

Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores de Coimbra
Institute of Systems Engineering and Computers
INESC - Coimbra

Melissa Gama

Bolseira de Iniciação à Investigação, INESC-Coimbra
Aluna do Mestrado Integrado em Eng. Civil, Universidade de Coimbra
Rua Antero Quental 199, 3000-141 Coimbra, Portugal
e-mail: gama.melissa@gmail.com

Lino Tralhão

Investigador, INESC-Coimbra
Rua Antero Quental 199, 3000-141 Coimbra, Portugal
e-mail: linotralhao@netcabo.pt

João M. Coutinho Rodrigues

Prof. Associado com Agregação, Dep. Eng. Civil, Universidade de Coimbra, Investigador, INESC-Coimbra
Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra
Polo II, 3030-194 Coimbra, Portugal
e-mail: coutinho@dec.uc.pt

Um Estudo de Acessibilidade a Zonas Verdes em Meio Urbano
com Tecnologia SIG e Redes Multimodais
Aplicação a Coimbra

No. 10

2011

ISSN: 1645-2631

Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores de Coimbra
INESC - Coimbra

Rua Antero de Quental, 199; 3000-033 Coimbra; Portugal

www.inescc.pt

Resumo

O estudo das deslocações, especialmente em meio urbano, são uma das componentes principais de outros estudos mais abrangentes como os que envolvem questões de acessibilidade a equipamentos colectivos, áreas comerciais, redes de transporte colectivo, locais de desporto e lazer, etc. Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) constituem uma ferramenta muito útil para esse fim.

Com base em duas metodologias diferentes (uso de matrizes origem-destino do edificado para os pontos interiores de interesse; uso de áreas de influência também designadas por áreas de serviço) é feito um estudo de acessibilidade aos principais espaços verdes (17) da cidade de Coimbra, num quadro de diferentes modos de deslocação (rede multi-modal) em meio urbano, explorando as potencialidades dos SIG tanto no que respeita à modelação dos elementos pertinentes, como na determinação desses indicadores, dado tal exigir a obtenção de custos temporais numa rede configurável, posterior processamento dessa informação (e.g. por via do seu cruzamento), e apresentação dos resultados sob as formas de tabelas e mapas elucidativos. As metodologias podem ser aplicadas a outras situações, nomeadamente em estudos de acessibilidade a outros tipos de equipamentos colectivos.

1. Introdução

Na literatura científica o conceito de acessibilidade tem diversas definições, variando consoante os estudos e as aplicações efectuadas. Ainda nesta literatura, encontra-se um conjunto bastante extenso de indicadores de acessibilidade. Um indicador de acessibilidade pode ser específico em termos de unidade espacial para a análise, dos grupos socioeconómicos para os quais a acessibilidade vai ser avaliada, o tipo de oportunidades, o modo de transporte, as origens e destinos, a atractividade dos destinos e a impedância. A unidade espacial para a análise da acessibilidade pode ser uma zona, habitações ou um indivíduo. Os grupos socioeconómicos referem-se, normalmente, a grupos de população definidos de acordo com as suas características socioeconómicas como o rendimento familiar, a situação de emprego, a ocupação e o género. As oportunidades podem ser escolas, centros de saúde, oportunidades de emprego, zonas de lazer, etc. O modo de transporte pode ser, entre outros, o pedonal, o uso do automóvel ou do transporte colectivo. As origens e destinos são os locais a partir dos quais e para os quais a acessibilidade será medida. A atractividade do destino é medida com base nas características de um potencial destino que são importantes na sua escolha, como por exemplo o número de estabelecimentos, ou tamanho físico, ou a importância económica. A impedância representa a separação espacial entre uma origem e um destino e é medida em termos de distância, tempo ou custo económico de viagem.

Os Sistemas de Informação Geográfica, habitualmente designados por SIG, permitem o armazenamento e a representação de informação relativa a elementos de carácter espacial, georreferenciados, não só pelo ponto de vista da sua forma (via imagens ou modelos geométricos -- pontos, linhas poligonais, etc) mas também por informação associada (em geral sob a forma de tabelas de atributos), a qual, além de tipificar os elementos, também apresenta outras suas características relevantes, *de per si* mas também para a manipulação dessa informação. Tudo isto usualmente armazenado em base de dados. Permitem também a gestão, a manipulação e a análise, etc., dessa informação, não só pela via “manual”, interactiva, através do uso de ferramentas standard, ou criadas no quadro do próprio SIG, tornando-se sua parte integrante, ou pela via de programas criados para os mais diversos propósitos. A tecnologia SIG tem-se tornado essencial aos estudos desenvolvidos nos últimos tempos, sendo particularmente útil no que toca ao planeamento e gestão da cidade e do território.

O presente trabalho tem como objectivo o desenvolvimento de metodologias, apoiadas no uso da tecnologia SIG, que permitam definir e calcular indicadores de acessibilidade a uma multiplicidade de destinos pertinentes, em meio urbano. Estas metodologias explorando as suas potencialidades na modelação, embora genéricas, serão aplicadas aos espaços verdes da Cidade de Coimbra.

2. Enquadramento

2.1. Acessibilidade – Definições e Indicadores

Constituindo este trabalho um estudo relativo a acessibilidade, convém, antes de mais apresentar, mesmo que muito brevemente, este conceito, apesar de bastante complexo. Na literatura, encontram-se diferentes definições para acessibilidade, que variam consoante os estudos

e aplicações. Com efeito, a acessibilidade é um conceito amplo e flexível, tendo aplicação em diferentes áreas como sejam o planeamento urbano, o planeamento de transportes, a geografia e o marketing (Halden *et al*, 2005). No Quadro 2.1, apresentam-se, de forma sumária, algumas definições de acessibilidade, encontradas na literatura.

Quadro 2.1 – Definições de Acessibilidade¹.

Autor	Definição
Hansen, 1959	O potencial de oportunidades de interacção.
Dalvi e Martin, 1976	A facilidade com que cada actividade pode ser alcançada, a partir de uma localização usando um determinado sistema de transportes.
Burns, 1979	A liberdade dos indivíduos para decidir se participam ou não em diferentes actividades.
Gray, 1989	Uma medida do acesso relativo de uma área ou zona, a população, emprego, oportunidades e serviços da comunidade.
David Simmonds Consultancy, 1998	Uma forma de medir a facilidade com que uma determinada categoria de pessoas pode chegar a um conjunto definido de destinos, a partir de uma dada origem (acessibilidade origem), ou a facilidade com que um determinado destino (acessibilidade destino) pode ser alcançado por um conjunto particular de indivíduos potenciais.
Ross, 2000	A facilidade de chegar a algum destino podendo incluir os custos reais ou percebidos em termos de tempo ou dinheiro, distância percorrida, nível de disponibilidade, conforto e fiabilidade do transporte colectivo, ou qualquer combinação destes.
DfT, 2001	Difícultades de embarque e desembarque de veículos, itens de transporte, erros em atitudes, uso e pessoal.
Geurs & Ritsema, 2001	A medida em que o sistema de transporte terrestre permite (grupos de) pessoas ou mercadorias chegar a destinos ou actividades, por meio de um modo de transporte, ou por combinação destes.
Litman, 2003	A acessibilidade refere-se à capacidade de atingir bens desejados, serviços, actividades e destinos (designados de oportunidades). A acessibilidade depende da mobilidade e das oportunidades da seguinte forma: Mobilidade – a pé, de bicicleta, de transporte colectivo, car sharing, de táxi, de automóvel, etc. Usos do solo - a distribuição geográfica das actividades e destinos. Outros factores - disponibilidade de informações, conforto e segurança.
SEU Report, 2003	A capacidade de conseguir chegar aos principais serviços a um custo razoável, em tempo razoável e com razoável facilidade.
Handy, 2004	A capacidade de obter o que se necessita, com uma escolha de destinos e usando uma variedade de modos

A partir das diferentes definições é possível identificar quatro tipos de componentes da acessibilidade (Geurs & Ritsema Van Eck, 2001): do uso do solo, do transporte, temporal e individual. A componente de uso do solo consiste na distribuição espacial da oferta em cada destino (e.g. empregos, comércio, serviços de saúde) e as suas características (e.g. capacidade) e na distribuição espacial da procura dessas oportunidades (e.g. zonas residenciais) e as suas características (e.g. residentes), reflectindo o sistema de uso do solo. No caso de actividades com restrição de capacidade (e.g.

1. Fonte: adaptado de Halden *et al* (2005).

empregos, escolas e hospitais), é necessário ter em conta os efeitos de concorrência que daí advém, na análise da acessibilidade. A componente do transporte descreve o sistema de transportes e expressa os custos, para um indivíduo, ao percorrer a distância entre uma origem e um destino, usando um determinado modo de transporte. Estes custos podem ser natureza quantitativa, como por exemplo o tempo de viagem e de espera, e os custos fixos ou variáveis de um modo de transporte, ou qualitativos, como por exemplo a fiabilidade, o nível conforto e o risco de acidente de um modo de transporte.

