

# C&S SIG

---

***DESENVOLVIMENTO DO PADRÃO DE  
CRESCIMENTO URBANO  
Modelação da dinâmica do solo urbano em  
Andaluzia***

---

Ana Luisa Lopes Barbosa

---

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência e Sistemas de Informação Geográfica

---

Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação  
da Universidade Nova de Lisboa

**DESENVOLVIMENTO DO PADRÃO DE CRESCIMENTO  
URBANO**  
**Modelação da dinâmica do solo urbano em Andaluzia**

Dissertação Orientada por  
Professor Doutor Fernando Bação

Novembro de 2008

## **AGRADECIMENTOS**

A toda a equipe do ETC-LUSI, Jaume, Francisco, Walter, Juan, Núria, Andreas, Roger e Rosa que me acolheram e colocaram à minha disposição todo o apoio que precisei, contribuindo de forma directa ou indirecta para este trabalho.

Ao Prof. Dr. Fernando Bação pela sua orientação, acompanhamento e disponibilidade, ao Prof. Dr. Rui Pedro Julião pela sua orientação no início deste trabalho e ao Prof. Dr. Pedro Cabral pela prontidão no esclarecimento de dúvidas.

Ao Ministério Regional do Meio Ambiente da Junta de Andaluzia, que prontamente disponibilizou todo o material que precisei para a elaboração deste estudo, em especial ao Alejandro que me orientou, apoiou e amparou ao longo de todo o percurso.

Aos colegas do ISEGI pela troca de ideias e experiências.

Aos meus amigos Inês, Jose Vilas Boas, Francisco e Andrea pela vossa força, motivação e colaboração nos momentos mais difíceis.

Por último, à minha família pela confiança, apoio e pelas oportunidades que me têm dado, sem a qual nada seria possível.

# DESENVOLVIMENTO DO PADRÃO DE CRESCIMENTO URBANO

## Modelação da dinâmica do solo urbano em Andaluzia

### RESUMO

Do vasto leque de abordagens e modelos de alterações do uso do solo, neste estudo pretende-se avaliar o potencial de uma ferramenta em particular na previsão das alterações do uso do solo as Redes Neurais Artificiais.

O objectivo deste estudo é avaliar a eficácia das Redes Neurais Artificiais para prever as alterações do uso do solo urbano à escala regional utilizando várias calibrações do modelo *Land Transformation Model* (Pijanowski et al., 1996, Pijanowski et al., 2000a, Pijanowski et al., 2000b). Este modelo utiliza um motor de aprendizagem para quantificar e modelar o comportamento e padrões complexos e o Sistema de Informação Geográfica para gerir a base de dados, desenvolver as variáveis preditivas, análise espacial e para avaliar os resultados obtidos.

O LTM foi parametrizado para a região de Andaluzia, de forma a explorar influência de factores como a proximidade à linha de costa, cursos de água, estradas, auto-estradas, solo urbano, espaços recreativos, densidade populacional, ferrovias, aeroportos, solo florestal, solo agrícola e grandes cidades, utilizando dois períodos distintos, 1987 – 2003 e 1995 - 2003.

Os diferentes conjuntos de variáveis preditivas mostraram mais capacidade de previsão no período de 1987 – 2003 do que no período de 1995 – 2003. Os resultados mostram, também, que a capacidade preditiva melhora significativamente quando são utilizadas todas as variáveis com relação ao período de 1987 - 2003 (PCM – 33% e *Kappa* - 0.3278). Pelo contrário, a capacidade preditiva diminui quando são apenas utilizadas as variáveis base (linha de costa, cursos de água, estradas, auto-estradas, solo urbano e espaços recreativos) para o período de 1995-2003 (PCM -10.4% e *Kappa* - 0.09).

# **URBAN SPRAWL PATTERNS**

## **Modelling urban land use dynamics in Andalusia**

### **ABSTRACT**

From the diverse range of approaches available to model land use changes models, in this study the objective is to highlight the potential of a specific tool to predict changes in land use, Artificial Neural Networks.

The purpose of this study is to evaluate the effectiveness of Artificial Neural Networks to predict urban land changes at regional scale, using different calibrations of the Land Transformation Model. This model uses a learning-machine to quantify and model the behavior and the complex patterns of land use and the Geographic Information System to manage the database, develop predictive variables, spatial analysis and to evaluate the results.

