Accuracy of OD estimates from traffic counts. *Traffic Engineering & Control* 31, pp. 358-367.
- Leduc, G. (2008). *Road Traffic Data: Collection Methods and Applications*. Joint Research Centre.
- Lobo, V. J. (19 de Junho de 2014). *Apontamentos da Disciplina de IO - Método Simplex*. Obtido de Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação - UNL: http://www.isegi.unl.pt/docentes/vlobo/IO/io_2_Simplex6.pdf
- Lobo, V. J. (19 de Junho de 2014). *Apontamentos da Disciplina de IO - Resolução de PL usando o método gráfico*. Obtido de Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação - UNL: http://www.isegi.unl.pt/docentes/vlobo/IO/io_1_PL_graficos6.pdf
- Mimbela, L. E., & Klein, L. A. (2000). *Summary of Vehicle Detection and Surveillance Technologies Used in Intelligent Transportation System*. The Vehicle Detector Clearinghouse.
- Ramalhete, M., Guerreiro, J., & Magalhães, A. (1985). *Programação Linear - Volume I*. McGraw-Hill.

- Road Research Laboratory. (1965). *Research on road traffic*. London: Her Majesty's stationery office.
- Roque, C. A. (2010). Folhas da cadeira de transportes - Engenharia de tráfego rodoviário.
- Rothlauf, F. (1998). *Design of Modern Heuristics - Principles and Application*. Germany: Springer.
- Thie, P. R. (1988). *An Introduction to Linear Programming and Game Theory - Second Edition*. USA: John Wiley & Sons.
- TRB. (2000). *Highway Capacity Manual*. Washington, D.C.: National Research Council.
- Verde, V. (30 de Junho de 2014). Obtido de Via Verde:
<http://www.viaverde.pt/Website/Section.jsf?TopFolderPath=\Root\Contents\Website\ProdutosServicos&SelectedSubFolderId=109&Locale=pt-PT>
- Yang, C., Chootinan, P., & Chen, A. (2003). Traffic counting location planning using genetic algorithms. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol 5.
- Yang, H., & Zhou, J. (1998). Optimal traffic counting locations for origin-destination matrix estimation. *Transportation Research Part B*.
- Yang, H., Iida, Y., & Sasaki, T. (1991). An analysis of the reliability of an OD trip matrix estimated from traffic counts. *Transportation Research part B*, pp. 351-363.
- Yim, P., & Lam, W. (1998). Evaluation of count location selection methods for estimation of OD matrices. *Journal of Transportation Engineering*, pp. 376-383.
- http://www.info-angola.ao/index.php?option=com_content&view=article&id=3262&Itemid=1096 (acedido em 18/04/2014)

ANEXOS

A.1. Impressos utilizados nas contagens de tráfego pela Estradas de Portugal, SA.

1. Contagens classificadas

Impresso 2



Estradas de Portugal ,E.P.E.

Área de
Planeamento e
Desenvolvimento

CONTAGEM CLASSIFICADA DE TRÁFEGO

(A UTILIZAR EM SECÇÃO)

Posto nº : _____ Corredor : _____ Km : _____ Outra Designação do Local : _____

Latitude ((° -' -") ou (M)) : _____ Longitude ((° -' -") ou (P)) : _____

Sentido : _____ Período Horário : _____ (início do período de 1 hora) Folha nº : ____ / ____

Operador : _____ Data (aaaa/mm/dd) : ____ / ____ / ____

MC - Motociclos / Ciclomotores **AT** - Automóveis **CL** - Comerciais Ligeiros **CP** - Comerciais Pesados **AC** - Autocarros **ESP** - Veículos Especiais