Entende-se com facilidade que a interação entre dois pontos tenda a diminuir com o aumento da distância, do tempo ou de outros custos. A percepção e avaliação da distância entre uma origem e um destino pode variar com o modo de transporte (e.g. automóvel próprio, transporte colectivo), o motivo da viagem (e.g. casa-trabalho, viagem de negócios), o agregado familiar (e.g. rendimento, grau de escolaridade) e a particularidade e atractividade do destino. Este decaimento com a distância tem sido modelado, em vários estudos de acessibilidade, através de várias funções, com destaque para a potência de expoente negativo (Hansen, 1959; Fotheringham, 1982), exponencial negativa (Wilson, 1971), Gauss (modificada) (Ingram, 1971) e a logística (modificada) (Hilbers & Verroen, 1993). Parece ser com esta última que se consegue um ajuste (calibração de parâmetros) a um maior intervalo de distâncias (Hilbers & Verroen, 1993). Porém, a função potência surge mais vocacionada para distâncias maiores (inter-urbanas), ao passo que a exponencial encontra melhor aplicação à escala intra-urbana (Fotheringham, 1982).

Consoante a ou as componentes (acima descritas) mais em foco, (Geurs & Van Wee, 2004) identificam quatro perspectivas básicas de abordagem do tema acessibilidade: indicadores de acessibilidade para infra-estruturas; indicadores de acessibilidade com base na localização; indicadores de acessibilidade baseados na pessoa; indicadores de acessibilidade com base na utilidade.

É a abordagem da questão da acessibilidade, baseada na localização, muito utilizados no planeamento urbano, em estudos geográficos e em outros estudos, a mais em foco neste trabalho. De facto, procura-se estudar a acessibilidade a certo tipo de equipamentos, no caso vertente, espaços verdes e/ou seus locais interiores de maior interesse, por duas vias metodológicas. Na primeira, consideram-se as distâncias temporais, medidas na rede, entre diferentes “unidades de edificado” e os referidos espaços verdes, tomados como destinos. Na segunda, menos precisa, obtiveram-se isolinhas de taxas de esforço (temporal), a partir dos referidos espaços verdes. Ambas as metodologias foram usadas no contexto de um Sistema de Informação Geográfica. De notar que, no caso de estudo, apesar de os espaços verdes serem representados por polígonos, as distâncias (temporais), em ambas as metodologias, foram medidas relativamente a dois tipos de pontos associados a cada jar-

dim: locais interiores considerados de maior interesse, tomados isoladamente; entradas dos espaços verdes.

2.2. Acessibilidade e os Sistemas de Informação Geográfica (SIG)

A utilidade dos SIG no planeamento de transportes tem vindo a ser reconhecida. A tecnologia SIG fornece ferramentas flexíveis para delimitar, entre outros, áreas de serviço e determinar a população e os empregos abrangidos dentro de cada área (Gutiérrez, Cardozo, & García-Palomares, 2011).

A análise da acessibilidade envolve o desenvolvimento ou a selecção dos indicadores de acessibilidades, a especificação e o cálculo destes indicadores e a apresentação e interpretação dos resultados analíticos (Liu e Zhu, 2004).

Uma boa parte da análise da acessibilidade é a obtenção, manipulação e análise de dados espaciais, mas não só. O SIG, associado a uma base de dados com informação socioeconómica, de transportes e de uso do solo, é uma ferramenta essencial à análise da acessibilidade. A sua capacidade de modelar redes de transportes reais, gerir dados para indicadores de acessibilidade, através de funções espaciais e de análise de redes, representar os valores de acessibilidade obtidos e relacionar estes valores com os dados socioeconómicos e de infra-estruturas previamente georreferenciados, torna a escolha dos SIG bastante vantajosa na análise da acessibilidade (Miller, 1991; van Eck e de Jong, 1999 citados in Liu e Zhu, 2004).

Os SIG podem também ser usado para definir origens e destinos como pontos ou zonas e relacioná-los com dados sobre as suas características socioeconómicas. As ferramentas SIG de *spatial-statistics*, *proximity-analysis* e *network-analysis*, auxiliam na medição da impedância, calculando a distância em linha recta ou o caminho mais curto. As funções de visualização espacial podem ser utilizadas para facilitar a apresentação e interpretação dos resultados da análise da acessibilidade. Os SIG permitem, ainda, flexibilidade na calibração dos indicadores de acessibilidade, através da variação dos valores dos parâmetros e da incorporação de diferentes conjuntos de dados (Liu e Zhu, 2004).

A análise de redes, num SIG, é usada, essencialmente, para determinar o caminho mais curto entre dois pontos, numa rede de transportes, o conjunto de caminhos mais curtos que conectam um conjunto de localizações e todos os locais que estão a menos de um dado período de tempo, distância ou custo de viagem. Logo, as ferramentas de *network-analysis* permitem apenas a avaliação da acessibilidade para nós específicos da rede de transportes e não para qualquer ponto da área de estudo (Liu e Zhu, 2004). Assim, a análise de redes pode não ser adequada para dar uma visão geral da acessibilidade numa região (Geertman e van Eck, citados in Liu e Zhu, 2004).¹

No que toca ao ambiente de SIG utilizado neste trabalho, optou-se pelo *ArcGIS* (de que o

ArcMap e o *ArcCatalog* são componentes fundamentais). O *ArcMap* é útil para a análise de informação, análise e criação de mapas, manipulação de dados e inclui a possibilidade de programação. O *ArcCatalog* é, também, programável, e serve de espécie de *browser* sobre as entidades manipuladas e representados no SIG.

O SIG funciona, geralmente, acoplado a uma base de dados com informação geográfica, separando a informação em diferentes camadas e possibilitando, por exemplo através do cruzamento de dados, obter nova informação (ver Figura 2.1).

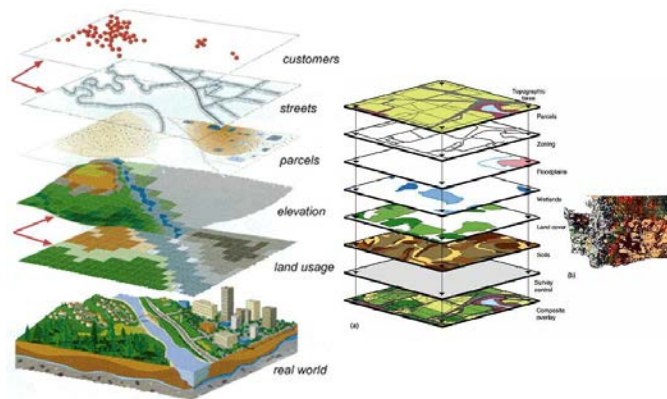


Figura 2.1 – Exemplo de diferentes camadas de um SIG².

Os dados envolvidos num SIG podem provir de várias fontes e ser de diversos tipos, como imagens, tabelas de valores, etc. Um dos formatos mais comuns em SIG é o vectorial, que tem por base a modelação (no que diz respeito aos seus aspectos geométricos) das diversas entidades reais em formas geométricas padrão como o ponto, a linha poligonal aberta, e o polígono. Outro formato de informação espacial é o *raster* que corresponde, normalmente, à representação por imagens (uni, bi ou mesmo tridimensionais). Neste trabalho, e com excepção da imagem (*imagery*) de fundo (em mapas), todos os dados foram colocados no formato vectorial.

A informação associada aos elementos representados no SIG surge usualmente integrada em tabelas de atributos. Um conjunto de entidades com o mesmo tipo de representação geométrica, de tipo vectorial, no mesmo sistema de georreferenciação, e com a informação associada residente numa mesma tabela de atributos (a cada elemento correspondendo uma linha da tabela) constitui, em termos de catalogação de informação (manipulada, em geral, pelo *ArcCatalog*) de um SIG, uma estrutura designada por *feature class* (FC). Em termos de apresentação da representação visual (p. ex. mapa), ao seja, no quadro do *ArcMap*, a cada uma dessas estruturas costuma corresponder uma “camada” (*layer*), a qual, para além de poder ser activada (posta à vista) ou não

2. Fonte: <http://andersonmedeiros.wordpress.com/2010/02/25/geotecnologias-part1/>

(incondicionalmente, ou consoante a escala a que se encontra o mapa, o que permite que certos elementos, p. ex. de pormenor, surjam somente em certos intervalos de escalas), tem associada, também ela, informação própria referente a aspectos de representação visual dos seus elementos associados. Sem esgotar esta questão, toma aqui relevo a designada “simbologia” (*symbolology*). Basicamente, regula a forma gráfica de representação (largura do traço, figuras representativas de elementos do tipo ponto, coloração, etc., e, caso se deseje, associadas aos valores de atributos existente na tabela associada à FC).

Entre várias outras, o *ArcGis* tem uma extensão designada por *Network Analyst*, que ajuda a realizar análises espaciais com base em redes e a desenvolver modelos dinâmicos e realistas, ajustados às condições da rede, incluindo restrições (possibilidade de corte de arcos) e parâmetros como os limites de velocidades, os condicionamentos de altura e as condições de tráfego a diferentes horas do dia. O *Network Analyst* permite criar rotas intermodais, dar indicações de viagens, procurar o ponto mais próximo, criar áreas de serviço e gerar matrizes de custos origem-destino.

Sendo o estudo de caso referente à cidade de Coimbra, os elementos que compõem o SIG, desenvolvido à escala da cidade, de Coimbra, são os espaços verdes, o edificado, a rede pedonal e de automóvel, a rede de Metro Ligeiro de Superfície, a rede dos SMTUC (Serviços Municipalizados de Transportes Urbanos de Coimbra), para além de FC de pontos representativos de equipamentos, em particular os mais em foco neste trabalho: pontos de interesse situados no interior dos espaços verdes (e também, se bem que não propriamente equipamentos, os pontos representativos dos seus locais de entrada).