The LTM was parameterized to the Andalusia region, to explore how factors such as line of the coastline, watercourses, roads, highways, urban land, recreational areas, population density, the railroads, airports, forest soil, agricultural soil, big cities, can influence urbanization pattern, using two different periods, from 1987 to 2003 and 1995 to 2003.

The results show the different sets of variables have more predictive ability to forecast the period from 1987 - 2003 than in the period 1995 - 2003, in particular, the capacity improved significantly when all the variables were used with respect to the period 1987 - 2003 (PCM - 33% and Kappa - 0.3278). On the other hand, predictive ability decreases when only the basic variables were used (coastline, watercourses, roads, highways, urban land, recreational areas) for the period 1995-2003 (PCM -10.4% and Kappa - 0.09).

## **PALAVRAS – CHAVE**

Andaluzia

Expansão Urbana

*Land Transformation Model*

Modelos Uso do Solo / Ocupação do Solo

Redes Neurais Artificiais

Sistemas de Informação Geográfica

## **KEYWORDS**

Andalusia

Urban Sprawl

Land Transformation Model

LUCC Models

Artificial Neuronal Network

Geographic Information System

## ACRÓNIMOS

- AEA** – Agência Europeia do Ambiente
- ASCII** - American Standard Code for Information Interchange
- CESA** - Consejo Económico y Social de Andalucía
- CMAA** – Consejería de Medio Ambiente de Andalucía
- COPT** - Consejería de Obras Públicas y Transportes
- EEA** – European Environment Agency
- EFIEA** - European Forum on Integrated Environmental Assessment
- EIONET**- European Environmental Information and Observation Network
- EPA** - Environmental Protection Agency
- EPA** – Encuesta de Población Activa
- ETC-LUSI** – European Topic Center on Land Use and Spatial Information
- GCTE** - Change and Terrestrial Ecosystems
- GLP** – Global Land Project
- GNU** – General Public License
- GUI** - Graphical User Interface
- ICSU** - International Council for Science
- IGBP** - International Geosphere-Biosphere Programme
- IHDP** - International Human Dimensions Program on Global Environmental Change
- INE** – Instituto Nacional de Estadística
- ISSC** - International Social Science Council
- JRC** - Joint Research Centre
- LTM** – Land Transformation Model
- LUCC** – Land Use / Cover Change
- MEA** - Millennium Ecosystem Assessment
- RNA** – Redes Neuronais Artificiais

**PAC** – Política Agrícola Comum

**PCM** – Percent Correct Metric

**PID** - Principle Index Driver

**PRELUDE** – Prospective Environmental Analysis of Land Use Development in Europe

**SIG** – Sistema de Informação Geográfica

**SNNS** - Stuttgart Neural Network Simulator

**TIAS** - The Integrated Assessment Society

**UNEP**- United Nations Environment Programme



## ÍNDICE DE TEXTO

AGRADECIMENTOS .....	iii
RESUMO .....	iv
ABSTRACT .....	v
PALAVRAS – CHAVE .....	vi
KEYWORDS .....	vi
ACRÓNIMOS .....	vii
ÍNDICE DE TABELAS .....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xii
1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1. Objectivos .....	5
1.2. Metodologia e técnicas utilizadas .....	5
1.3. Premissas e Hipóteses .....	6
1.4. Estrutura da dissertação .....	6
2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO .....	8
2.1. Complexidade e Avaliação Integrada do Sistema do Uso do Solo .....	8
2.1.1. Modelos de dinâmica do uso do solo .....	10
2.1.2. Cenários.....	10
2.1.3. Participação das partes interessadas.....	11
2.2. Enquadramento do surgimento dos modelos de alterações do uso/cobertura do solo .....	12
2.3. Programas Internacionais Land Use and Land Cover Changes – LUCC e Global Land Project.....	13
2.4. Classificação dos modelos LUCC .....	16
2.4.1. Modelos Urbanos LUCC - Evolucionários .....	18
3. ENQUADRAMENTO DA ÁREA DE ESTUDO .....	28
3.1 Características Físico-Geográficas .....	28
3.2. Características Sócio-Económicas .....	29
3.3. Instrumentos Legais .....	34
4. MODELAÇÃO DAS ALTERAÇÕES DO USO DO SOLO URBANO EM ANDALUZIA	37
4.1. Passo 1- Identificação das forças motoras de expansão urbana em Andaluzia e preparação dos dados .....	37
4.1.1. Forças motoras da expansão urbana.....	39
4.1.2 Preparação dos dados .....	46
4.2. Passo 2: Aplicação das Regras de Transição Espacial.....	46