Período
Elementar
de 15m

CATEGORIA DOS VEÍCULOS

MC

AT

CL

CP

AC

ESP

2. Inquéritos Origem - Destino

	Área de Planeamento e Desenvolvimento	INQUÉRITO ORIGEM - DESTINO					<i>Impresso 1</i>
Posto nº : _____ Corredor : _____ Km : _____ Outra Designação do Local : _____ Latitude ((° - ' - ") ou (M)) : _____ Longitude ((° - ' - ") ou (P)) : _____ Sentido : _____ Período Horário : _____ (início do período de 1 hora) Folha nº : ____/ Entrevistador : _____ Data (aaaa/mm/dd) : ____/____/____							
Categoria de Veículo	Número de Pessoas no Veículo	Destino	Origem	Qual o Motivo Principal desta Viagem ?	Com que Frequência faz esta Viagem ?	Por que optou por esta estrada ?	
1 - AT - Automóvel 2 - CL - Com. Ligeiro 3 - CP - Com. Pesado 4 - AC - Autocarro		Cidade, Vila, Freguesia, ou Lugar (Cód. Freguesia)	Cidade, Vila, Freguesia, ou Lugar (Cód. Freguesia)	1 - Para, ou do Trabalho 2 - Em Serviço 3 - Outro. Qual ? _____	1- Diariamente 2- 2;3 dias/Semana 3- 1 dia / Semana 4- 1 vez / Mês 5- Raramente	1- Troço mais Curto 2- Troço mais Rápido 3- Troço mais Seguro 4- Única Alternativa 5- Outra Razão.Qual? _____	
		Se Lugar, Freguesia mais Próxima (Cód. Freguesia)	Se Lugar, Freguesia mais Próxima (Cód. Freguesia)				
1 - AT - Automóvel 2 - CL - Com. Ligeiro 3 - CP - Com. Pesado 4 - AC - Autocarro		Cidade, Vila, Freguesia, ou Lugar (Cód. Freguesia)	Cidade, Vila, Freguesia, ou Lugar (Cód. Freguesia)	1 - Para, ou do Trabalho 2 - Em Serviço 3 - Outro. Qual ? _____	1- Diariamente 2- 2;3 dias/Semana 3- 1 dia / Semana 4- 1 vez / Mês 5- Raramente	1- Troço mais Curto 2- Troço mais Rápido 3- Troço mais Seguro 4- Única Alternativa 5- Outra Razão.Qual? _____	
		Se Lugar, Freguesia mais Próxima (Cód. Freguesia)	Se Lugar, Freguesia mais Próxima (Cód. Freguesia)				
1 - AT - Automóvel 2 - CL - Com. Ligeiro 3 - CP - Com. Pesado 4 - AC - Autocarro		Cidade, Vila, Freguesia, ou Lugar (Cód. Freguesia)	Cidade, Vila, Freguesia, ou Lugar (Cód. Freguesia)	1 - Para, ou do Trabalho 2 - Em Serviço 3 - Outro. Qual ? _____	1- Diariamente 2- 2;3 dias/Semana 3- 1 dia / Semana 4- 1 vez / Mês 5- Raramente	1- Troço mais Curto 2- Troço mais Rápido 3- Troço mais Seguro 4- Única Alternativa 5- Outra Razão.Qual? _____	
		Se Lugar, Freguesia mais Próxima (Cód. Freguesia)	Se Lugar, Freguesia mais Próxima (Cód. Freguesia)				
1 - AT - Automóvel 2 - CL - Com. Ligeiro 3 - CP - Com. Pesado 4 - AC - Autocarro		Cidade, Vila, Freguesia, ou Lugar (Cód. Freguesia)	Cidade, Vila, Freguesia, ou Lugar (Cód. Freguesia)	1 - Para, ou do Trabalho 2 - Em Serviço 3 - Outro. Qual ? _____	1- Diariamente 2- 2;3 dias/Semana 3- 1 dia / Semana 4- 1 vez / Mês 5- Raramente	1- Troço mais Curto 2- Troço mais Rápido 3- Troço mais Seguro 4- Única Alternativa 5- Outra Razão.Qual? _____	
		Se Lugar, Freguesia mais Próxima (Cód. Freguesia)	Se Lugar, Freguesia mais Próxima (Cód. Freguesia)				
1 - AT - Automóvel 2 - CL - Com. Ligeiro 3 - CP - Com. Pesado 4 - AC - Autocarro		Cidade, Vila, Freguesia, ou Lugar (Cód. Freguesia)	Cidade, Vila, Freguesia, ou Lugar (Cód. Freguesia)	1 - Para, ou do Trabalho 2 - Em Serviço 3 - Outro. Qual ? _____	1- Diariamente 2- 2;3 dias/Semana 3- 1 dia / Semana 4- 1 vez / Mês 5- Raramente	1- Troço mais Curto 2- Troço mais Rápido 3- Troço mais Seguro 4- Única Alternativa 5- Outra Razão.Qual? _____	
		Se Lugar, Freguesia mais Próxima (Cód. Freguesia)	Se Lugar, Freguesia mais Próxima (Cód. Freguesia)				