Por simplicidade de linguagem, designa-se, neste trabalho, por “rede pedonal” a rede onde é permitida a circulação de peões ou peões e veículos motorizados. Na Figura 2.6, está representada a rede pedonal modelada no SIG.

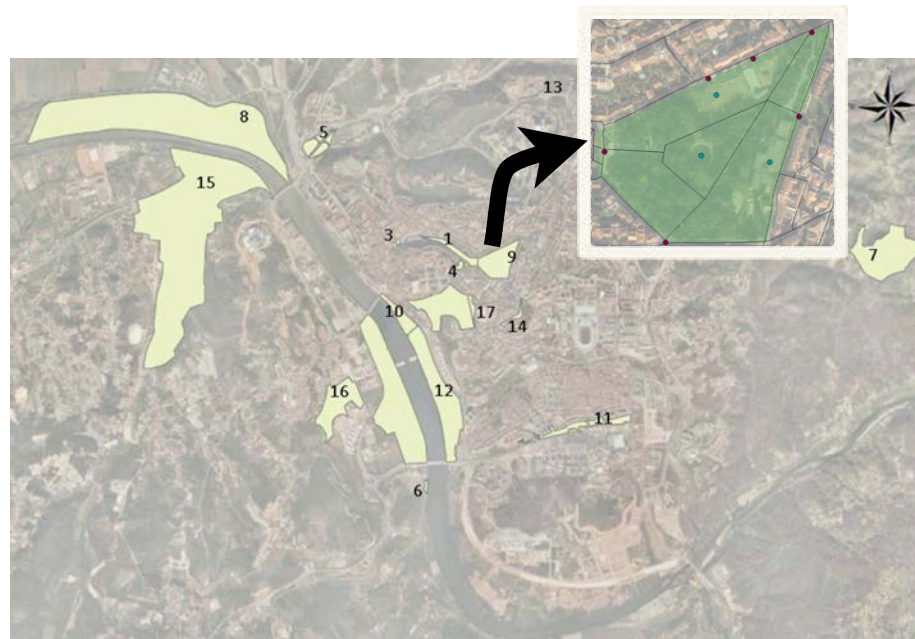
Quanto aos espaços verdes, procedeu-se à sua digitalização (sob a forma de polígonos), assim como os arcos representativos dos caminhos, ambos sobre a *imagery*. Tanto os conjuntos de arcos como o de polígonos foram colocados em FC, após o adequado preenchimento das tabelas associadas (e.g. com os nomes dos jardins e códigos/chaves primárias de identificação). As entradas e pontos interiores de interesse foram identificados (103 e 64 pontos, respectivamente) e associados a informação adequada. Procedeu-se, também à conexão da rede relativa aos jardins à rede pedonal. Optou-se por colocar os pontos representativos das entradas, e dos locais interiores de interesse, ligeiramente deslocados dos seus devidos lugares, mas conectados a estes por arcos de conexão de custos artificiais (e.g. tempos de percurso, comprimentos) nulos. Para além de razões de natureza técnica, tal permite, noutras aplicações ou contextos, a consideração de custos associados a esses pontos, os quais serão atribuídos uni ou bidireccionalmente a esses arcos de conexão.

Os espaços verdes analisados, neste trabalho, são os indicados na Figura 2.2.

Em relação ao edificado habitacional, este permite ter em consideração a população e a sua

distribuição na cidade. A distribuição da população, para ser suficientemente precisa, foi feita com base nos resultados do Censo 2001 e ao nível da subsecção estatística, tendo sido distribuída pelos respectivos edifícios, via uma ferramenta especificamente desenvolvida para o efeito (em linguagem Python).

Para simplificar a análise, em vez de se considerar cada edifício individualmente (ver Figura 2.3), consideram-se aglomerados de edifícios inseridos numa quadrícula de 50m x 50m, aqui designados por pseudo-edifícios.



Legenda: 1-Avenida Sá da Bandeira; 2-Jardim Botânico; 3-Jardim da Manga; 4-Jardins da A.A.C.; 5-Jardins da Casa do Sal; 6-Lapa dos Esteios; 7-Mata do Vale de Canas; 8-Mata do Choupal; 9-Parque de Santa Cruz; 10-Parque Dr. Manuel Braga; 11-Parque Linear do Vale das Flores; 12-Parque Verde do Mondego; 13-Penedo da Saudade; 15-Quinta Agrícola; 16-Quinta das Lágrimas; 17-Jardim dos Patos.

Figura 2.2 – Espaços verdes da cidade de Coimbra, com vista de pormenor da modelação do Parque de Santa Cruz (9).

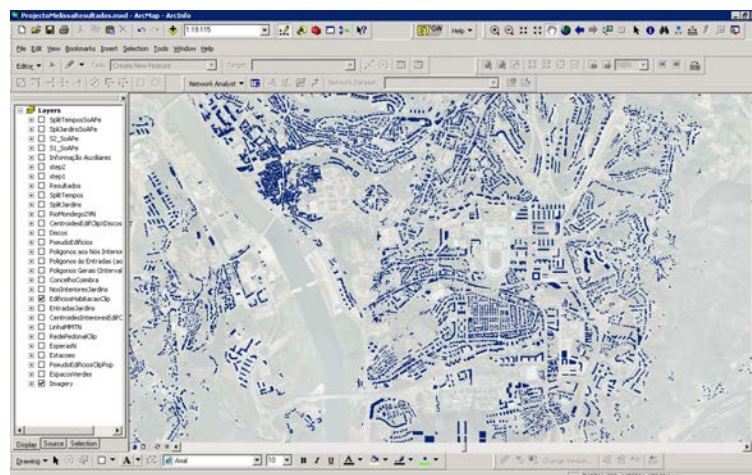


Figura 2.3 – Edificado habitacional da cidade de Coimbra.

A atribuição dos polígonos representativos dos edifícios aos pseudo-edifícios foi feita de acordo com a localização dos centróides³ dos polígonos representativos dos edifícios. A cada pseudo-edifício encontra-se associada a população atribuída aos respectivos edifícios, juntamente com a sua distribuição segundo vários escalões etários. Esta informação é passada aos centróides dos pseudo-edifícios, os quais se encontram conectados à restante rede e a prolongam. Na Figura 2.4, encontram-se destacados um pseudo-edifício e os polígonos dos edifícios associados.

Para simular (visualmente) os arruamentos, foi feito um recorte na quadrícula com aproximadamente 6m de largura. Na Figura 2.5, é possível visualizar esta simulação.

Os diferentes arcos que constituem a rede pedonal têm associada informação relativa a declives existentes ao longo de cada arco. O tempo de percurso num sentido não é obrigatoriamente igual ao tempo de percurso do outro sentido, i.e. subir uma rua poderá ser mais penoso que descer. Assim, é possível associar a cada arco uma velocidade pedonal média e desta, determinar o tempo de percurso pedonal, em cada sentido. A questão da velocidade pedonal (neste caso, a projecção do vector velocidade, sobre a horizontal) em função do declive não é consensual, tendo sido usado um modelo cúbico, baseado no ábaco *Effect of Grade on Distance Walked* (*Manual Transit Capacity and Quality of Service Manual*) para a sua determinação. Considerou-se, também, somente declives positivos, excepto no caso de escadas, em que se considerou o declive de 45% nos dois sentidos e velocidades idênticas tanto na subida como na descida. Nos restantes declives negativos, considerou-se a (projecção horizontal da) velocidade com o mesmo valor do caso declive zero, pelo que se admite um ligeiro aumento da velocidade nas descidas.

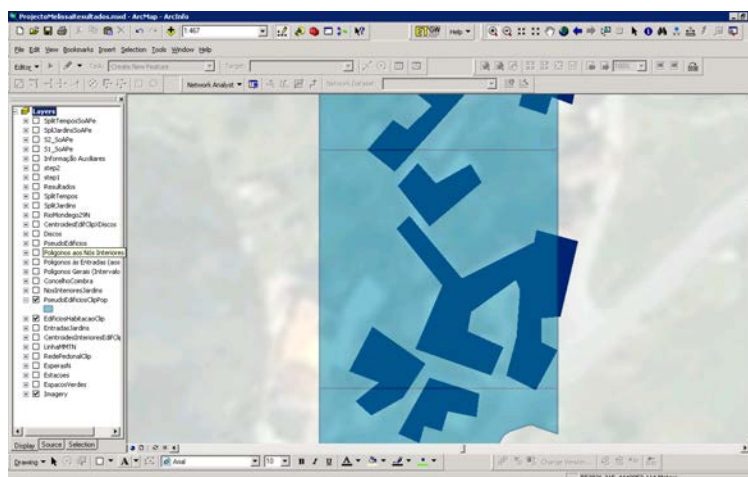


Figura 2.4 – Pseudo-edifício e edificado habitacional que o constitui.

3. Por simplicidade de linguagem, neste trabalho a palavra “centróide” refere, não o centro geométrico de um polígono, mas o seu centróide de tipo “label”. Este ponto pode coincidir com o anterior, mas casos há em que não (e.g. edifício em forma de ferradura), uma vez que é sempre colocado no interior do polígono.

