

# MODELO DE ANÁLISE DE ACESSIBILIDADES PARA APOIO AO PLANEAMENTO E GESTÃO RODOVIÁRIA EM PORTUGAL

Paulo Matos Martins<sup>1\*</sup>, Isabel Botelho<sup>2</sup>, Inês Soares<sup>1</sup>, Duarte Bento<sup>1</sup> e Rui Luso Soares<sup>2</sup>

<sup>1</sup>GuITTS/CEEC, Grupo de Investigação em Transportes, Território e Desenvolvimento Sustentável do Centro de Estudos de Engenharia Civil do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.

<sup>2</sup>InIR, Instituto de Infra-estruturas Rodoviárias, IP.

\*email: paulo.martins@dec.isel.pt.

---

## Sumário:

*A presente comunicação descreve as principais fases da construção de um modelo de análise de acessibilidades em sistema SIG para apoio ao planeamento e gestão rodoviárias do InIR, desenvolvido pelo Grupo de Investigação em Transportes, Território e Desenvolvimento Sustentável do ISEL, com o acompanhamento e apoio dos técnicos da área do planeamento rodoviário e dos sistemas de informação geográfica do Instituto. São também apresentados alguns resultados preliminares que permitem aferir da qualidade e ajustamento do modelo à realidade (calibração e validação) e antever as potencialidades da sua utilização no apoio ao planeamento e gestão da Rede Rodoviária Nacional (RRN).*

*O modelo permite efetuar análises de acessibilidade com base em custos generalizados para veículos ligeiros, veículos pesados, ou para um veículo tipo equivalente correspondente a um dado mix de tráfego englobando tanto veículos ligeiros como pesados. A impedância utilizada na análise de caminhos é independente do valor dos custos, que são calculados separadamente e de forma parcelar. O modelo permite, por exemplo, efetuar análises com o tempo de viagem como impedância (obtendo neste caso os caminhos mais rápidos), calculando também os correspondentes custos generalizados, incluindo o valor (separado) dos consumos de combustível e custos com portagens. O modelo permite ainda efetuar análises usando as distâncias de viagem como impedância ou o próprio custo generalizado (por exemplo, dos veículos pesados), sendo possível vir a desenvolver análises para planeamento de logística, como por exemplo a definição de hubs regionais.*

---

**Palavras-chave:** Rede rodoviária; Planeamento rodoviário; Acessibilidades; Mobilidade; Sistema de informação geográfica, Custos generalizados, Indicadores de acessibilidade

## 1 INTRODUÇÃO

Os modelos de análise de acessibilidades constituem uma ferramenta muito prática e eficaz para a avaliação da performance em vários domínios das redes de transportes. São excelentes para o desenvolvimento de cenários alternativos de planeamento rodoviário regional e nacional, desempenhando um importante papel na comparação entre cenários de otimização da oferta de equipamentos sociais e serviços públicos. Uma vez desenvolvidos em plataformas SIG permitem efetuar geo-análises através da inclusão de dados demográficos, económicos e outros critérios. Assim, é possível a elaboração e comparação de casos de estudo alternativos de planeamento e gestão (ou num formato simplificado, a comparação direta do impacto de alternativas específicas), permitindo por um lado a minimização de eventuais redundâncias e, por outro, a garantia de equidade no desenvolvimento das acessibilidades rodoviárias futuras.

A regulação e supervisão rodoviária assentam na utilização intensa de dados operacionais fornecidos pelas concessionárias, geralmente em formato digital. A organização, gestão e utilização dessa informação para o apoio à decisão assume um papel fulcral na eficácia das organizações associadas à regulação e ao planeamento rodoviário.

Presentemente, o InIR – Instituto de Infra-Estruturas Rodoviárias, I.P.<sup>1</sup> detém uma extensa base de dados em formato SIG com informação base para caracterização da rede rodoviária nacional nas diversas vertentes associadas à exploração, das quais os dados relacionados com as características relativas à mobilidade (velocidades, capacidades, número de vias, etc.) e ao tráfego (contagens), representam um manancial de informação importante para apoio ao planeamento rodoviário.

A transformação desses dados em indicadores de confiança para a elaboração de análises de acessibilidades ou de mobilidade, implica numa primeira fase a criação de um modelo de rede com topologia adequada e, numa segunda fase, implica a sua aferição, calibração e análise, juntamente com os correspondentes modelos de densidade populacional e económica de Portugal.

A presente comunicação tem como principal objetivo descrever as principais fases de elaboração de um modelo da rede rodoviária para a elaboração de análises de acessibilidades em formato SIG, destinado ao apoio do planeamento e gestão rodoviárias do InIR, desenvolvido pelo Grupo de Investigação em Transportes, Território e Desenvolvimento Sustentável do ISEL, com o acompanhamento e apoio dos técnicos da área de planeamento rodoviário e dos sistemas de informação geográfica do Instituto.

O projeto está dividido em duas fases. A primeira consistiu na construção do modelo de rede em si. Este passo corresponde a um conjunto alargado de tarefas, das quais se destacam a definição e validação da topologia, a extensão da rede existente a todas as localidades relevantes, a verificação da homogeneidade da rede e a calibração e validação do modelo através da atribuição das velocidades e variáveis adequadas ao cálculo dos custos generalizados de viagem.

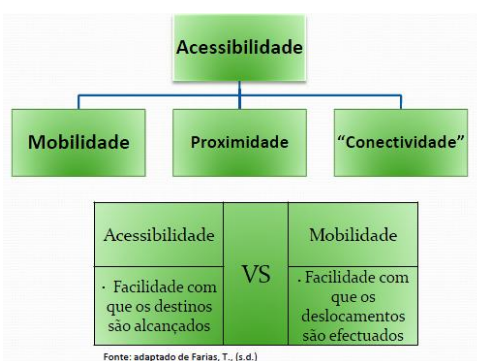
A segunda fase consiste no desenvolvimento de um conjunto padrão de indicadores de acessibilidade, sendo alguns baseados estritamente em características da rede (oferta) e outros baseados na análise conjunta da rede e da distribuição da população (modelo demográfico) e da riqueza (modelos económicos). Estes últimos indicadores serão obtidos com base nas capacidades de geoprocessamento que a ferramenta SIG utilizada permite. Adicionalmente será também evidenciado o potencial do modelo para análise da localização de atividades, leia-se otimização da localização de equipamentos sociais e outras ofertas de serviços públicos como forma alternativa para a melhoria das acessibilidades das populações e garantia das equidades desejáveis.