4.2.1	Uso do Solo .....	47
4.2.2	Redes de transportes de Andaluzia .....	56
4.2.3	Proximidades às grandes cidades .....	61
4.2.4	Densidade Populacional.....	62
4.2.5	Características da Paisagem .....	63
4.2.6	Zonas excluídas .....	65
4.2.7	Resumo e conversão dos dados para ASCII .....	66
4.3	Passo 3: Parametrização da Rede Neuronal Artificial .....	68
4.4	Passo 4: Previsões do uso do solo urbano em Andaluzia .....	73
5.	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS.....	75
5.1.	Apresentação dos resultados.....	75
5.2.	Análise do padrão de crescimento urbano na cidade de Sevilha e Cádiz .81	
5.3.	Desempenho do Modelo.....	86
6.	CONCLUSÕES.....	89
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	91
	ANEXOS .....	101
1.	Exemplos de alguns programas que envolvem o desenvolvimento de cenários do uso do solo.....	102
2.	Exemplos de modelos LUCC: autores, classificação do modelo quanto à técnica, descrição, exemplo de aplicações do modelo, disponibilidade. ....	103
3.	Legenda do Mapa de Usos e Coberturas vegetais do uso do solo de Andaluzia .....	105
4.	Informação necessária para a RNA - Inputfile.txt .....	109
5.	Comando para criar estrutura da rede, padrão dos dados input e para treinar a rede .....	110
6.	Comandos da fase de teste .....	111
7.	LTM Stats – Resultados do PCM e coeficiente de Kappa.....	112
8.	Comandos para obter as previsões do uso do solo.....	113

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Artigos publicados sobre o <i>Land Transformation Model</i> .....	23
Tabela 2 - Explicação da formula de Kappa Statistics .....	26
Tabela 3 - Principais Indicadores da Estrutura Populacional (INE, 2008) .....	31
Tabela 4 - Principais planos regionais em Andaluzia (CMAA, 2006a) .....	36
Tabela 5 - Resumo dos métodos utilizados no pré-processamento dos dados ...	67
Tabela 6 - Resultado do PCM e coeficiente de Kappa nas provas realizadas com o LTM.....	72

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Ligação entre os principais temas da investigação do sistema do solo, desenvolvimento de cenários, modelação e participação das partes envolvidas (Adaptado de Kok, Verburg, e Veldkamp, 2007) .....	9
Figura 2 - Temas de investigação abordados no programa LUCC (Adaptado de IGBP & IHDP - LUCC Implementation Strategy, 1999) .....	14
Figura 3 - Surgimento do Global Land Project (GPL Science Plan and Implementation Strategy, 2005) .....	14
Figura 4 - Rede Neuronal Artificial Multicamadas .....	19
Figura 5 - LTM: passo 1 a 3 .....	24
Figura 6 - Formula PCM (LTM Tutorial) .....	26
Figura 7 - Coeficiente de Kappa (LTM Tutorial).....	26
Figura 8 - Equação PID, (Pijanowski, et al. 2002a).....	27
Figura 9 - LTM: passo 4.....	27
Figura 10 - Províncias de Andaluzia, Consejeria del Medio Ambiente de Andaluzia (CMAA, 2008) .....	28
Figura 11 - Gráfico da Variação relativa da população em Espanha e Andaluzia, INE, Padrón Municipal (INE, 2008).....	30
Figura 12 - Gráfico da distribuição da população por sectores de actividad, INE, Encuesta de Población Activa (INE, 2008).....	32
Figura 13 - Mapas de Uso do solo Andaluzia referentes aos anos 1987, 1995 e 2003, (CMAA, 2006f) .....	48
Figura 14 - Mapa de Uso do solo urbano, Sevilha, 1987, 1995 e 2003 (CMAA, 2006f).....	50
Figura 15 - Mapas da Proximidade ao uso do solo urbano, Andaluzia 1987 e 1995 (CMAA, 2006f). .....	51
Figura 16 - Mapas da Proximidade aos espaços recreativos, 1987 e 1995 (CMAA, 2006f).....	52
Figura 17 - Mapas de densidade de ocupação do solo Agrícola, em Andaluzia, 1987 e 1995 (CMAA, 2006f).....	54
Figura 18 - Mapas de densidade de ocupação do solo Florestal em Andaluzia, 1987 e 1995 (CMAA, 2006f).....	55
Figura 19 - Mapas de caracterização da rede viária em Andaluzia (COPT, 2006) .....	59