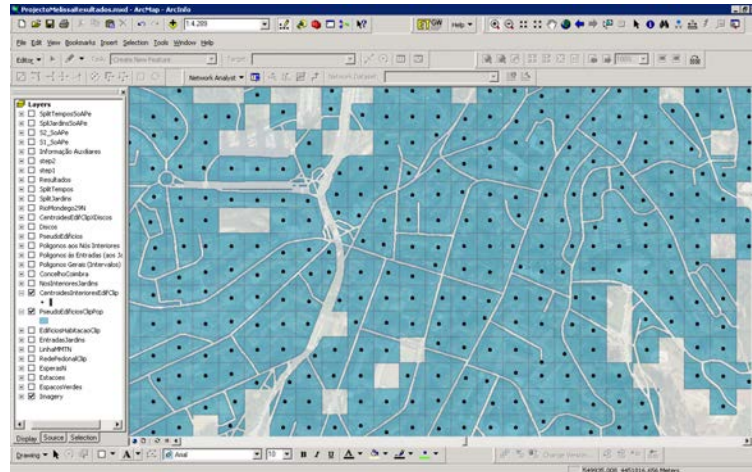


Figura 2.5 – Pseudo-edifícios e respectivos centróides e simulação dos arruamentos.

A rede pedonal contém uma parte designada por “rede móvel”. Esta sub-rede é composta por arcos que são desactivados quando se considera a rede de Metro, em virtude de sobreposição. Quando a rede de Metro se encontra desactivada, a parte móvel da rede é activada. O SIG permite retirar componentes, sempre que se verificarem sobreposições, e a activação de outros elementos.

A designação de rede automóvel diz respeito à rede onde é permitida a circulação de veículos motorizados ou peões e veículos motorizados. Os seus arcos encontram-se fundamentalmente em duas *feature classes* – a correspondente à rede geral e outra onde a circulação pedonal não é permitida. As velocidades em ambas são parametrizadas, devendo optar-se por uma velocidade mais baixa na primeira do que na segunda. As velocidades adoptadas foram 20 km/h e 70 km/h, respectivamente.

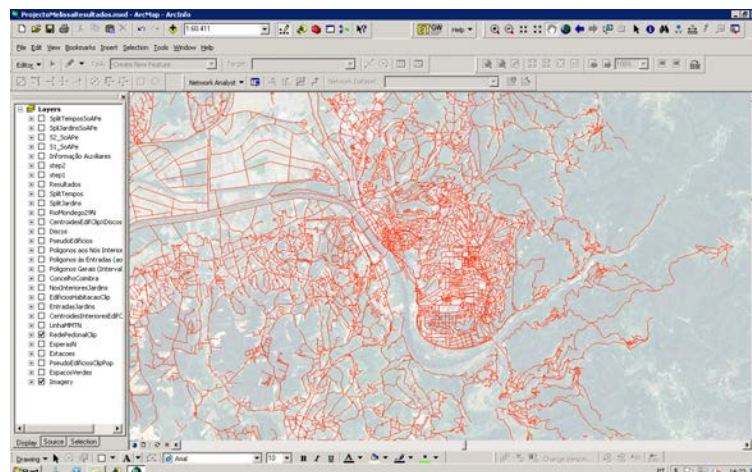


Figura 2.6 – Rede pedonal da cidade de Coimbra.

Na modelação do Metro Ligeiro de Superfície de Coimbra (sistema de transportes ainda em projecto), somente se considerou a parte correspondente às linhas “da Lousã” e “do Hospital”, por serem as que têm mais informação à disposição. Estas linhas são as linhas físicas. Na modelação

desta rede, consideraram-se várias “linhas virtuais”, cada qual correspondente a uma “carreira”. Constatou-se preverem-se a funcionar dez “carreiras”. Prevêm-se também dois períodos do dia, “hora de ponta” e “hora normal”, nos quais as frequências de passagens e portanto o número de composições em circulação, são diferentes. As carreiras referidas são Coimbra B ↔ Arnado, Coimbra B ↔ Corvo, Coimbra B ↔ Hospital, Coimbra B ↔ Quinta da Ponte, Coimbra B ↔ Serpins, Hospital ↔ Ceira, Hospital ↔ Loja do Cidadão 1, Hospital ↔ Quinta da Ponte, Portagem ↔ Quinta da Ponte, Quinta da Ponte ↔ Ceira. A modelação deste sistema é composta por dois tipos fundamentais de elementos, cada qual numa FC própria: a linha propriamente dita e as “estações”. A parte correspondente à linha é modelada por várias sequências de arcos (linhas poligonais, em linguagem SIG) cada qual correspondente a uma carreira. Na componente correspondente às estações, estão representados os acessos (elevadores, rampas e escadas), as ligações à rede pedonal, e os cais. De realçar que é destes que partem os arcos de ligação das estruturas representativas das estações às representativas das carreiras (um por estação e por carreira), Estas ligações, por atribuição artificial do tempo de percurso, permitem modelar tempos de espera nos cais, diferentes consoante o período do dia (de ponta ou normal) desejado (através de parametrização). Para cada uma das carreiras referidas, indicaram-se as frequências e as velocidades quer em hora de ponta, quer fora da hora de ponta. Dessas frequências obtiveram-se os tempos médios de espera (inverso do dobro da frequência) nas várias estações, assumindo-se a independência entre os tempos de passagem das composições e o processo de chegada aos cais por parte dos utentes.

De notar que a parte da rede relativa ao metro Ligeiro de Superfície, tal como outras partes, pode ser colocada activa ou inactiva (“*restricted*”) total ou parcialmente. Isto é feito via parametrização (eliminação total), mas também ao nível das tabelas associadas, tanto “manualmente” como também através de uma “ferramenta” elaborada para o efeito.

O tratamento dos dados referentes aos SMTUC começou pela a representação das paragens através de uma *feature class* de pontos.

Tal como no caso da rede de Metro Ligeiro de Superfície, na modelação da rede de transporte urbano de Coimbra foram consideradas linhas virtuais, cada uma correspondente a uma “carreira”, representada, no SIG, por uma linha orientada unidireccionalmente, à qual se encontra associada informação adequada, como por exemplo o intervalo de tempo em que se encontra activa, o número de serviços, o tempo de percurso, o sentido do percurso, etc. Na Figura 2.7, estão apresentadas as linhas virtuais e as paragens associadas a cada linha.

Cada paragem física (representada no SIG por um ponto, designado por “*StopPoint*”) serve várias carreiras. A cada paragem física corresponde uma “pilha” de “paragens virtuais” cada qual correspondendo a uma carreira que a paragem física serve). Cada *StopPoint*, representativo de uma paragem, está conectado, às carreiras que serve, por arcos sem custo temporal no sentido da “linha”

para o “ponto” e com um valor calculado no sentido do “ponto” para a “linha”, que representa o tempo de espera médio atribuído na linha. O tempo de espera médio é um parâmetro que permite a alteração do seu valor, por exemplo, pode considerar-se que o tempo mínimo é de 5 minutos, o tempo de espera máximo é 20 minutos e que o tempo de espera médio é de 10 minutos. Estes pontos encontram-se conectados à rede pedonal por outro conjunto de arcos de conexão, colocados com custos (artificiais) nulos.

Como cada carreira tem um intervalo de tempo em que está activa, tanto as ligações às linhas como as próprias linhas só se encontram activas nesse intervalo de tempo. Assim, são fornecidos a hora do dia e o tipo de dia (dias úteis, sábados e domingos) e de acordo com estes parâmetros a geometria da sub-rede relativa aos SMTUC varia. O preenchimento das tabelas associadas às *feature classes* das paragens, assim como as das carreiras, permite a alteração (parametrizável) da topologia da rede, de acordo com os três tipos de dias diferentes como também de acordo com a hora do dia.

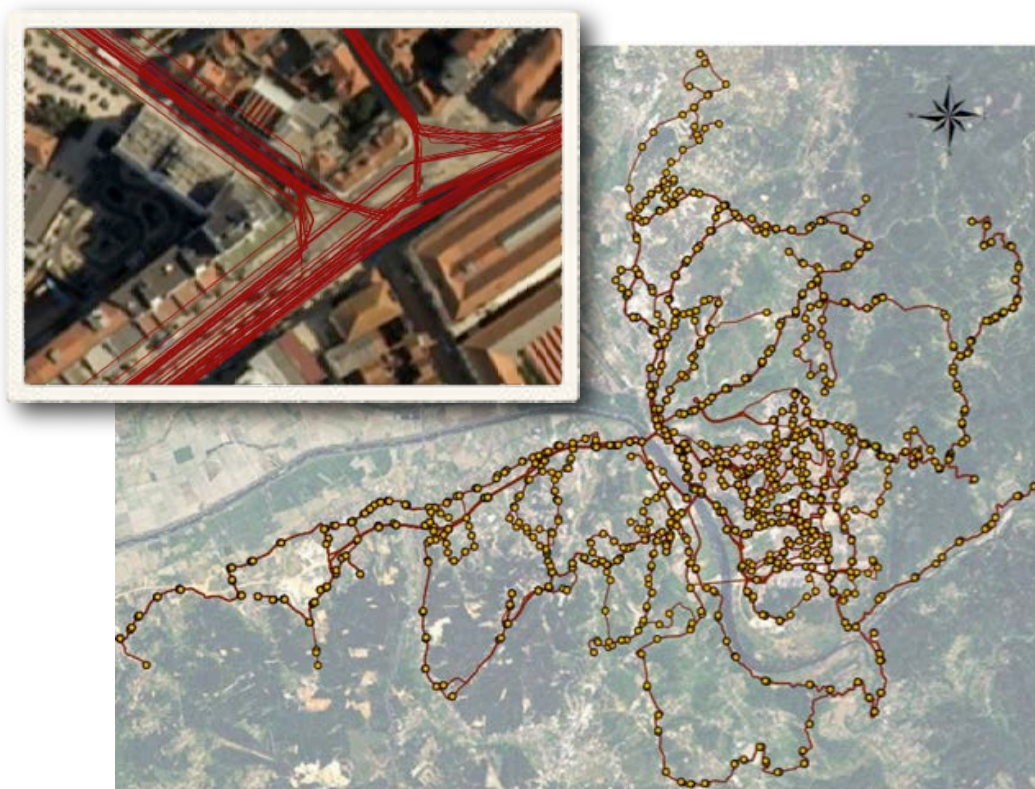


Figura 2.7 – Linhas e paragens da rede dos SMTUC, e vista de pormenor de modelação de carreiras.