## 2 ANÁLISE DE ACESSIBILIDADES

O conceito de *Acessibilidade* associado ao planeamento de transportes refere-se à facilidade em alcançar bens, serviços e destinos. Estas três componentes juntas estão relacionadas com o conceito de *Oportunidade*. Deste modo, a *Acessibilidade* também é vista como a facilidade em alcançar oportunidades. Pode ser definido, segundo Hansen [1] e Engwicht [2], como o potencial para a interação e troca. Por exemplo, mercearias providenciam o acesso a alimentos. Bibliotecas e a internet disponibilizam o acesso à informação. Caminhos, estradas e aeroportos dão acesso a destinos, e consequentemente, às atividades (também consideradas como oportunidades).

A *Acessibilidade* pode ser definida em termos:

- Potencial – oportunidades que podem ser alcançadas;
- Atividades – oportunidades que são atingidas.



**Fig.1. Conceito de Acessibilidade [Farias, s.d.]**

<sup>1</sup> Num futuro próximo, estas competências serão enquadradas no novo Instituto da Mobilidade e Transportes, I.P., prevendo-se que no essencial as obrigações do anterior instituto sejam transferidas para a nova organização, que manterá a tutela das tarefas de regulação e planeamento rodoviário.

A estruturação das sociedades faz-se em torno de um conjunto de atividades executadas de forma sequencial ao longo do dia. Essas atividades representam a procura principal das nossas sociedades, sendo os Transportes uma procura derivada ou secundária em relação a essas oportunidades e atividades<sup>2</sup>, cujo acesso visam permitir. Por este motivo a análise de acessibilidades assume um papel preponderante na organização e eficiência das nossas sociedades. As acessibilidades são frequentemente analisadas segundo perspectivas setoriais específicas e limitadas:

- O planeamento de transportes, geralmente, evidencia mais a vertente de mobilidade, principalmente no transporte individual, uma vez que se consideram fixas as localizações das atividades;
- O planeamento de uso dos solos focaliza-se na acessibilidade geográfica (distância física entre atividades), esquecendo por vezes as questões relacionadas com a mobilidade;
- Os especialistas em comunicação concentram-se na qualidade da telecomunicação, como por exemplo, verificar a quantidade de habitações que têm acesso à televisão por cabo, telefone, e serviços de internet;
- O planeamento dos serviços sociais desenvolve opções de acessibilidade para grupos sociais específicos (por exemplo pessoas com mobilidade reduzida, que tenham dificuldade em alcançar clínicas médicas e centros de recreação).

Os modelos de análise de acessibilidades baseados em ferramentas SIG permitem efetuar análises conjuntas, que incluam as várias vertentes setoriais.

### 3 CRIAÇÃO DA REDE

A criação da rede corresponde à primeira fase do projeto, cuja base assenta na definição do modelo topológico da mesma. Este modelo tem por origem uma extensa base de dados em formato SIG, com a caracterização da rede rodoviária nacional, incluindo dados relativos à infraestrutura (número de vias), mobilidade (capacidades, velocidades) e ao tráfego (contagens). O modelo da rede foi inicialmente aferido em relação à sua caracterização global, extensão, conectividade entre arcos e topologia.

#### 3.1 Criação do modelo de rede rodoviária

Para a elaboração do presente estudo o InIR disponibilizou o seu modelo de cadastro da rede rodoviária, em formato SIG, constituído por quase 6.000 arcos e com uma extensão de aproximadamente 25 mil quilómetros. A rede fornecida é na sua maioria constituída pela rede rodoviária nacional (com cerca de 19 mil quilómetros), representando a rede fundamental, a rede complementar, a rede de autoestradas e as estradas regionais. Engloba também parte da rede municipal (cerca de 6 mil quilómetros), com o principal objetivo de assegurar a continuidade das ligações a todo o território (densificação da rede nacional).

#### 3.2 Correção topológica da rede

A rede facultada é um elemento de trabalho diário para o regulador e constitui o ponto de partida para este projeto. Deste modo foi estritamente necessário aferir e avaliar se a interligação entre a rede principal e a rede complementar é representativa da rede de estradas atual, de acordo com a classe hierárquica. Por outro lado, deve haver algum cuidado com as ligações às sedes de distritos e concelhos, visto que, a conceção de modelos de análise de acessibilidades visa a



Fig. 2. Rede rodoviária nacional fornecida pelo InIR

<sup>2</sup> Existem situações esporádicas, de exceção, de casos de viagens (muitas vezes de curta duração) nas quais a deslocação em si é o principal objetivo.

distribuição da população (modelo demográfico) e da riqueza (modelos económicos) ao longo do território nacional. A forma de garantir equidade na representação da rede viária ao nível das sedes de distritos e concelhos, passou por uma análise, caso a caso, da cobertura e densificação da rede. Objetivamente, o modelo em desenvolvimento assume-se como uma base de apoio à decisão para o estudo de alternativas de investimento rodoviário em função de objetivos associados à melhoria de acessibilidade. Por este motivo entendeu-se que a verificação e eventual correção da rede são fatores preponderantes para que os indicadores resultantes sejam adequadamente representativos da performance da rede.

Para a correção topológica recorreu-se às funcionalidades SIG. É possível definir um conjunto de regras integrais sobre os dados, estabelecendo o modo como devem partilhar uma geometria comum.

Assim definiram-se as seguintes regras topológicas:

- *Must not have dangles* – evita a existência de quebras de ligações entre arcos;
- *Must not have pseudos* – devem ser evitados nós intermédios desnecessários;
- *Must not overlap* – não devem existir sobreposições entre arcos.

Os resultados iniciais obtidos indicaram a existência de 1.102 “*must not have pseudos*”, 656 “*must not have dangles*” e 1 “*must not overlap*”. A contabilização descrita não implica diretamente a existência de erros. No caso da regra topológica “*must not have pseudos*” representa que na rede existiam 1.102 ligações entre arcos contíguos, que na realidade podem ser situações normais que evidenciam a articulação dos vários arcos da rede<sup>3</sup>, não devendo nessa situação sofrer qualquer tipo de correção. No caso da regra “*must not have dangles*” foram verificadas todas as exceções, caso a caso, uma vez que, podem representar uma via sem continuidade, não constituindo por isso erro. No último caso, “*must not overlap*” efetivamente existia um erro de sobreposição.

Para os ‘erros’ topológicos “*must not have dangles*”, dada a variedade de situações, optou-se por estabelecer uma classificação de modo a conseguir catalogá-los em quatro classes: A, B, C, e D (ver a tabela 1) e posteriormente definir quais os critérios de correção a adotar para cada classe.

**Tabela 1 – Classificação de erros segundo a sua descrição**

Classificação	Descrição
A	Erros topológicos associados à ligação entre os arcos
B	Arcos de ligação (ramais) que fazem parte de nós rodoviários
C	Exceções (estradas sem continuidade, etc.)
D	Estradas a necessitarem de continuidade e prolongamento

Todos os ‘erros’ topológicos do tipo A foram corrigidos, uma vez que a sua existência afeta de forma direta a conformidade da rede. No que respeita aos erros do tipo B, foram eliminadas todos os arcos de ligação (ramais) que não desempenham um papel ativo na rede, mas que fazem parte de nós rodoviários. Ou seja, os arcos cuja inclusão não seja necessária para o tipo de análises que se pretende desenvolver. Foram marcados como exceções todos os ‘erros’ do tipo C. Finalmente, no caso dos ‘erros’ do tipo D, foram prolongadas todas as estradas (muitas vezes municipais) que estabelecessem ligação entre estradas pertencentes à rede rodoviária nacional.