Figura 20 - Mapas de caracterização da rede Ferroviária em Andaluzia (COPT, 2006).....	60
Figura 21 - Distância aos Aeroportos em Andaluzia, 1987 (COPT, 2006) .....	61
Figura 22 - Mapas da Distância às grandes cidades (mais de 250 000 hab.) em Andaluzia 1991 e 2001 (INE, 1991 e 2001).....	62
Figura 23 - Mapas de Densidade Populacional (Hab./km <sup>2</sup> ) em Andaluzia, 1991 e 2001 (INE 1991 e 2001).....	63
Figura 24 - Proximidade às superfícies de água (Fonte: CMAA, 2006).....	64
Figura 26 - Zonas Excluídas – Zonas Urbana (1987/1995 e 1003), corredores de transportes (1987 e 2003), superfícies de água, Natura 2000, Património .....	66
Figura 27 - Exemplo de uma estrutura de rede com nove variáveis usada no caso prático .....	68
Figura 28 - Alterações reais do uso do solo urbano em Andaluzia entre 1987 e 2003 .....	70
Figura 29 - Alterações do Uso do Solo Urbano em Andaluzia, entre 1987 e 2003 – Resultado obtido a partir do LTM.....	71
Figura 30 - Gráfico de comparação do PCM, entre o período de 1987 – 2003 e 1995-2003.....	75
Figura 31 - Probabilidade de Alterações do Uso do Solo Urbano em Andaluzia entre 1987 e 2003 – Resultados obtidos a partir do LTM, prova 9 .....	76
Figura 32 - Mapa de erros do resultado de previsão de alteração do uso do solo urbano entre 1987 e 2003 .....	77
Figura 33 - Mapa de previsões de alterações do uso do solo urbano para 2019.....	80
Figura 34 - Mapa de avaliação do resultado obtido a partir do LTM, Sevilha, 1987-2003.....	81
Figura 35 - Mapa de avaliação do resultado obtido a partir do LTM, Cádiz, 1987-2003 .....	82
Figura 36 - Mapa de evolução do uso do solo urbano em Sevilha– 1987 a 2019.....	84
Figura 37 - Mapa de evolução do uso do solo urbano em Cádiz– 1987 a 2019 .....	85
Figura 38 - Gráfico de percentagem das probabilidades de alteração do uso do solo urbano.....	87

## 1. INTRODUÇÃO

Antes de iniciar o tema deste estudo, interessa referir que este trabalho foi desenvolvido com a colaboração do Centro Temático Europeu do Uso do Solo e Informação Espacial – ETC-LUSI.

O ETC-LUSI é um consórcio internacional que presta assistência à Agência Europeia do Ambiente – AEA. Faz parte do “*Environmental Information and Observation Network*” - EIONET e dá suporte a outros parceiros. As suas actividades têm um importante componente de relações com vários peritos dos países membros tendo como base a harmonização, qualidade e intercâmbio de dados. Por outro lado, o ETC-LUSI presta permanentemente apoio a estudantes que desenvolvem trabalhos de investigação relacionados com as actividades do centro. Tendo em conta que uma forte componente dos projectos realizados pelo centro é desenvolvida em SIG, este grupo acolheu-me durante um ano para realizar a tese de mestrado em Ciência e Sistemas de Informação Geográfica.

O crescimento e desenvolvimento das cidades que se tem verificado nas últimas duas décadas são responsáveis pelas grandes alterações a nível social, cultural, político e económico.

Associado a este crescimento surgem problemas ambientais como a perda de biodiversidade degradação do ambiente, aceleração das mudanças climáticas, levando a que a população se sinta inquieta face à Globalização.