A.3 – Caracterização dos trechos de cada província

1. Luanda

Província	Hierarquia	Número	Num2	Código	Comprimento (km)	Dens.Pop×km (khab/km2*km)	Pop/km×km (khab/km*km)	%NacPop×km (%pop*km)
A	1	01	01	A101	73,691	250,3	1303,6	26,9
A	1	02	02	A102	23,045	78,3	407,7	8,4
A	1	03	03	A103	14,314	48,6	253,2	5,2
A	1	04	04	A104	8,57	29,1	151,6	3,1
A	1	05	05	A105	23,094	78,4	408,5	8,4
A	2	06	01	A201	19,941	67,7	352,8	7,3
			6	Total	162,655	552,4	2877,4	59,4

2. Bengo

Província	Hierarquia	Número	Num2	Código	Comprimento (km)	Dens.Pop×km (khab/km2*km)	Pop/km×km (khab/km*km)	%NacPop×km (%pop*km)
B	1	01	01	B101	20,886	0,3	2,3	0,5
B	1	02	02	B102	12,431	0,2	1,4	0,3
B	1	03	03	B103	85,891	1,3	9,4	2,0
B	2	04	01	B201	14,476	0,2	1,6	0,3
B	1	05	04	B104	26,733	0,4	2,9	0,6
B	1	06	05	B105	25,435	0,4	2,8	0,6
B	1	07	06	B106	12,809	0,2	1,4	0,3
B	2	08	02	B202	74,029	1,1	8,1	1,7
B	1	09	07	B107	63,397	1,0	7,0	1,4
B	1	10	08	B108	5,441	0,1	0,6	0,1
B	1	11	09	B109	8,368	0,1	0,9	0,2
B	1	12	10	B110	14,879	0,2	1,6	0,3
B	1	13	11	B111	3,724	0,1	0,4	0,1
B	2	14	03	B203	85,091	1,3	9,4	1,9
B	1	15	12	B112	40,092	0,6	4,4	0,9
B	1	16	13	B113	3,646	0,1	0,4	0,1
B	1	17	14	B114	3,646	0,1	0,4	0,1
B	1	18	15	B115	20,213	0,3	2,2	0,5
B	1	19	16	B116	4,411	0,1	0,5	0,1
B	1	20	17	B117	3,500	0,1	0,4	0,1
B	2	21	04	B204	4,374	0,1	0,5	0,1
B	1	22	18	B118	56,458	0,9	6,2	1,3
B	1	23	19	B119	39,093	0,6	4,3	0,9
B	1	24	20	B120	8,402	0,1	0,9	0,2
B	1	25	21	B121	32,196	0,5	3,5	0,7
B	2	26	05	B205	8,986	0,1	1,0	0,2
B	1	27	22	B122	21,292	0,3	2,3	0,5
B	1	28	23	B123	23,232	0,4	2,6	0,5
B	2	29	06	B206	35,844	0,5	3,9	0,8
B	1	30	24	B124	6,695	0,1	0,7	0,2
B	1	31	25	B125	7,073	0,1	0,8	0,2
B	1	32	26	B126	33,332	0,5	3,7	0,8
B	2	33	07	B207	27,154	0,4	3,0	0,6
B	2	34	08	B208	22,443	0,3	2,5	0,5
B	2	35	09	B209	40,866	0,6	4,5	0,9
B	1	36	27	B127	13,823	0,2	1,5	0,3
B	2	37	10	B210	6,092	0,1	0,7	0,1
B	1	38	28	B128	19,714	0,3	2,2	0,5
B	1	39	29	B129	10,810	0,2	1,2	0,2
B	1	40	30	B130	17,020	0,3	1,9	0,4
B	2	41	11	B211	65,686	1,0	7,2	1,5

Província	Hierarquia	Número	Num2	Código	Comprimento (km)	Dens.Pop×km (khab/km2*km)	Pop/km×km (khab/km*km)	%NacPop×km (%pop*km)
B	1	42	31	B131	52,984	0,8	5,8	1,2
B	1	43	32	B132	56,694	0,9	6,2	1,3
B	2	44	12	B212	62,076	0,9	6,8	1,4
B	2	45	13	B213	14,546	0,2	1,6	0,3
B	2	46	14	B214	20,716	0,3	2,3	0,5
B	1	47	33	B133	55,466	0,8	6,1	1,3
B	2	48	15	B215	42,202	0,6	4,6	1,0
B	1	49	34	B134	68,946	1,0	7,6	1,6
B	2	50	16	B216	107,914	1,6	11,9	2,5
B	1	51	35	B135	39,315	0,6	4,3	0,9
B	2	52	17	B217	20,818	0,3	2,3	0,5
B	2	53	18	B218	3,958	0,1	0,4	0,1
B	2	54	19	B219	44,412	0,7	4,9	1,0
B	1	55	36	B136	16,770	0,3	1,8	0,4
			55	Total	1636,500	24,8	179,8	37,4