3. Estudo de Caso

Múltiplas são as análises de estudo possibilitadas por este SIG, cada referente aos vários cenários possibilitados, via parametrização, pelo SIG, sendo de destacar: o cenário em que somente se encontram activadas as redes pedonal e automóvel; o cenário intermodal (pedonal/Metro/SMTUC) em regime de hora de ponta (9h) num dia útil; idêntico cenário, mas em hora normal (15h); e, os cenários intermodais pedonal/SMTUC, para diferentes horas do dia e diferentes tipos de dias já referidos.

É também possível, para cada cenário, o uso das duas metodologias já referidas – a primeira, mais precisa, com recurso a matrizes origem-destino e a segunda pela via de áreas de influência. Na primeira (OD), e para todos os centróides dos pseudo-edifícios, são calculados os tempos mínimos nos percursos entre cada desses centróides e cada dos pontos pertinentes a cada jardim (entradas ou pontos interiores de interesse); na segunda, e para cada ponto pertinente relativo aos jardins são obtidas uma sequência de áreas (do tipo anel, excepto a interior que é do tipo disco); cada dessas áreas corresponde a pontos colocados a um determinado intervalo de distâncias temporais. Estas duas metodologias (matrizes origem-destino e áreas de influência) permitem obter similares tipos de resultados, sendo a utilização das matrizes origem-destino mais correcta, uma vez que se obtém um valor de tempo de percurso exacto, enquanto que nas áreas de influência, são obtidos resultados para intervalos de tempo. Os intervalos usados foram: [0, 5],]5, 10],]10, 15],]15,30],]30, 45] e]45, 60] minutos.

3.1. Resultados

Seguidamente apresentam-se mapas com alguns dos resultados obtidos a partir da aplicação da cada das metodologias em diferentes cenários.

3.1.1. Cálculo com matrizes OD

Na Figura 3.1 encontra-se um mapa representativo dos tempos de acesso dos vários pseudo-edifícios a um ponto interior de um jardim, no caso o “Retiro dos Poetas” do Jardim do Penedo da Saudade. Foi usado o modo intermodal (pedonal/metro/SMTUC), em dia útil e hora de ponta (9h). Foram feitas truncaturas nos tempos de forma a obter-se uma escala de tempos múltiplos de 3 minutos. Os tempos acima de 45m encontram-se representados pela mesma cor. O jardim aparece no mapa a azul, um pouco para Este do Estádio Municipal.

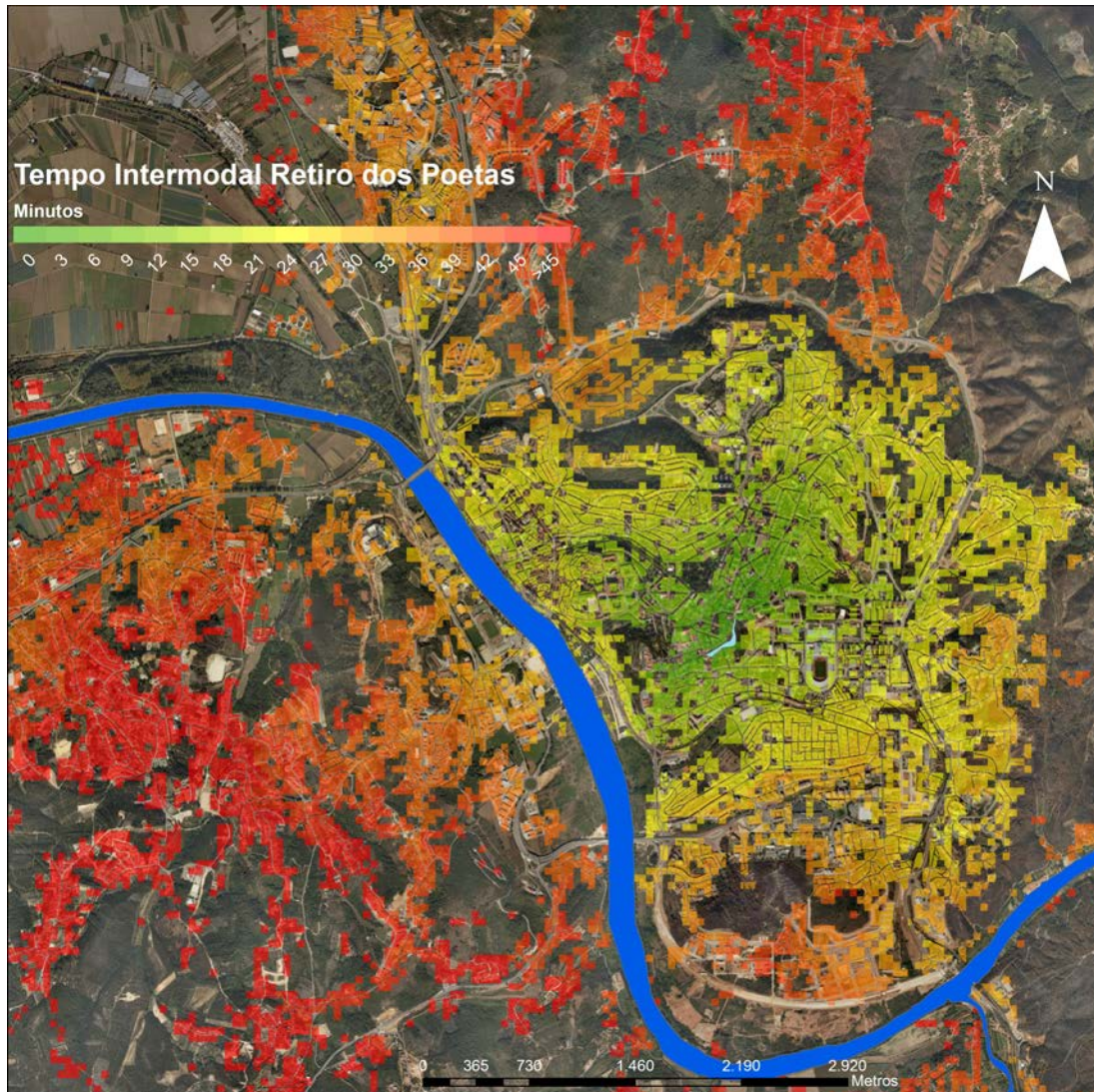


Figura 3.1 – Acessibilidade ao Retiro dos Poetas

Pode calcular-se, para cada pseudo-edifício, a média dos tempos de acesso aos pontos interiores relativos a cada jardim (uma média por jardim). É o que se apresenta nas Figuras 3.2 e 3.3, relativamente ao Parque de Sta Cruz. Na primeira (3.2) os tempos referem o modo pedonal, na segunda (3.3) é referida a intermodalidade pedonal/SMTUC.