Como resultado final, dos ‘erros’ topológicos do tipo “*must not have dangles*”, constituídos por 656 ocorrências, foram assinaladas como exceções 249, representativas da classificação (C). As restantes ocorrências foram corrigidos de diversas formas, de acordo com a sua tipologia. Maioritariamente recorreu-se à cartografia digital e imagens por satélite disponibilizadas em base SIG, de modo a tomar decisões no que respeita à correção desses erros.

<sup>3</sup> Em alguns casos podem corresponder a nós rodoviários que foram simplificados através da retirada de elementos não estruturantes, como acessos locais, ou ramais de acesso a nós desnivelados de hierarquia superior.

### 3.3 Prolongamento rede

O motivo pelo qual se efetuou o prolongamento da rede está relacionado com os objetivos globais definidos para o modelo. Pretende-se obter indicadores de acessibilidade fiáveis que assistam o planeamento rodoviário a nível regional e nacional, pelo que é necessário operar com uma rede rodoviária que se aproxime e represente a rede viária existente, quer a nível do acesso a centros urbanos, quer ao nível municipal. De forma a obter uma rede com malha viária homogénea e mais fechada e densa, procedeu-se adicionalmente ao seu prolongamento, integrando várias estradas da rede municipal que estabelecem a ligação entre estradas da rede nacional e que não faziam parte da base de dados inicialmente fornecida. Na figura 2 ilustra-se esse prolongamento (linhas a preto) com o exemplo do caso de Lisboa.



**Fig.3. Prolongamento da rede viária na zona de Lisboa**

No final a extensão da rede foi aumentada/corrigida em cerca de 900 km.

### 3.4 Calibração e validação do modelo

#### 3.4.1 Calibração de velocidades

O processo de calibração das velocidades, neste tipo de modelos, deve ser interpretado como um processo contínuo no tempo, de modo a conseguir sempre a melhor correlação entre o modelo e a realidade. No entanto é necessário acertar inicialmente os valores de velocidades de acordo com a hierarquia viária, de modo a desenvolver a calibração inicial do modelo. Como referência para calibração dos tempos de viagem usou-se uma matriz de dados de tempos e distâncias de viagem criada para os 18x18 pares O/D correspondentes à ligação entre todas as sedes de distrito. Associada a essa matriz criou-se uma base de dados (com algumas dezenas) de caminhos mínimos obtidos através de planeadores de viagem existentes, que permitiu efetuar uma primeira validação ao modelo.

O processo de calibração principiou com as seguintes velocidades<sup>4</sup>: AE (110), IP(90), IC (80), EN (75), ER (70) e EM (50), tendo como impedância da rede somente o tempo de viagem. Inicialmente, por comparação entre a matriz de referência e a matriz do modelo (na realidade duas matrizes, uma de tempos e outra de distâncias), verificou-se existir uma diferença média de 30% relativamente aos tempos de percurso entre pares O/D. Para prosseguir a calibração considerou-se um processo iterativo cujo final deveria ocorrer quando a diferença entre os tempos de percurso fosse inferior a 10% do valor presente na matriz de referência. Caso contrário procedia-se a novos ajustamentos até alcançar uma situação que obedecesse ao critério anterior. Com o resultado final de velocidades estabelecido, conclui-se que dos pares O/D, somente 14 apresentam tempos de viagem com ligeiras

---

<sup>4</sup> Em km/h

diferenças, superiores a 10% (cerca de 10,3 %). Nesta primeira calibração do modelo, sujeita eventualmente a futuros ajustamentos, consideraram-se aceitáveis as 14 exceções identificadas.

### 3.4.2 Custos generalizados

Num modelo complexo para análise de sistemas de transportes, a utilização de duas ou mais variáveis explicativas das viagens pode, por um lado, ajudar a interpretar de forma mais clara as decisões dos utilizadores, nomeadamente quando estes optam por fazer ou não a viagem, ou por fazerem a viagem em outro modo de transporte. Por outro lado, permite extrair do próprio modelo indicadores de natureza económica importantes.

Desta forma, o custo generalizado é considerado uma variável agregada fundamental que inclui diversas variáveis base que podem influenciar a escolha do utilizador do sistema de transportes e a própria análise económica dos sistemas. Este representa a expressão de cálculo que traduz o custo total unitário (por tonelada, por passageiro, etc.) de um dado serviço de transporte [3]. No modelo foi utilizada a seguinte expressão para os custos generalizados da infraestrutura rodoviária nacional:

$$\text{Custo generalizado} = \text{Valor do tempo} \times \Delta T + \text{Custo quilométrico} \times \Delta km + \text{Portagem média} \quad (1)$$

O valor do tempo representa o custo de oportunidade (monetizado) do tempo que o viajante despense ao realizar uma viagem. Os valores do tempo adotados no presente trabalho correspondem aos recomendados pelos projetos IMPACT e HEATCO para Portugal (atualizados de 2002 para 2011).

Adicionalmente, o modelo permite calcular custos generalizados para veículos ligeiros, veículos pesados, ou para um veículo tipo equivalente correspondente a um dado *mix* de tráfego englobando tanto veículos ligeiros como pesados. Muito importante, a impedância utilizada no modelo é independente do processo de cálculo dos custos generalizados. Por exemplo, o modelo permite efetuar análises com o tempo de viagem como impedância (neste caso obtendo os caminhos mais rápidos), fazendo sempre o cálculo dos respetivos custos generalizados, incluindo separadamente custos operacionais (calculados de forma simplificada com base no consumo médio) e custos com portagens. O modelo permite também fazer análises usando como impedâncias a distância ou o custo generalizado, por exemplo, dos veículos pesados. Está também preparado para efetuar a análise de problemas de logística, como a definição de *hubs* regionais.

## 4 RESULTADOS PRELIMINARES

Apresentam-se os resultados preliminares obtidos. Estes enquadram-se na segunda fase do projeto, que tem como objetivo o desenvolvimento de um conjunto de indicadores para apoio ao planeamento rodoviário. Alguns indicadores são baseados estritamente nas características da rede e outros na análise conjunta da rede e da distribuição da população (modelo demográfico) e da riqueza (modelo económico).

Na sequência das primeiras análises efetuadas e dos primeiros resultados obtidos, foram realizadas algumas reuniões técnicas com o regulador para apresentação e discussão dos resultados provisórios de modo a serem identificados e validados os indicadores mais vantajosos, adaptando os mesmos às necessidades de apoio à decisão.