3. Cuanza Norte

Província	Hierarquia	Número	Num2	Código	Comprimento (km)	Dens.Pop×km (khab/km2*km)	Pop/km×km (khab/km*km)	%NacPop×km (%pop*km)
C	2	01	01	C201	21,480	0,4	2,3	0,4
C	1	02	01	C102	19,790	0,3	2,1	0,4
C	1	03	02	C103	25,840	0,5	2,8	0,5
C	2	04	02	C204	6,638	0,1	0,7	0,1
C	1	05	03	C105	17,420	0,3	1,9	0,3
C	2	06	03	C206	32,037	0,6	3,4	0,6
C	1	07	04	C107	21,779	0,4	2,3	0,4
C	2	08	04	C208	41,340	0,7	4,4	0,8
C	1	09	05	C109	31,313	0,6	3,4	0,6
C	2	10	05	C210	14,528	0,3	1,6	0,3
C	1	11	06	C111	27,716	0,5	3,0	0,5
C	1	12	07	C112	18,917	0,3	2,0	0,4
C	1	13	08	C113	20,912	0,4	2,2	0,4
C	2	14	06	C214	13,993	0,2	1,5	0,3
C	2	15	07	C215	31,671	0,6	3,4	0,6
C	1	16	09	C116	9,392	0,2	1,0	0,2
C	1	17	10	C117	11,309	0,2	1,2	0,2
C	2	18	08	C218	27,319	0,5	2,9	0,5
C	2	19	09	C219	2,253	0,0	0,2	0,0
C	2	20	10	C220	10,942	0,2	1,2	0,2
C	2	21	11	C221	19,466	0,3	2,1	0,4
C	1	22	11	C122	10,647	0,2	1,1	0,2
C	1	23	12	C123	6,560	0,1	0,7	0,1
C	1	24	13	C124	14,161	0,2	1,5	0,3
C	2	25	12	C225	58,206	1,0	6,2	1,1
C	2	26	13	C226	8,545	0,2	0,9	0,2
C	1	27	14	C127	36,319	0,6	3,9	0,7
C	1	28	15	C128	46,723	0,8	5,0	0,9
C	1	29	16	C129	39,849	0,7	4,3	0,8
C	2	30	14	C230	64,544	1,1	6,9	1,2
C	1	31	17	C131	31,822	0,6	3,4	0,6
C	1	32	18	C132	13,763	0,2	1,5	0,3
C	2	33	15	C233	28,486	0,5	3,1	0,5
C	2	34	16	C234	22,851	0,4	2,4	0,4
C	2	35	17	C235	14,215	0,3	1,5	0,3
C	1	36	19	C136	3,074	0,1	0,3	0,1
C	2	37	18	C237	1,357	0,0	0,1	0,0
C	1	38	20	C138	5,660	0,1	0,6	0,1
C	1	39	21	C139	7,056	0,1	0,8	0,1
C	1	40	22	C140	11,051	0,2	1,2	0,2
C	2	41	19	C241	13,070	0,2	1,4	0,3

Província	Hierarquia	Número	Num2	Código	Comprimento (km)	Dens.Pop×km (khab/km2*km)	Pop/km×km (khab/km*km)	%NacPop×km (%pop*km)
C	2	42	20	C242	14,511	0,3	1,6	0,3
C	2	43	21	C243	38,192	0,7	4,1	0,7
C	1	44	23	C144	27,114	0,5	2,9	0,5
C	1	45	24	C145	17,000	0,3	1,8	0,3
C	1	46	25	C146	19,341	0,3	2,1	0,4
C	1	47	26	C147	41,766	0,7	4,5	0,8
C	1	48	27	C148	13,692	0,2	1,5	0,3
C	2	49	22	C249	49,666	0,9	5,3	1,0
C	1	50	28	C150	9,538	0,2	1,0	0,2
C	2	51	23	C251	9,831	0,2	1,1	0,2
C	1	52	29	C152	41,062	0,7	4,4	0,8
C	1	53	30	C153	31,880	0,6	3,4	0,6
C	2	54	24	C254	35,703	0,6	3,8	0,7
C	1	55	31	C155	6,082	0,1	0,7	0,1
C	1	56	32	C156	11,782	0,2	1,3	0,2
C	1	57	33	C157	6,570	0,1	0,7	0,1
C	1	58	34	C158	13,445	0,2	1,4	0,3
C	2	59	25	C259	35,870	0,6	3,8	0,7
C	2	60	26	C260	5,898	0,1	0,6	0,1
C	2	61	27	C261	40,246	0,7	4,3	0,8
C	2	62	28	C262	31,234	0,6	3,3	0,6
C	1	63	35	C163	25,308	0,4	2,7	0,5
C	1	64	36	C164	19,369	0,3	2,1	0,4