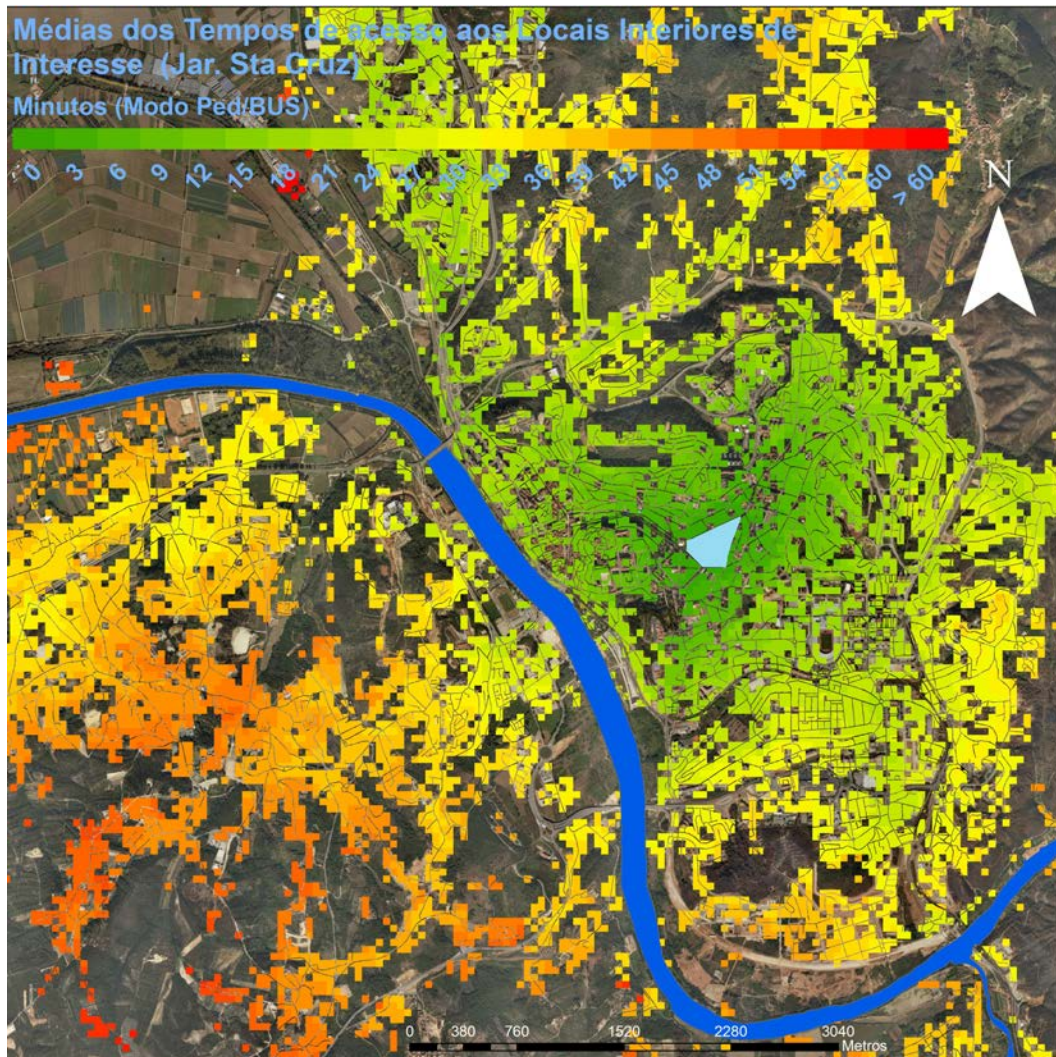


Figura 3.2 – Acessibilidade ao Parque de Sta Cruz - médias de tempos de acesso pedonal aos locais interiores de interesse.

Calculados esses tempos, pode agora determinar-se qual a vantagem temporal no uso de um modo relativamente ao outro, através da determinação, pseudo-edifício a pseudo-edifício, da diferença entre os dois tempos de acesso. É o que é apresentado na Figura 3.4, onde pode verificar-se não ser significativa para grande parte da cidade. Convém, porém, notar que foram contabilizados, na intermodalidade pedonal/SMTUC, tempos médios de espera nas paragens, de acordo com a parametrização acima referida.

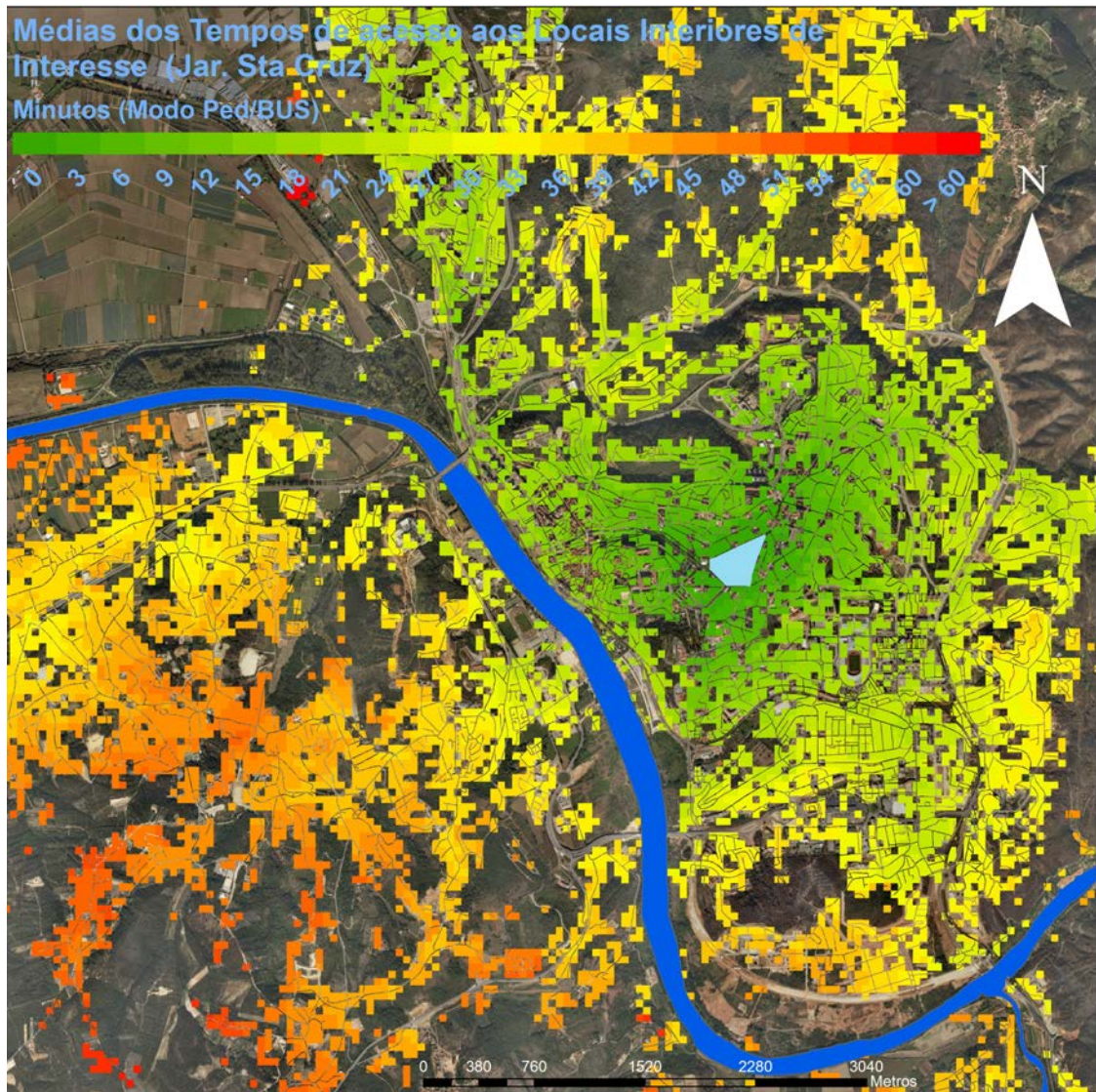


Figura 3.3 – Acessibilidade ao Parque de Sta Cruz - médias de tempos de acesso intermodal pedonal/SMTUC.

3.1.2. Uso de áreas de influência

Convém aqui apresentar o que se entende por tempo de acesso a um jardim. Trata-se do tempo de acesso à entrada mais próxima (em termos de tempo). Obtidas as sequências de áreas de serviço relativas a todos os pontos pertinentes de todos os jardins considerados, com uma adequada manipulação (em SIG) dos polígonos obtidos, é possível encontrar, para cada jardim, e para cada intervalo de tempos de acesso, a respectiva área de serviço. Similarmente pode definir-se o tempo de acesso a um certo conjunto de Jardins, e também obter-se a sequência de áreas de serviço relativas a esse conjunto. Um pseudo-edifício cujo centróide se encontra situado numa certa área de serviço relativa um determinado jardim (ou conjunto de jardins), considera-se como situado no correspondente intervalo de tempo no tocante ao acesso a esse jardim (ou conjunto de jardins).

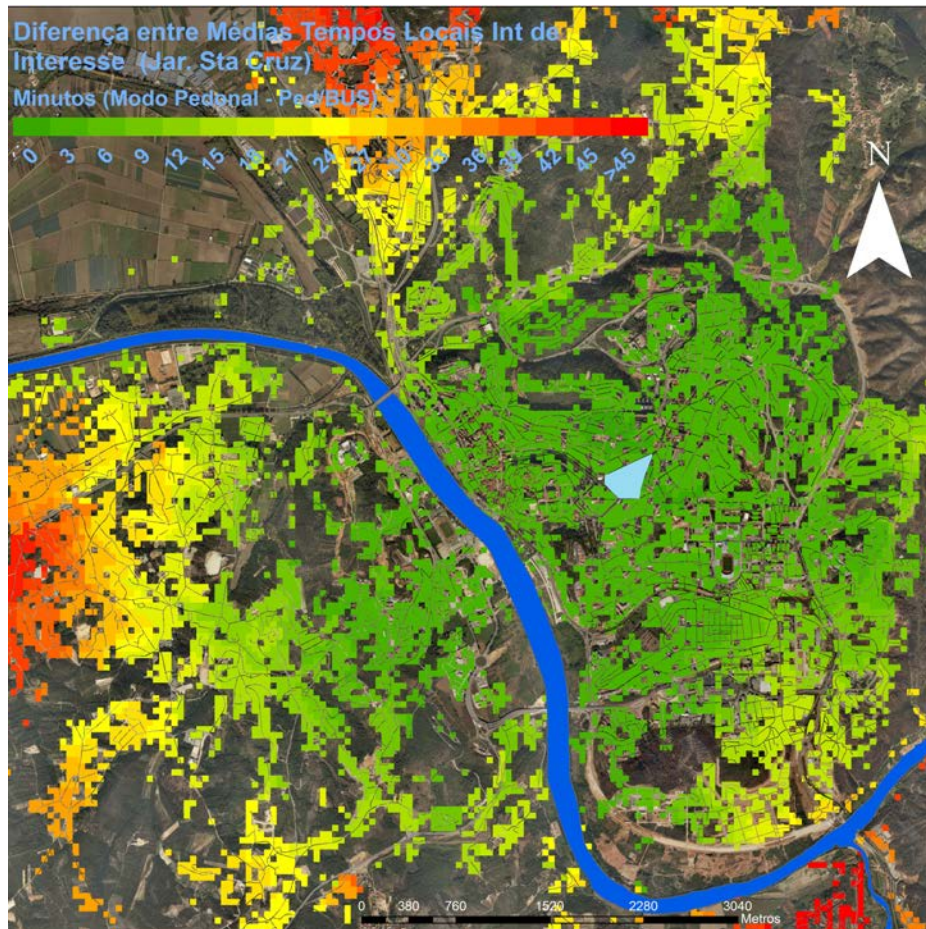


Figura 3.4 – Acessibilidade ao Parque de Sta Cruz - diferença de tempos médios entre os modo pedonal/SMTUC e SMTUC.