Nesta comunicação apresentam sumariamente três tipos de indicadores já abordados no projeto, que permitem medir a acessibilidade com base nas características da rede e na distribuição das variáveis demográficas e económicas sobre o território. Estes são expressos normalmente através de medidas absolutas (distância, tempo, custo, frequência) ou relativas (conforto, fiabilidade, segurança, qualidade do serviço, pontualidade), assumindo diferentes especificações:

- Indicadores Estatísticos: permitem quantificar a cobertura da rede em termos de capitações e outros índices;
- Indicadores de Separação Espacial: traduzem os fatores de separação espacial de uma rede de transportes (distâncias e custos, entre outros);
- Indicadores de Oportunidade: refletem o número de oportunidades/atividades que podem ser alcançadas a partir de uma determinada localização, tendo por base um determinado intervalo de tempo ou

distância. Entre estes indicadores incluem-se os indicadores específicos de acessibilidade geográfica, de acessibilidade económica e outros tempos de acesso a ‘oportunidades’ pré-identificadas, como por exemplo os nós rodoviários das autoestradas.

#### 4.1 Densidade da rede viária por distrito e hierarquia viária

Os indicadores de densidade de rede viária constituem valores quantitativos que permitem correlacionar, para determinada região, o número de quilómetros da rede com variáveis descritivas do território, como por exemplo, a área coberta. O modelo permite o cálculo e a identificação da densidade de rede viária por distrito, hierarquia viária e capitação por habitante.

Com recurso às capacidades de geoprocessamento SIG é possível sectionar a rede viária pelo limite da área em análise - neste caso, o distrito. Seguidamente executam-se os procedimentos que permitem contabilizar a extensão de estradas em função das suas características, como por exemplo a hierarquia viária. Por fim faz-se o apuramento dos índices e outros indicadores previamente definidos. A título de exemplo, apresentam-se nas figuras 6 e 7, respetivamente, os mapas relativos aos distritos de Lisboa e Évora.

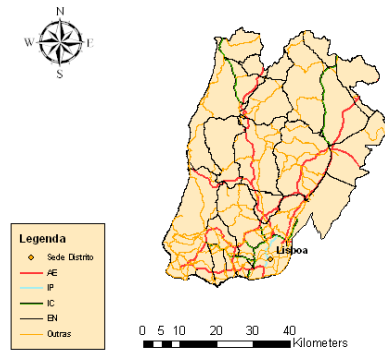


Fig. 4. Hierarquia viária no distrito de Lisboa

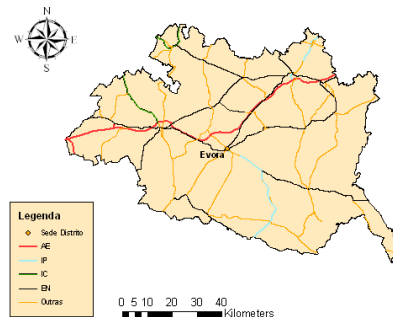


Fig. 5. Hierarquia viária no distrito de Évora

O cálculo da densidade de rede é feito com base na seguinte equação:

$$DensRede = \frac{\Sigma Rede Viária}{Area Distrito} \quad (2)$$

A capitação de rede por habitante é obtida a partir da seguinte equação:

$$DensRede/Hab = \frac{\Sigma Rede Viária}{N.º Habitantes Distrito} \quad (3)$$

Os dados dizem sempre respeito a áreas geográficas pré-definidas, como por exemplo, os distritos. Apresentam-se os valores calculados para o distrito de Lisboa:

$$DensRede = \frac{1.550,6}{2.801,9} = 0,553 \text{ km/km}^2 \quad DensRede/hab = \frac{1.550,6}{2.250.535} = 0,001 \text{ Km/Hab}$$



E para o distrito de Évora:

$$DensRede = \frac{1.206,1}{7.393,1} = 0,163 \text{ km/km}^2$$

$$DensRede/Hab = \frac{1.206,1}{166.726} = 0,007 \text{ Km/Hab}$$

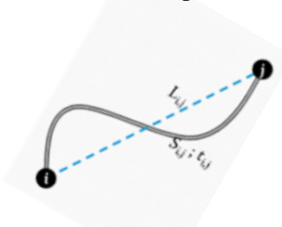
Conclui-se que como a área ocupada pelo distrito de Lisboa é bastante menor comparativamente a Évora e o total de rede viária é da mesma ordem de grandeza, o valor de densidade de rede para Lisboa é bastante superior. Relativamente à capitação por habitante, Évora superioriza-se a Lisboa devido ao número total de habitantes ser cerca de 170 mil, comparativamente baixo em relação aos cerca de 2,2 milhões de habitantes do distrito de Lisboa.

#### 4.2 Indicadores de separação espacial (Índice de Sinuosidade e Velocidade Equivalente Reta)

Os indicadores de separação espacial são considerados indicadores “geométricos” uma vez que identificam a acessibilidade geográfica entre dois pontos i e j.

##### Índice de Sinuosidade

O Índice de Sinuosidade (IS) traduz-se pelo quociente entre a distância real de deslocação e a distância em linha reta entre dois pontos:



$$IS_{i,j} = \frac{S_{i,j}}{L_{i,j}} \geq 1 \quad (4)$$

$S_{i,j}$  - Distância real de deslocação ou espaço percorrido entre i e j;

$L_{i,j}$  - Distância em linha reta entre i e j.

Os valores deste indicador são necessariamente iguais ou superiores à unidade. Quando o valor do Índice de Sinuosidade se aproxima da unidade, significa que a extensão real das estradas se aproxima da extensão retilínea, em contraste, por exemplo, com valores iguais a 2 ou maiores. Neste caso, o IS indicará que a distância real é duas vezes (ou mais) superior à distância em linha reta, ou seja, a estrada tem um percurso sinuoso, como é o caso de vias que atravessam zonas geograficamente acidentadas.

Apresentam-se os resultados relativos ao cálculo do Índice de Sinuosidade de Lisboa para todas as sedes de distrito do continente, utilizando como impedância o tempo de viagem. Para tal foi construída uma matriz O/D unitária, assumindo Lisboa como origem e as restantes sedes de distrito como destinos. Através das capacidades de geoprocessamento foram obtidos dados relativos ao tempo de percurso e distância, os quais permitem calcular o IS. Para a classificação dos resultados definiram-se classes para os valores do Índice de Sinuosidade, admitindo que a primeira classe, com valores compreendidos entre [1,00 – 1,20], representa uma “Fraca Sinuosidade” (muito boa acessibilidade) e a última classe, [1,50 – 1,80] representa “Elevada Sinuosidade”, ou má acessibilidade.