A.4. Utilidade dos trechos

Províncias	Nº de trechos	Utilidade	1	2	3	4	5	6	7	8
A	Designação	Soma	A101	A102	A103	A104	A105	A201		
	Utilidade Geom.	59,43	26,9252	8,4202	5,2301	3,1313	8,4381	7,2860		
B	Designação		B101	B102	B103	B201	B104	B105	B106	B202
	Utilidade Geom.	37,37	0,4770	0,2839	1,9614	0,3306	0,6105	0,5808	0,2925	1,6905
C	Designação		C201	C102	C103	C204	C105	C206	C107	C208
	Utilidade Geom.	27,03	0,4120	0,3796	0,4957	0,1273	0,3342	0,6145	0,4178	0,7930
		123,83								

Províncias	Nº de trechos	9	10	11	12	13	14	15	16	17
A	Designação									
	Utilidade Geom.									
B	Designação	B107	B108	B109	B110	B111	B203	B112	B113	B114
	Utilidade Geom.	1,4478	0,1243	0,1911	0,3398	0,0850	1,9432	0,9156	0,0833	0,0833
C	Designação	C109	C210	C111	C112	C113	C214	C215	C116	C117
	Utilidade Geom.	0,6007	0,2787	0,5317	0,3629	0,4011	0,2684	0,6075	0,1802	0,2169

Províncias	Nº de trechos	18	19	20	21	22	23	24	25	26
A	Designação									
	Utilidade Geom.									
B	Designação	B115	B116	B117	B204	B118	B119	B120	B121	B205
	Utilidade Geom.	0,4616	0,1007	0,0799	0,0999	1,2893	0,8927	0,1919	0,7352	0,2052
C	Designação	C218	C219	C220	C221	C122	C123	C124	C225	C226
	Utilidade Geom.	0,524	0,0432	0,2099	0,3734	0,2042	0,1258	0,2716	1,1165	0,1639

Províncias	Nº de trechos	27	28	29	30	31	32	33	34	35
A	Designação									
	Utilidade Geom.									
B	Designação	B122	B123	B206	B124	B125	B126	B207	B208	B209
	Utilidade Geom.	0,4862	0,5305	0,8185	0,1529	0,1615	0,7612	0,6201	0,5125	0,9332
C	Designação	C127	C128	C129	C230	C131	C132	C233	C234	C235
	Utilidade Geom.	0,6967	0,8963	0,7644	1,2381	0,6104	0,264	0,5464	0,4383	0,2727

Províncias	Nº de trechos	36	37	38	39	40	41	42	43	44
A	Designação									
	Utilidade Geom.									
B	Designação	B127	B210	B128	B129	B130	B211	B131	B132	B212
	Utilidade Geom.	0,315666	0,139119	0,450194	0,24686	0,388673	1,500023	1,209957	1,294679	1,417584
C	Designação	C136	C237	C138	C139	C140	C241	C242	C243	C144
	Utilidade Geom.	0,058967	0,026031	0,108573	0,135351	0,211985	0,250715	0,278357	0,732617	0,520113

Províncias	Nº de trechos	45	46	47	48	49	50	51	52	53
A	Designação									
	Utilidade Geom.									
B	Designação	B213	B214	B133	B215	B134	B216	B135	B217	B218
	Utilidade Geom.	0,332176	0,473076	1,266636	0,963736	1,574469	2,464353	0,897808	0,475405	0,090386
C	Designação	C145	C146	C147	C148	C249	C150	C251	C152	C153
	Utilidade Geom.	0,326102	0,371008	0,801175	0,262646	0,952716	0,182962	0,188583	0,78767	0,611537