Em resposta a estes desafios ambientais, surge um conceito apresentado pela Comissão Mundial do Ambiente e Desenvolvimento em 1987, que pretende que o “*desenvolvimento dê resposta às necessidades do presente sem comprometer as necessidades das gerações futuras*” (EEA, 2008<sup>a</sup>). Este conceito é conhecido globalmente por Desenvolvimento Sustentável e traduz-se na necessidade de uma melhor compreensão da complexidade e interdependências dos sistemas sócio-económicos e ambientais, apelando para a mudança na forma como a própria sociedade aborda temas sociais, económicos e ambientais futuros. (Gheorghe e Henrichs, 2007).

Por parte dos políticos, vêem-se muitas vezes obrigados a tomar decisões tendo como pano de fundo um futuro incerto. Estas incertezas levam à necessidade de abrir uma variedade de percursos futuros plausíveis e possíveis respostas, para ajudar na tomada de decisões sólidas e conseqüentemente um planeamento

A grande complexidade em projectar e implementar acções a longo prazo deve-se, por um lado, ao facto de que decisores políticos enfrentam desafios diferentes dos do passado devido às rápidas mudanças das tendências sócio-económicas e por outro lado, os ciclos políticos são demasiados pequenos para que se equacione medidas a longo prazo.

O principal papel da Agência Europeia do Ambiente (AEA) é fornecer informação aos decisores políticos e ao público em geral sobre de que forma é que as actividades sócio-económicas estão a conduzir essas mudanças e sobre as políticas que tem mais sucesso na mitigação dos impactos negativos. Perante os vários processos e avaliações surge a necessidade crescente de não só compreender melhor o que está a acontecer, como também reflectir sobre as perspectivas futuras para as alterações ambientais (EEA, 2007).

A recente análise da AEA mostra que o solo está a tornar-se num recurso escasso. Na década de 90, cerca de 800 000 ha de solo foram convertidos para cobrir superfícies artificiais. Cerca de 75% da população Europeia vive nas áreas urbanas e aponta-se que em 2020 essa percentagem aumentará para os 80%. Por um lado, surgiram novas zonas residenciais ou novos centros urbanos, por outro, as zonas costeiras sofreram uma forte ocupação nas últimas décadas. Esta expansão tem ocorrido de uma forma dispersa por toda a Europa.

Acoplado a estes factos a natureza da expansão urbana das cidades Europeias, envolve preocupações pertinentes uma vez que os maiores impactos são evidentes no crescimento do consumo de energia, terra e solo. Esses impactos ameaçam tanto os ambientes naturais e rurais, o aumento da emissão de gases de efeito de estufa que causam as mudanças climáticas e a elevada poluição atmosférica e sonora que muitas vezes excedem os limites acordados da segurança urbana (EEA, 2006). Estes problemas induzem a que a Agenda Territorial da União Europeia disponha de um importante link com o desenvolvimento urbano.

Só um cuidado extremo com o Ordenamento do Território, desenvolvimento urbano e rural, pode evitar comprometer a produção agrícola, da biodiversidade, da energia e da segurança, das aspirações do protocolo de Quioto e da Agenda de Lisboa.

Os decisores políticos, planeadores ao nível local, regional, nacional, europeu e o público em geral, tem uma preocupação acrescida relativamente à organização do espaço, especificamente no que se referem aos aspectos vitais que envolvem as alterações do uso do solo tais como o desenvolvimento social, económico, cultural e ambiental. Questões como *What is Where?*, *What's Changing where?* e *What will be there?* são constantemente colocadas como suporte para a tomada de decisão (Stillwell e Scholten, 2001).

De modo geral, verifica-se que o tema das alterações do uso do solo, levanta preocupações pertinentes ao nível social. No entanto, como seria de esperar, quanto mais se explora e especula mais interesse suscita na comunidade científica.

Uma ferramenta frequentemente utilizada como apoio à tomada de decisão são as previsões. Segundo Kenneth C. Land e Stephen H. Schneider (1987), as previsões "[...] is an estimation or calculation of future events or developments, derived from a model, simple or complex, heuristic or analytic." Por outras palavras, "pertains to the formation of expectations about future states or processes of specific historical entities" (Kenneth e Schneider, 1987).