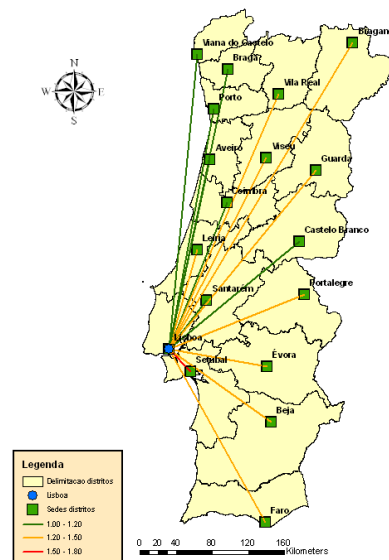
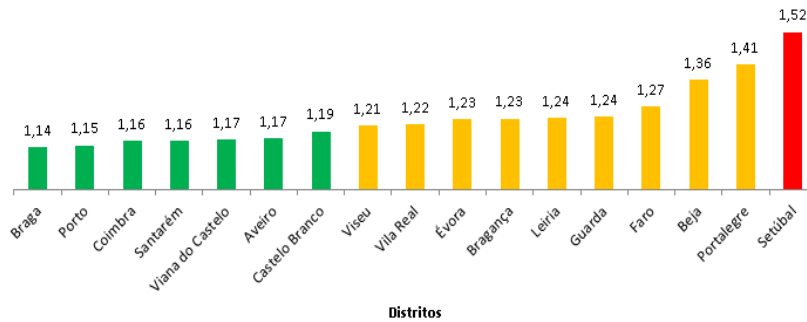


Fig. 6. Mapa com a representação do Índice de Sinuosidade a partir de Lisboa

No gráfico 1 apresentam-se os valores do Índice de Sinuosidade para as viagens a partir de Lisboa.





**Gráfico 1. Valores do Índice de Sinuosidade nas ligações a partir de Lisboa**

**Velocidade Equivalente Reta (VER)**

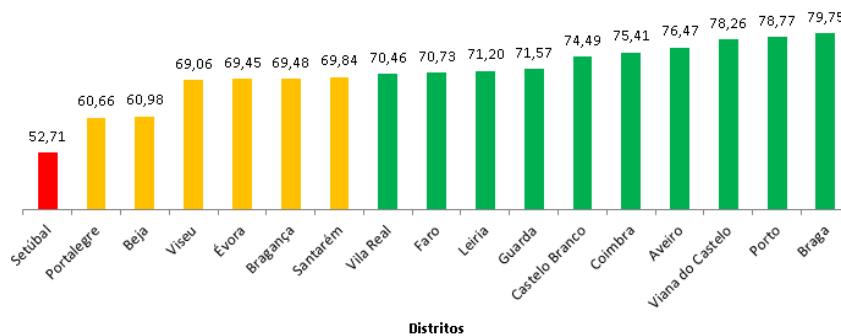
Relativamente à VER, esta representa a acessibilidade medida através da separação espacial, ponderada pela qualidade da via (através da velocidade real). O seu cálculo é efetuado através do quociente entre a distância, medida em linha reta e o tempo real de percurso no mesmo par O/D:

$$VER_{i,j} = \frac{L_{i,j}}{\text{Tempo Real de Percurso}_{i,j}} \quad (5)$$

$L_{i,j}$  - Distância em linha reta entre i e j.

Com base no modelo de cálculo e geoprocessamento referido para o IS, obtiveram-se os valores para a VER. Apresentam-se os resultados relativos ao cálculo da velocidade equivalente reta a partir de Lisboa para todas as sedes de distrito, utilizando como impedância o tempo de viagem.

O gráfico 2 apresenta os valores da Velocidade Equivalente Reta correspondentes à representação do mapa da figura 7.



**Gráfico 2. Valores da VER para as ligações a partir de Lisboa [km/h]**

Os intervalos da VER foram classificados em<sup>5</sup>: [0,00 – 60,00]; [60,00 – 70,00]; [70,00 – 80,00]. Estes intervalos são definidos de modo a que seja possível associar pares O/D à simbologia de cor que identifica o primeiro intervalo ([0,00 – 60,00]) com a pior VER e o último intervalo ([70,00 – 80,00]) como a melhor VER, representativo de uma muito boa acessibilidade. O mapa da figura 5 apresenta as 18 ligações, associadas aos pares O/D a partir de Lisboa, em conformidade com a simbologia referida.

<sup>5</sup> As unidades da VER são km/h.

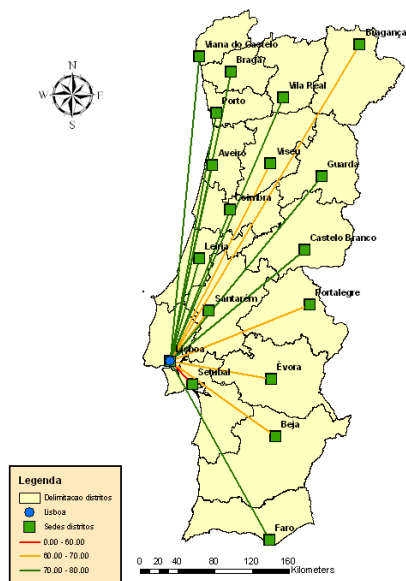


Fig. 7. Mapa com a representação da VER obtida a partir de Lisboa [km/h]

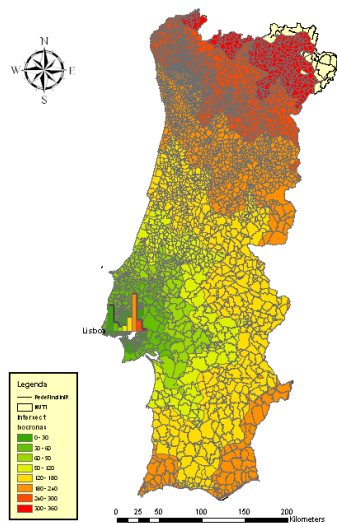
### 4.3 Indicadores de acessibilidade demográfica

Com esta família de indicadores pretende-se quantificar a acessibilidade demográfica. O exemplo apresentado, acessibilidade a partir de Lisboa, ilustra este tipo de análise, tendo-se considerado neste caso um tempo de viagem até 6 horas. Definiram-se as seguintes coroas de tempo: 30, 60, 90, 120, 180, 240, 300 e 360 minutos. Mais uma vez foi utilizado como impedância o tempo de viagem de veículos ligeiros. Os dados demográficos (número de residentes) foram obtidos através do Instituto Nacional de Estatística (INE) e encontram-se desagregados à freguesia.

Foi efetuado o cálculo do valor da densidade populacional em todas as freguesias do país com base na seguinte equação:

$$DensPopulacional = \frac{População\ da\ Freguesia}{Área\ do\ Freguesia} \quad [Hab./km^2] \quad (6)$$

Através do cálculo das isolinhas de igual impedância, neste caso as isócronas (ilustradas na figura 8) obtidas com base nos intervalos de tempo anteriores, quantifica-se a acessibilidade rodoviária direta - dependente da rede.