Províncias	Nº de trechos	54	55	56	57	58	59	60	61	62
A	Designação									
	Utilidade Geom.									
B	Designação	B219	B136							
	Utilidade Geom.	1,014204	0,382964							
C	Designação	C254	C155	C156	C157	C158	C259	C260	C261	C262
	Utilidade Geom.	0,684871	0,116668	0,226008	0,126029	0,257908	0,688075	0,113138	0,772017	0,599145

Províncias	Nº de trechos	63	64
A	Designação		
	Utilidade Geom.		
B	Designação		
	Utilidade Geom.		
C	Designação	C163	C164
	Utilidade Geom.	0,48547	0,371545

A.5. Resultados obtidos

1. Postos do tipo I

Investimento			25 000		35000			50000				60000					75000					85000					
Província	Tipo de estação	Estações Tipo II	0	1	0	1	2	0	1	2	3	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	
Luanda		A101I	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
		A102I	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
		A103I	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
		A104I	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
		A105I	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Bengo	I	A201I	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
		B101I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		B102I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		B103I	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
		B201I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		B104I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		B105I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		B106I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		B202I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1
		B107I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0
		B108I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		B109I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		B110I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		B111I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		B203I	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
		B112I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		B113I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		B114I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		B115I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		B116I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		B117I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		B204I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		B118I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0
		B119I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		B120I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		B121I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		B205I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		B122I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		B123I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		B206I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		B124I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		B125I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		B126I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		B207I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		B208I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		B209I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		B127I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		B210I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		B128I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Investimento			25 000		35000		50000				60000					75000					85000							
Província	Tipo de estação	Estações Tipo II	0	1	0	1	2	0	1	2	3	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4		
Bengo		B129I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		B130I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		B211I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	
		B131I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
		B132I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	
		B212I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	
		B213I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		B214I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		B133I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0
		B215I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		B134I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1
		B216I	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	
		B135I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		B217I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		B218I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		B219I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
		B136I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Cuanza Norte	I	C201I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		C102I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		C103I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		C204I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		C105I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		C206I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		C107I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		C208I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		C109I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		C210I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		C111I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		C112I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		C113I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		C214I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		C215I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		C116I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		C117I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		C218I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		C219I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		C220I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		C221I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		C122I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		C123I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		C124I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		C225I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
		C226I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		C127I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
C128I	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
C129I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			

Investimento			25 000		35000			50000				60000					75000					85000				
Provincia	Tipo de estação	Estações Tipo II	0	1	0	1	2	0	1	2	3	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
Cuanza Norte	I	C230I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0
		C131I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		C132I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		C233I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		C234I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		C235I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		C136I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		C237I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		C138I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		C139I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		C140I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		C241I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		C242I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		C243I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		C144I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		C145I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		C146I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		C147I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		C148I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		C249I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		C150I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		C251I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		C152I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		C153I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		C254I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		C155I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		C156I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		C157I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		C158I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		C259I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		C260I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		C261I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		C262I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		C163I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		C164I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

2. Postos do tipo II

Investimento			25 000		35000			50000				60000					75000					85000					
Província	Tipo de estação	Estações Tipo II	0	1	0	1	2	0	1	2	3	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	
Luanda	II	A101II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		A102II	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		A103II	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		A104II	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		A105II	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		A201II	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bengo		B101II	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1
		B102II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	
		B103II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		B201II	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	
		B104II	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	
		B105II	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	
		B106II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	
		B202II	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	
		B107II	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	
		B108II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
		B109II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	
		B110II	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	
		B111II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		B203II	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
		B112II	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	
		B113II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		B114II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		B115II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1
		B116II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		B117II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		B204II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		B118II	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1
		B119II	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
		B120II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
		B121II	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
		B205II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
		B122II	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1
		B123II	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1
		B206II	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
		B124II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
		B125II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
		B126II	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
		B207II	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
		B208II	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1
		B209II	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
		B127II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1
		B210II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1