No entanto, o problema que envolve esta questão, vai para além da sua praticabilidade. Ou seja, a dificuldade em fazer previsões com elevado grau de precisão, acrescida da complexidade de relacionar variáveis de ciências sociais e naturais, leva à necessidade de desenvolver cenários futuros que representem diferentes linhas de desenvolvimento. Embora o objectivo último das previsões seja produzir uma única situação, quando surgem incertezas ou a existência de variáveis imprevisíveis, pode ser útil e certamente mais prático especificar cenários plausíveis do futuro. Deste modo, é possível avaliar a sensibilidade de algumas variáveis preditivas e demonstrar diferentes cenários de desenvolvimento com base em diferentes pressupostos (Kenneth e Schneider, 1987), respondendo à questão "What If?" (Couclelis 2005 IN Verburg, 2005).

As previsões são frequentemente utilizadas nas ciências sociais e naturais como guia para suporte de tomada de decisão. A amplitude do campo das aplicações é extensa abrangendo a Geofísica, Biologia, Ambiente, Economia, Demografia, entre outras.

Com tantas aplicações de previsões, é natural que existam várias técnicas para prever o futuro. No entanto, existe um pequeno número de ferramentas que<sub>3</sub>



são comuns a quase todos os métodos de previsões, visto que os princípios subjacentes das previsões são idênticos (Diebold, 1998).

A modelação de previsões do uso do solo pode ser entendida como uma ferramenta para o planeamento, que integra um modelo numérico que utiliza dados espacialmente distribuídos para simular a dinâmica da paisagem.

Em 2000 surgiu o primeiro programa internacional que tinha como objectivo compreender as mudanças de dinâmicas do uso e da ocupação do solo e as suas relações com a mudança ambiental global.

*Land Use and Land Change Cover has important impacts on the functioning of socioeconomic and environmental systems with important tradeoffs for sustainability, food security, biodiversity and the vulnerability of people and ecosystems to global change impacts. Land use change includes the modification of land cover types, e.g. intensification of agricultural management or other changes in the farming system. Land use and land cover changes are the result of the interplay between socio-economic, institutional and environmental factors (Lesschen et al., 2005).*

Nas últimas décadas tem surgido uma vasta gama de modelos LUCC para dar resposta às necessidades de gestão do solo e para melhor avaliar e prever as futuras alterações do uso do solo.

A modelação é uma técnica importante para a projecção de percursos alternativos para o futuro, para a condução de experiências que prova o nosso entendimento de processos chave e para descrever estes processos em termos quantitativos. Os modelos LUCC representam uma parte da complexidade dos sistemas do uso do solo. Estes modelos oferecem a possibilidade de testar a sensibilidade dos padrões de uso do solo às mudanças das variáveis seleccionadas, permitindo paralelamente testar a estabilidade dos sistemas ecológicos e sociais através da construção de diferentes cenários.

Um dos pré-requisitos para o desenvolvimento de modelos realistas LUCC é a identificação das forças motoras (variáveis) que influenciam as alterações do uso do solo e encontrar a melhor forma de representar essas forças motoras num modelo. Para que uma projecção seja credível, todos os processos intervenientes devem estar dinamicamente ligados. Outro facto importante é a questão da escala de dependência das variáveis explicativas das LUCC, ou seja, é essencial

compreender a forma como a grelha de análise de modelação afecta os resultados.

Um segundo requisito é a necessidade de distinguir entre projecções de quantidade e a localização das alterações. Por um lado, há modelos que estão centrados na predição de taxas (ou quantidades) de mudança, por outro, há modelos que dão mais ênfase aos padrões espaciais (Veldkamp e Lambin, 2001).

### **1.1. Objectivos**

Este estudo tem como principal objectivo o desenvolvimento de um modelo de alterações do uso do solo, mais especificamente do solo urbano, à escala regional.

Este objectivo geral pode decompor-se em 4 objectivos específicos:

- Rever a literatura sobre previsão da alteração do uso do solo urbano e identificar os principais modelos à escala regional;
- Identificar as forças motoras da expansão urbana;
- Avaliar a eficácia do *Land Transformation Model* para prever a localização das alterações do solo urbano, à escala regional entre 1987 a 2003 e 1995 a 2003;
- Projectar as alterações do uso do solo urbano em Andaluzia para o ano 2019.