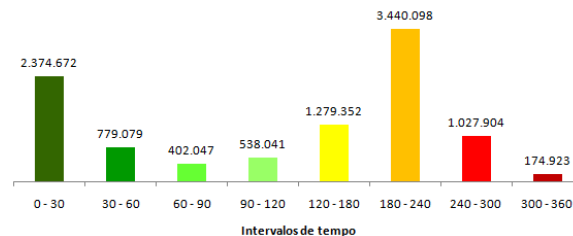


**Fig.8. Isócronas e interseção das coroas de acessibilidade a partir de Lisboa com as freguesias para quantificação da acessibilidade demográfica [min.]**

Num segundo passo e usando as capacidades de geoprocessamento SIG faz-se a afetação da população às coroas correspondentes aos vários intervalos de tempo, tendo por base o raciocínio inverso ao da equação 6:

$$População = Dens Pop \times \text{Área Interseção} \quad [\text{Hab.}] \quad (7)$$

Com o recurso à expressão (7) é possível determinar a população de cada freguesia localizada em cada uma das coroas de tempo. De seguida, procede-se à afetação (somatório) da população alcançada aos respetivos intervalos de tempo, obtendo-se a distribuição que se ilustra no gráfico 3.



**Gráfico.3. Distribuição da acessibilidade demográfica a partir de Lisboa – população alcançada [hab.]**

Observando a figura 8, em conjugação com a distribuição da população do gráfico anterior, conclui-se que existe uma grande concentração de população em torno de Lisboa (para a isócrona [0 – 30]), correspondente à zona de influência da Área Metropolitana de Lisboa e também para a coroa dos [180 – 240] minutos, uma vez que esta última alcança a Área Metropolitana do Porto e zonas adjacentes.

De seguida apresenta-se o indicador Tempo Médio Ponderado (TMP)<sup>6</sup>. Na sequência do cálculo anterior, baseado na variável demográfica, a cada coroa formada a partir das isócronas, associa-se uma impedância média, ou seja, um tempo médio da coroa. Com base nestas impedâncias médias pode definir-se um novo indicador agregado, designado por TMP. De acordo com a expressão (8), o TMP corresponde ao somatório do produto do tempo médio da coroa pela população incluída na mesma, dividido pelo somatório da população abrangida pela isócrona máxima, de 6 horas neste caso.

<sup>6</sup> Este indicador é designado por Tempo Médio Ponderado, porque a impedância utilizada na análise é o tempo de viagem. No caso geral da impedância da rede ter outra origem, como por exemplo o custo generalizado, então este indicador assume a mesma natureza desse valor. Nesse caso seria o *custo generalizado médio ponderado*.

$$\text{Tempo Médio Ponderado} = \frac{\Sigma (T_{\text{médio}} \times \text{População})}{\Sigma \text{População}} \quad (8)$$

O TMP de Lisboa, para uma análise de acessibilidades até 6 horas é de 141 minutos, ou seja, 2,35 horas.

Para se poder comparar o potencial de acessibilidade de áreas populacionais com TMPs semelhantes mas valores absolutos da população distintos, ou comparar as acessibilidades na mesma região, se a população variar em termos absolutos ao longo do tempo, desenvolveu-se um indicador que foi designado por Índice Global Agregado (IGA). Este indicador surge como resposta à limitação que o TMP apresenta para explicar as variações anteriores e em termos gerais comparar situações de evolução ou modificação da distribuição das variáveis socioeconómicas base.

O Índice Global Agregado definido para a variável demográfica pode ser determinado através da seguinte equação:

$$IGA = \frac{\Sigma \text{População}}{TMP} \quad (9)$$

*TMP* – Tempo Médio Ponderado

Como já foi referido, na comparação de cenários nos quais as isolinhas de impedância podem ser ampliadas através de melhorias da mobilidade, o TMP apresenta uma limitação considerável. Se por exemplo, ocorrer um aumento da população abrangida e a relação isócronas/população abrangida se mantiver, então o ‘momento’ da acessibilidade vai tornar-se maior, mas o TMP mantém-se semelhante, apesar das melhorias de acessibilidade.

Se a mobilidade duplicasse de modo a termos o dobro da população ‘alcançada’ com a mesma estrutura de tempo nas coroas, então o novo TMP seria exatamente igual, no entanto o IGA recalculado seria o dobro do inicial, traduzindo o efeito da duplicação da acessibilidade.

O valor do IGA relativamente a Lisboa, obtido para as coroas de tempo até 6 horas é de 71 (milhares de habitantes alcançados por minuto médio de acessibilidade), evidenciando que a performance global de acessibilidade pode ser quantificada de forma independente do valor total da população alcançada.

#### 4.4 Indicadores de acessibilidade económica (PIB)

Com esta família de indicadores pretende-se quantificar a acessibilidade económica dos territórios. Este tipo de acessibilidade implica a movimentação de matérias-primas e bens de consumo levando à criação de serviços de apoio que geram emprego. A valorização de uma determinada região é afetada pela riqueza que está ao seu alcance e pela facilidade com que é alcançada. Esta valorização é frequentemente aferida através de indicadores como o Produto Interno Bruto (PIB) ou o número de empregos. Deste modo, para a quantificação da acessibilidade económica utilizou-se o PIB como indicador de referência. Ressalva-se que em áreas urbanas também é comum utilizar como indicador para avaliação económica o número de empregos disponíveis, principalmente quando se trata de calcular a atratividade relativa destas áreas. Este último tipo de avaliação não foi explorada, mas o modelo está apto a fazê-lo.

O cálculo dos indicadores e resultados da acessibilidade económica desenvolvidos no modelo seguiram a mesma metodologia utilizada para os indicadores de acessibilidade demográfica. No entanto, foram usadas diferentes impedâncias para os veículos ligeiros e pesados. No caso dos primeiros, manteve-se como impedância o tempo de viagem. Para os pesados foi utilizado o custo generalizado.

A estrutura da análise que se apresenta é semelhante à análise efetuada para a acessibilidade demográfica. Ilustra-se o cálculo da acessibilidade económica a partir de Lisboa até 6 horas, considerando as seguintes coroas de tempo: 30, 60, 90, 120, 180, 240, 300 e 360 minutos, utilizando o tempo de viagem de veículos ligeiros como impedância. O nível de desagregação dos dados relativos ao PIB corresponde às unidades territoriais NUT III, tendo os mesmos sido obtidos através do INE.