		B128II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1
--	--	--------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Investimento			25 000		35000			50000				60000					75000					85000					
Provincia	Tipo de estação	Estações Tipo II	0	1	0	1	2	0	1	2	3	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	
Bengo	II	B129II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	
		B130II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1
		B211II	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1
		B131II	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1
		B132II	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1
		B212II	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1
		B213II	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1
		B214II	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1
		B133II	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1
		B215II	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1
		B134II	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
		B216II	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
		B135II	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1
		B217II	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1
		B218II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		B219II	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1
B136II	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1		
Cuanza Norte	II	C201II	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1
		C102II	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1
		C103II	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1
		C204II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
		C105II	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1
		C206II	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1
		C107II	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1
		C208II	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1
		C109II	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1
		C210II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1
		C111II	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1
		C112II	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1
		C113II	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1
		C214II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
		C215II	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1
		C116II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
		C117II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
		C218II	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1
		C219II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		C220II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
		C221II	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1
		C122II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
		C123II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
		C124II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
C225II	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	
C226II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1		
C127II	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	
C128II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
C129II	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	

Investimento			25 000		35000			50000				60000					75000					85000				
Provincia	Tipo de estação	Estações Tipo II	0	1	0	1	2	0	1	2	3	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
Cuanza Norte	II	C230II	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1
		C131II	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1
		C132II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
		C233II	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1
		C234II	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1
		C235II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1
		C136II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		C237II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		C138II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		C139II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
		C140II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
		C241II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
		C242II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1
		C243II	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1
		C144II	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1
		C145II	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1
		C146II	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1
		C147II	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1
		C148II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
		C249II	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1
		C150II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
		C251II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
		C152II	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1
		C153II	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1
		C254II	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1
		C155II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		C156II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
		C157II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
		C158II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
		C259II	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1
		C260II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		C261II	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1
		C262II	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1
		C163II	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1
		C164II	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1

3. Postos do tipo III

Investimento			25 000		35000			50000				60000					75000					85000						
Província	Tipo de estação	Estações Tipo II	0	1	0	1	2	0	1	2	3	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4		
Luanda		A101III	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		A102III	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		A103III	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		A104III	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		A105III	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		A201III	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Bengo	III	B101III	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	
		B102III	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	
		B103III	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		B201III	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	
		B104III	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
		B105III	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
		B106III	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	
		B202III	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		B107III	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		B108III	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	
		B109III	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	
		B110III	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	
		B111III	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	
		B203III	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		B112III	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
		B113III	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
		B114III	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	
		B115III	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
		B116III	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	
		B117III	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
		B204III	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	
		B118III	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		B119III	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
		B120III	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	
		B121III	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
		B205III	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0
		B122III	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
		B123III	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
		B206III	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
		B124III	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0
		B125III	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0
		B126III	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
		B207III	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
		B208III	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
		B209III	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
		B127III	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0
		B210III	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0

		B128III	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0
--	--	---------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Investimento			25 000		35000			50000				60000					75000					85000					
Provincia	Tipo de estação	Estações Tipo II	0	1	0	1	2	0	1	2	3	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	
Bengo		B129III	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	
		B130III	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	
		B211III	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		B131III	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		B132III	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		B212III	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		B213III	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	
		B214III	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	
		B133III	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		B215III	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
		B134III	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		B216III	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		B135III	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
		B217III	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	
		B218III	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	
		B219III	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		B136III	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	
Cuanza Norte	III	C201III	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	
		C102III	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	
		C103III	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	
		C204III	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	
		C105III	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	
		C206III	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	
		C107III	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	
		C208III	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
		C109III	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	
		C210III	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	
		C111III	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	
		C112III	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	
		C113III	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	
		C214III	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	
		C215III	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	
		C116III	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	
		C117III	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	
		C218III	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	
		C219III	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		C220III	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	
		C221III	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	
		C122III	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	
		C123III	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	
		C124III	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	
		C225III	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		C226III	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	
		C127III	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
		C128III	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

		C129III	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Investimento			25 000		35000			50000				60000					75000					85000				
Província	Tipo de estação	Estações Tipo II	0	1	0	1	2	0	1	2	3	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
Cuanza Norte	III	C230III	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		C131III	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0
		C132III	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0
		C233III	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0
		C234III	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0
		C235III	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0
		C136III	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		C237III	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		C138III	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1
		C139III	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0
		C140III	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
		C241III	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
		C242III	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0
		C243III	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
		C144III	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0
		C145III	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0
		C146III	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0
		C147III	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
		C148III	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0
		C249III	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
		C150III	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0
		C251III	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0
		C152III	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
		C153III	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0
		C254III	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
		C155III	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1
		C156III	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
		C157III	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0
		C158III	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
		C259III	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
		C260III	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1
		C261III	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
		C262III	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0
		C163III	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0
		C164III	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0