É o que se apresenta na Figura 3.5. No caso trata-se das pseudo-edifícios situados nos diferentes intervalos de tempo correspondentes a áreas de serviço do complexo (conjunto) constituído pelo Parque Verde do Mondego e pelo Parque Dr. Manuel Braga (complexo representado a azul).

A cada anel (área) de serviço relativo a um certo intervalo de tempo, pode-se fazer corresponder um “tempo médio”, aproximação do tempo médio de acesso, ao equipamento em questão, dos habitantes dessa área. No caso de um anel circular, e admitindo distribuição superficial uniforme da população facilmente se verifica tratar-se da média quadrática dos extremos do intervalo de tempo correspondente. Usamos aqui essa aproximação, aplicando a mesma média (quadrática). Assim, por exemplo, ao intervalo $[0, 5]$ corresponde o tempo médio de 3,5 minutos, ao intervalo $[5, 10]$, o tempo médio de 7,9 minutos, etc.

Foram estes os tempos usados nas Figuras 3.6, 3.7 e 3.8, onde a metodologia das áreas de serviço é usada na acessibilidade ao Parque de Sta Cruz. A Figura 3.6 diz respeito ao modo pedonal, a Figura 3.7 à intermodalidade pedonal/SMTUC.

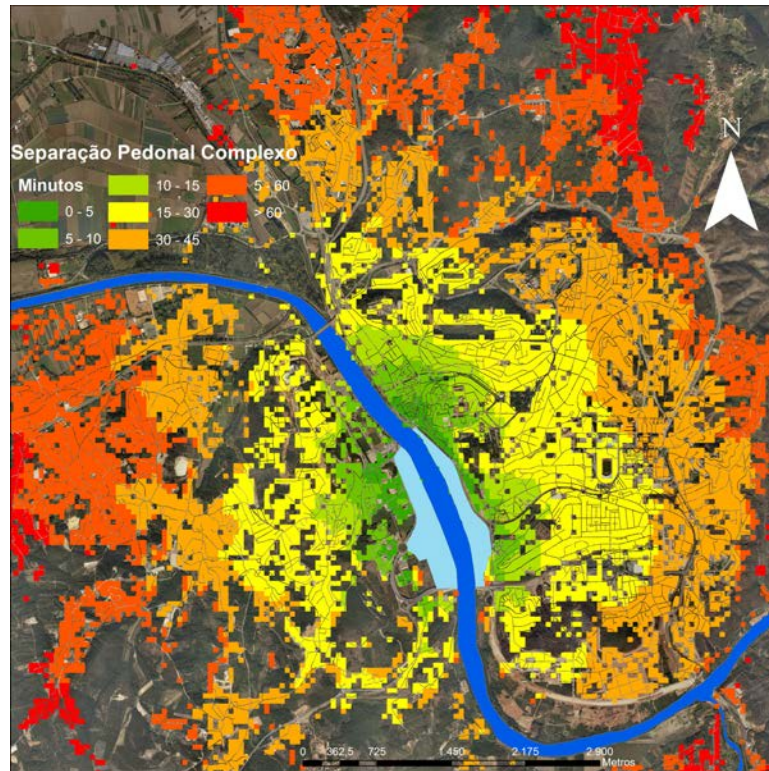


Figura 3.5 – Acessibilidade ao complexo Parque Verde do Mondego / Parque Dr. Manuel Braga

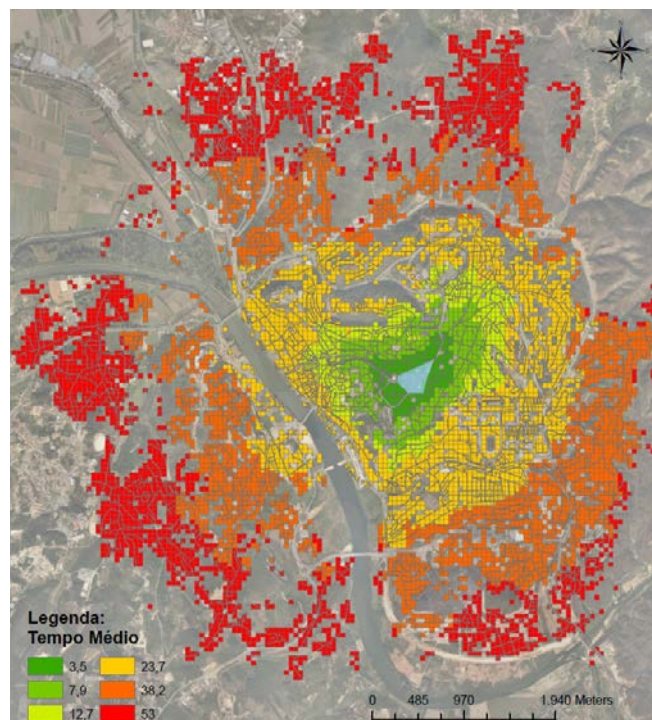


Figura 3.6 – Tempo médio pedonal de acesso ao Parque de Sta Cruz.

Na Figura 3.8, são apresentadas as diferenças de tempos médios (diferenças de médias quadráticas) entre os dois modos. O aspecto das Figuras 3.7, 3.8 e 3.9 difere do das anteriores porque se manteve nestas as arestas dos polígonos relativos aos pseudo-edifícios, bem como algumas variações na simbologia.

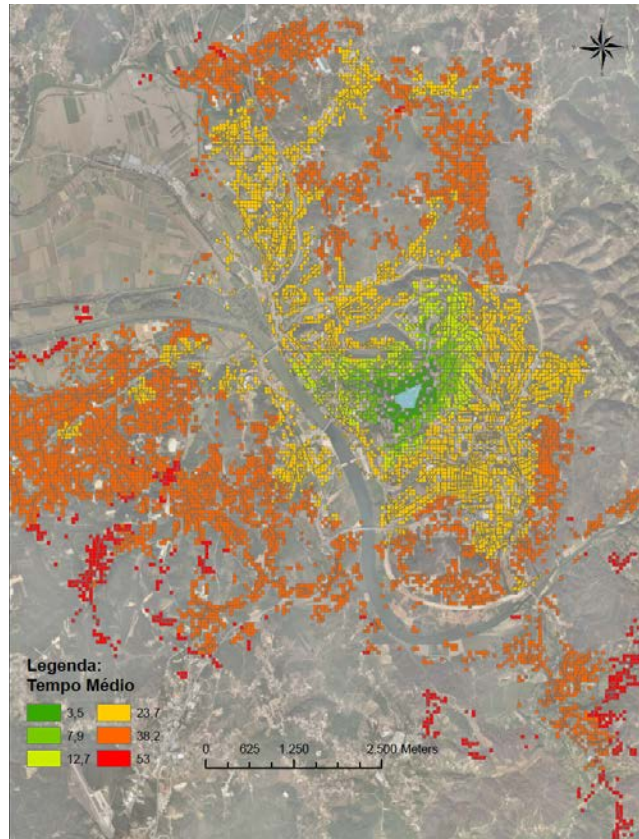


Figura 3.7 – Tempo médio em rede intermodal, de acesso ao Parque de Sta Cruz.