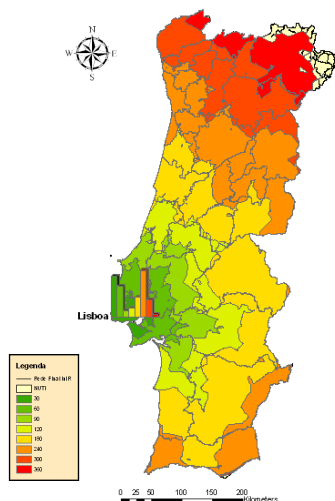
Inicialmente determinou-se o valor da densidade de PIB para cada unidade territorial, com base na seguinte equação:

$$DensPIB = \frac{PIB_{per\ capita} \times n.^{\circ} \text{Indiv\u00edduos NUT III}}{\text{\u00c1rea NUT III}} \quad [€/Km^2] \quad (10)$$

De seguida procedeu-se \u00e0 distribui\u00e7\u00e3o do PIB pelas coroas de tempo. Com as novas \u00e1reas resultantes da interse\u00e7\u00e3o com as is\u00f3cronas determina-se o PIB distribuido por cada \u00e1rea, de acordo com a seguinte equa\u00e7\u00e3o:

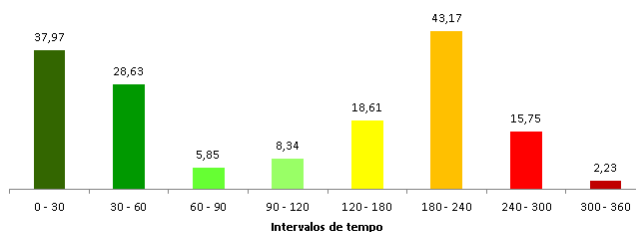
$$PIB\ Euro = DensPIB \times \u00c1rea \quad [€] \quad (11)$$

Na figura 9 apresenta-se o mapa com a distribui\u00e7\u00e3o final do PIB alcan\u00e7ado a partir de Lisboa.



**Fig. 9. Is\u00f3cronas e interse\u00e7\u00e3o das coroas de acessibilidade a partir de Lisboa com as NUT III para quantifica\u00e7\u00e3o da acessibilidade econ\u00f3mica [min.]**

Depois faz-se o somat\u00f3rio da distribui\u00e7\u00e3o final do PIB pelas classes de tempo. Conclui-se que existe uma not\u00f3ria densifica\u00e7\u00e3o do PIB em torno da \u00c1rea Metropolitana Lisboa, correspondente \u00e0s is\u00f3cronas dos intervalos de [0 – 30] e [30 – 60] minutos e tamb\u00e9m para o intervalo de [180 – 240] minutos, uma vez que este \u00faltimo abrange a \u00c1rea Metropolitana do Porto e cidades adjacentes.



**Gr\u00e1fico. 3. Distribui\u00e7\u00e3o da acessibilidade econ\u00f3mica a partir de Lisboa – riqueza (PIB) alcan\u00e7ada [10<sup>9</sup> Euros]**

Os indicadores agregados para a acessibilidade econ\u00f3mica, calculam-se da mesma forma que os da acessibilidade demogr\u00e1fica, procedendo-se unicamente \u00e0 altera\u00e7\u00e3o da vari\u00e1vel em estudo. O TMP relativo ao PIB, calculado a partir de Lisboa com base nos intervalos de tempo j\u00e1 indicados e tendo um m\u00e1ximo de 6 horas toma o valor de 96 minutos. O correspondente IGA \u00e9 de 1.675 (milh\u00f5es de euros por minuto de acessibilidade).

#### 4.5 Tempos de acesso à rede de autoestrada a partir das sedes dos Concelhos

Inicialmente quantificou-se o tempo mínimo de acesso a partir da sede dos concelhos até ao nó da rede de autoestradas mais próximo, fazendo a sua classificação por intervalos de tempo de acesso. A análise desenvolvida permite comparar e aferir os níveis de equidade na acessibilidade à rede nacional de autoestradas a partir dos 278 concelhos.

Definiu-se a seguinte classificação dos tempos de acesso aos nós de autoestrada (figura 10):

- Tempo de acesso inferior a 15 minutos;
- Tempo de acesso compreendido entre 15 a 30 minutos;
- Tempo de acesso compreendido entre 30 a 60 minutos;
- Tempo de acesso superior a 60 minutos;

Esta análise simplificada permite identificar o efeito da acessibilidade sobre o território, mas não tem em conta os efeitos em relação à população, cuja distribuição no território é heterogénea. Adicionalmente a análise está focalizada na acessibilidade a partir da sede de concelho, que geograficamente é representada por um ponto. Esta simplificação pode implicar que nem todo o território do concelho está coberto pelo intervalo de acessibilidade da sua sede. As especificidades anteriores devem ser tomadas em consideração na interpretação dos resultados. Caso seja necessário, este modelo poderá vir a fornecer resultados territoriais mais precisos através da desagregação territorial dos concelhos e reafetação aos intervalos de tempo correspondentes.

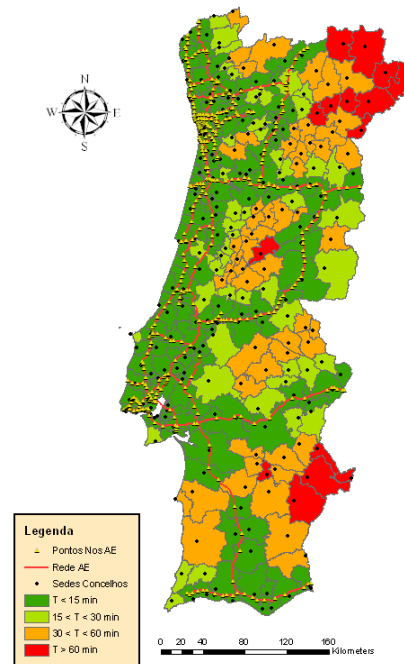


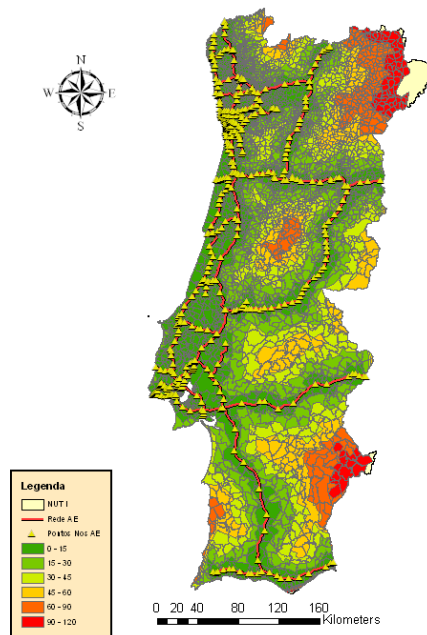
Fig. 10. Tempo mínimo de acesso das sedes de concelho à rede de autoestradas

#### 4.6 Tempos de acesso da população à rede de autoestradas

Na análise anterior caracterizou-se a proximidade das sedes de concelho relativamente aos nós da rede de autoestradas. Na presente análise, pretende-se quantificar a acessibilidade demográfica aos nós da rede de autoestradas. Para tal, considerou-se uma estrutura de intervalos de tempo semelhante, mas mais detalhada. Definiram-se as seguintes coroas de tempo, em minutos: [0 – 15], [15 – 30], [30 – 60], [60 – 90] e [90 – 120]. A população foi desagregada ao nível da freguesia, tal como se ilustra na figura 12. Utilizou-se também como impedância o tempo de viagem de veículos ligeiros. Ao utilizar como nível de desagregação as freguesias, obtém-se assim uma caracterização mais fina da distribuição da população, que permite traçar um retrato bastante rigoroso da acessibilidade geográfica à rede de autoestradas.