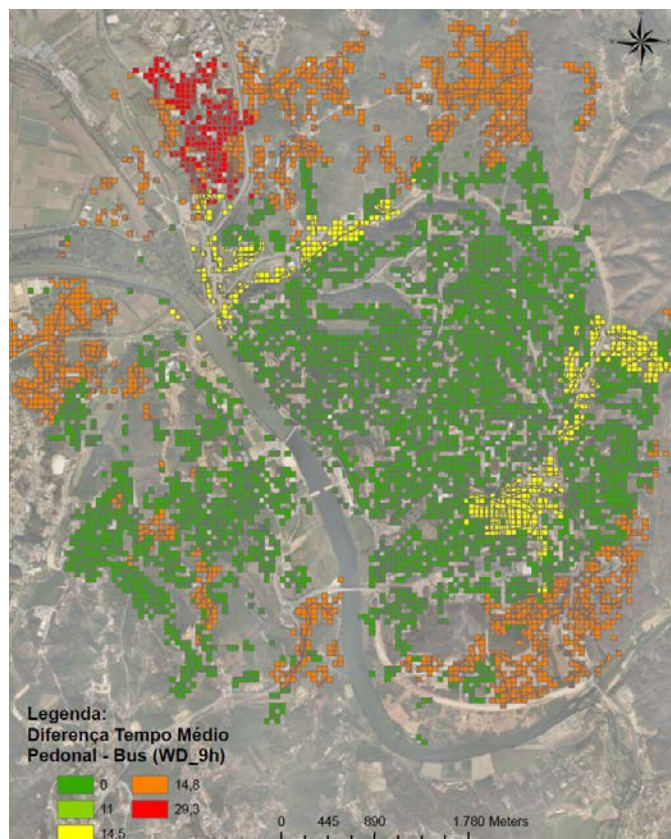


Figura 3.8 – Acessibilidade ao Parque de Sta Cruz - diferença de tempos médios entre o modo pedonal e intermodal pedonal/SMTUC.

Tratando-se de um parque situado numa zona central da cidade, facilmente se pode observar que numa grande parte da parte central da cidade não existe grande vantagem (em termos de tempo) no uso de transporte colectivo relativamente ao percurso pedonal. Convém porém notar que naquele foram contabilizados tempos de espera que apesar de variáveis, rondavam os 10m.

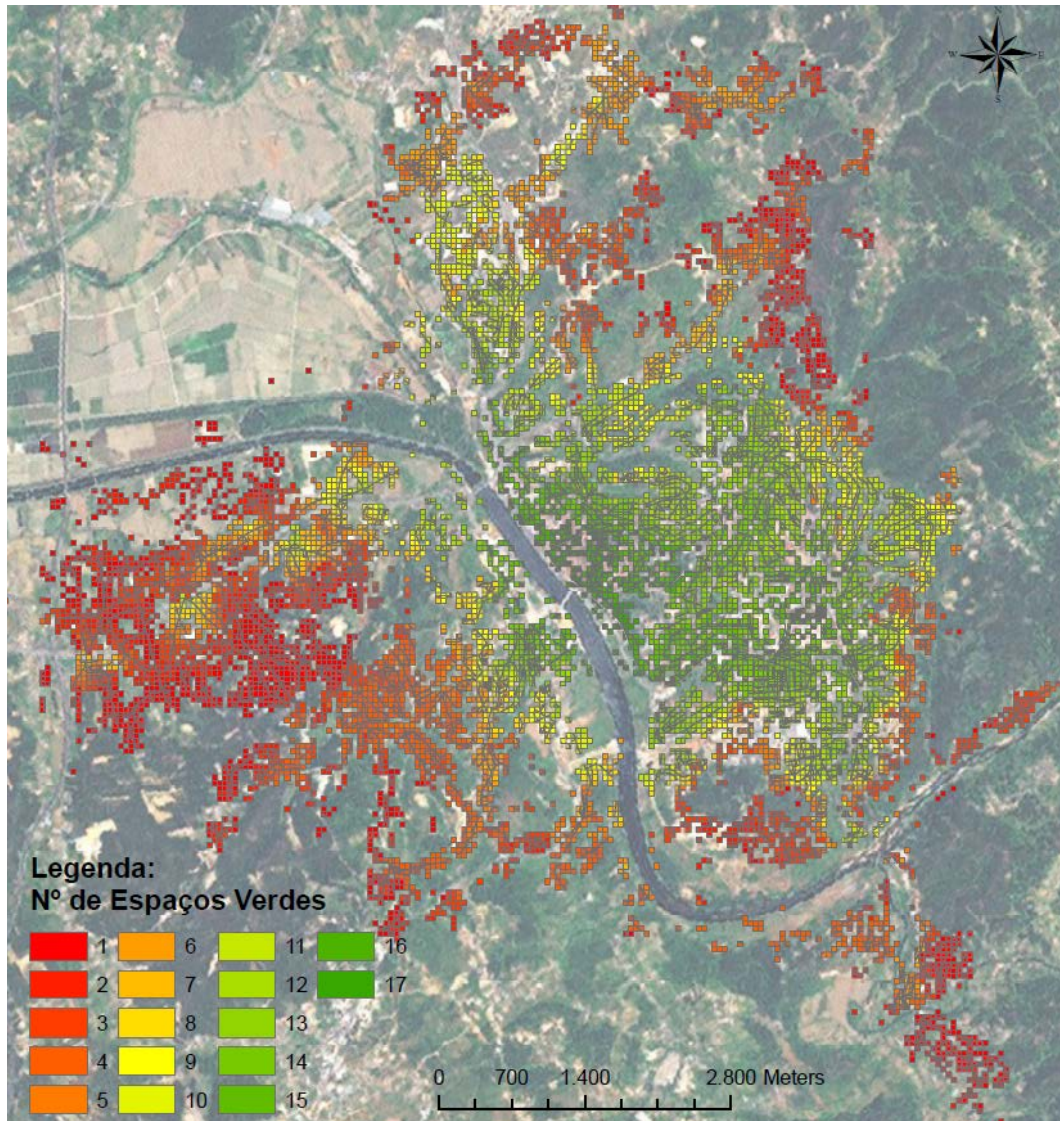


Figura 3.9 – Nº de jardins acessíveis até 30 minutos, em rede intermodal (9h, dia útil).

Após adequada manipulação (em SIG) das *feature classes* dos polígonos (e respectivas tabelas) representativos das áreas de influência, pode determinar-se, para cada pseudo-edifício, quantos jardins são acessíveis em até determinado tempo (neste caso, 30 minutos). O resultado para essa situação é apresentado no mapa da Figura 3.9.

4. Conclusões

O SIG desenvolvido é composto por diversos elementos com características e geometrias bastante diferentes, resultando num modelo bastante completo, mas ao mesmo tempo complexo. A possibilidade de alteração dos valores de diferentes parâmetros, possibilita um leque vasto de

análises.

O estudo de caso é um exemplo da aplicabilidade da tecnologia SIG e da metodologia de análise desenvolvida e testada.

Comparando as duas metodologias utilizadas, facilmente se percebe que os resultados não são muito diferentes. Qualquer uma das duas poderá ser utilizada em estudos deste género, sendo o uso de matrizes origem-destino mais preciso. Fazendo um estudo a uma escala maior, deve optar-se pelas áreas de influência, pela simplificação associada.

Uma análise de sensibilidade, variando parâmetros como a velocidade média dos automóveis, os tempos de espera dos SMTUC consoante o tipo de dia, poderia possibilitar uma mais completa avaliação da modelação utilizada.

O estudo foi feito em relação aos espaços verdes da cidade de Coimbra, mas é extensível a outros equipamentos colectivos urbanos, serviços e comércio, quer isoladamente, quer de modo a produzir indicadores de acessibilidade globais. Desta forma, será possível identificar carências e desequilíbrios, fornecer elementos úteis para a tomada de decisões no âmbito do planeamento e gestão da cidade.

5. Referências Bibliográficas

ArcMap Tutorial (2008). ESRI - Environmental Systems Research Institute, USA.

ArcCatalog Tutorial (2006). ESRI - Environmental Systems Research Institute, USA.

Cervero, R. (2005). "Accessible Cities and Regions: A Framework for Sustainable Transport and Urbanism in the 21st Century". Working Paper UBC-ITS-VWP-2005-3 at <http://www.drcog.org/documents/Accessible%20Cities.pdf>.

Geurs, K.T., Ritsema Van Eck, J.R. (2001). "Accessibility measures: review and Applications". RIVM report 408505 006, National Institute of Public Health and Environment, Bilthoven.

Geurs, K.T., Wee, B. (2004) "Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and research directions". *Journal of Transport Geography* 12, pp. 127-140.

Gutiérrez, J., Cardozo, O. D., García-Palomares, J. C. (2010). "Transit ridership forecasting at station level: an approach based on distance-decay weighted regression". *Journal of Transport Geography* 19, pp. 1081-1092.

Halden, D., Jones, P., Wixey, S. (2005) "Accessibility analysis literature review". Working paper 3 available at http://home.wmin.ac.uk/transport/download/SAMP_WP3_Accessibility_Modelling.pdf.

Iacono, M., Krizek, K. J., El-Geneidy, A. (2010). "Measuring non-motorized accessibility: issues, alternatives, and execution". *Journal of Transport Geography* 18, pp. 133-140.

Lotfi, S., Koohsari, M. (2009). "Measuring objective accessibility to neighborhood facilities in the city (A case study: Zone 6 in Tehran, Iran)". *Cities*, 26, pp. 133-140.

Manual Transit Capacity and Quality of Service Manual - 2ª Ed. (Appendix A - Effect of Grade on Distance

- Walked) (2003). Transportation Research Board.
- Network Analyst Tutorial (2008). ESRI - Environmental Systems Research Institute, USA.
- Pooler, J. A. (1995). "The use of spatial separation in the measurement of transportation accessibility". *Transportation Research A*, Vol. 29A, No. 6, pp. 421-427.
- Sakkas, N., Pérez, J. (2006). "Elaborating metrics for the accessibility of building". *Computers, Environment and Urban Systems* 30, pp. 661-685.
- SMTUC@ (2011). http://www.smtuc.pt/geral/index_horarios.php. Transportes Urbanos de Coimbra (página internet oficial), Coimbra.