Os intervalos de tempo usados não cobrem 0,19 % da população, por estar a mais de 2 horas de acesso de uma autoestradas (zona nordeste de Portugal na figura 11). Esta análise preliminar será ampliada para corrigir esse pormenor, apesar de isso não alterar o retrato global apresentado.

A análise permite caracterizar a tipologia de acessibilidade à rede, verificando-se que o litoral e o território em torno dos grandes eixos de ligação a Espanha têm acessibilidades bastante boas, existindo duas zonas de território na raia – Nordeste e Alentejo que apresentam acessibilidades menos aceitáveis.



**Fig. 11. Interseção das coroas de acessibilidade com as freguesias relativamente aos nós de autoestrada**

No entanto, a tradução da análise de acessibilidade em termos populacional evidência resultados muito bons, como se pode verificar pela análise da tabela 2.

**Tabela 2. Distribuição da população pelos intervalos de tempo de acesso à rede de autoestradas**

Intervalo tempo	$\Sigma$ População	% total população
0 - 15	8305577	82,66
15 - 30	901517	8,97
30 - 45	434917	4,33
45 - 60	205358	2,04
60 - 90	135712	1,35
90 - 120	45131	0,45
$\Sigma$	10028211	99,81

Esta situação deve-se ao facto de os territórios com piores acessibilidades apresentam densidade populacional muito baixas e por outro lado, a maior parte dos territórios urbanos, densamente povoados, está bastante bem servido de autoestradas. A leitura da tabela permite confirmar a enorme concentração da população junto da rede de autoestradas, estando cerca de 83% da população localizada a menos de 15 minutos de um nó de autoestrada e mais de 90 % localizada até meia hora de acesso a uma autoestrada.

## 5 PRINCIPAIS CONCLUSÕES

Os objetivos definidos no início do projeto foram alcançados, primeiro através da construção e calibração do modelo de análise de acessibilidades em SIG. Segundo, através da elaboração das primeiras análises de acessibilidade para teste do modelo e identificação de indicadores relevantes para o apoio ao planeamento rodoviário. No entanto, os resultados agora apresentados devem ser alvo de uma cuidadosa interpretação por serem ainda resultados preliminares e que carecem de maior validação.



Confirma-se que o modelo ainda necessita de pequenos ajustes (alguns até já identificados) e que o leque de análises potenciais que permite fazer é enorme, pelo que tem que ser inicialmente identificado um conjunto restrito de análises com importância imediata para apoio as atividades do regulador às quais deve ser dada prioridade. A equipa conjunta de elementos do GuITTS e do InIR deve continuar a interagir e a desenvolver conjuntamente as análises fundamentais, devendo continuar a colaboração (consubstanciada no futuro próximo na elaboração de fichas de procedimentos) que permita aos técnicos do regulador a utilização autónoma do modelo, tal como definido nos objetivos iniciais do projeto.

Por outro lado, e em termos de perspetivas futuras para desenvolvimento do próprio modelo, o leque de possibilidades é grande:

- O submodelo de portagens clássicas (com pontos de entrada/saída) poderá ser melhorado, podendo vir a serem discretizados valores reais em vez dos atuais valores médios (note-se que as portagens das vias ex-scut já foram definidas com os seus valores reais, pórtico a pórtico).
- Outra área que poderá ser melhorada corresponde ao desenho do modelo demográfico ou económico, que podem ser discretizados com maior grau de detalhe do que o atual.
- As análises padrão poderão todas vir a ser automatizadas, mediante a introdução de módulos de programação. Essa automatização permitirá efetuar a análise de cenários rodoviários alternativos de uma forma fácil e eficiente (leia-se, redução do tempo de processamento, manual, de algumas horas para minutos). Esta situação permitirá a comparação fácil e eficaz do impacto de variantes e cenários alternativos de desenvolvimento da rede rodoviária.
- O modelo poderá passar a incluir outros modos de transporte, nomeadamente o modo ferroviário, permitindo estudar componentes de competitividade (multimodalidade) ou de complementaridade (intermodalidade).
- O modelo poderá ser adaptado para análises de competitividade logística (definição de *hubs*, identificação de custos generalizados associados à logística, etc.).
- O modelo poderá ser adaptado para a execução de análises de disponibilização de equipamentos sociais à população, permitindo calcular níveis de serviço na acessibilidade a equipamentos tais como escolas, centros de saúde, hospitais e outros.
- O modelo poderá ser interligado às redes finas municipais e intermunicipais, podendo vir a ser utilizado para apoio ao planeamento estratégico regional e intermunicipal.

O modelo apresentado nesta comunicação deve ser entendido como um modelo ‘juvenil’, que deu recentemente os seus ‘primeiros passos’ e cuja fase de maturação ainda deverá compreender mais algum tempo. Ao longo desse tempo poderão ser melhorados alguns processos de calibração fina, algumas falhas que possam surgir deverão ser corrigidas, os técnicos da entidade reguladora deverão vir a ganhar à-vontade nos procedimentos e confiança nos resultados, deverão também ser especificadas rotinas de análise padrão e automatizados processos. Isto não significa que o modelo não esteja já pronto a fornecer resultados fidedignos, pelo contrário, significa sim que antes de um modelo deste tipo, para apoio ao planeamento estratégico de nível regional e nacional, estar completamente operacional não podem ter passado somente alguns meses (duração do presente projeto). Pelo contrário, este tipo de modelos deve ser permanentemente melhorado, alimentado com atualizações de dados o mais rigorosas e fidedignas possível e ser alvo de afinações sempre que necessário para produzir resultados que vão cada vez mais de encontro às necessidades e expectativas do planeamento rodoviário.

## 6 REFERÊNCIAS

1. W. Hansen, Journal of the American Institute of Planners, *How Accessibility Shapes Land Use*, Vol. 35, N°2, pp. 73-76, 1959.
2. D. Engwicht, *Reclaiming Our Cities and Towns: Better Living with Less Traffic*, New Society Publishers, 1993.
3. N. Silva, Artigo em Atas de congressos, *Proc. International Congress on Potato Smashing*, P. Silva, L. Silva (Eds.), pp. 56-62, New York, 14-16 April 2004. Publisher.