### **1.2. Metodologia e técnicas utilizadas**

Este estudo partiu de início com uma revisão da literatura teórica e metodológica. Esta pesquisa foi fundamental para o entendimento da necessidade do estudo da expansão urbana, para a revisão do estado de arte da modelação das dinâmicas do uso do solo e para a identificação das forças motoras da expansão urbana.

Para a segunda parte da tese, dedicada à aplicação do caso de estudo, recorreu-se ao *Land Transformation Model* (LTM), uma ferramenta disponibilizada na página do LTM (LTM, 2008) sob a licença pública geral GNU. Esta ferramenta oferece métodos de avaliação e análise através de um processo de parametrização flexível utilizando tecnologias de Sistemas de Informação Geográfica e um motor de aprendizagem, especificamente algoritmos de Rede

Neuronal Artificial (RNA). Para a realização dos mapas temáticos diversos, para o processamento e o pós-processamento foi utilizado o software SIG, ArcGIS 9.2, Versão ArcInfo. Para a aprendizagem dos padrões de desenvolvimento, foi utilizada a tecnologia das Redes Neurais para determinar a natureza de interações espaciais das forças condutoras.

### **1.3. Premissas e Hipóteses**

- Existência de causalidade entre as variáveis preditivas e a ocorrência de alteração do uso do solo urbano, ou seja, o pressuposto de que os dados disponíveis possuem em si o padrão explicativo de ocorrência da alteração do uso do solo urbano.
- Pressuposto de que as alterações do uso do solo deverão ser modeladas com base num modelo não linear.
- Pressuposto de que as redes neurais artificiais são capazes de descobrir conhecimento e descobrir o padrão de ocorrência de alteração do uso do solo.

### **1.4. Estrutura da dissertação**

De forma a apresentar uma estrutura lógica e coerente a presente dissertação foi dividido em seis capítulos.

O primeiro capítulo refere-se à introdução, objectivos, metodologia aplicada e premissas.

A segunda parte refere-se ao enquadramento geral e encontra-se dividida em quatro sub-capítulos. No primeiro faz-se o enquadramento teórico do tema focando a complexidade e avaliação integrada do sistema do uso do solo, no segundo o enquadramento histórico dos modelos, no terceiro aborda-se os programas de investigação internacional LUCC e por último a classificação e inventários de modelos LUCC, realçando a classe de modelo que será aplicado no caso de estudo.

O terceiro capítulo refere-se ao enquadramento da área de estudo. Este capítulo tem como objectivo fazer uma breve apresentação da área de estudo, sobre o ponto de vista físico-geográfico, socio-económico e instrumentos legais. A decisão da escolha da área de estudo recaiu na Andaluzia, essencialmente por duas razões: disponibilidade e qualidade dos dados.

O quarto capítulo refere-se à aplicação prática de um modelo de alterações do uso do solo em Andaluzia.

O quinto capítulo refere-se à apresentação e discussão dos resultados obtidos e limitações do modelo.

Por último, o sexto capítulo refere-se às conclusões do estudo.

## 2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO

Ao longo deste capítulo pretende-se fazer uma revisão do enquadramento teórico da modelação do uso do solo no contexto da avaliação integrada do sistema do uso do solo, da história da aplicação de modelos do uso do solo, dos principais programas internacionais de alterações do uso do solo, da classificação dos modelos de alterações do uso/cobertura do solo focando especialmente a classe de modelos evolucionários.

### 2.1. Complexidade e Avaliação Integrada do Sistema do Uso do Solo

Em geral, as mudanças do uso do solo envolvem uma rede de factores multidisciplinar muito complexa (Naveh 1989, in Wardell, Reenberg, Olsen & Harpoth).

Segundo Parker (2005), a complexidade do sistema do uso do solo envolve “... *as dynamic systems that exhibit recognizable patterns of organization across spatial and temporal scales*” (Parker et al., 2008):

- A complexidade espacial está por um lado relacionada com a correlação que um determinado tipo de uso do solo tem em relação a outro. Um tipo de solo pode ser mais provável a alterar do que um tipo de solo vizinho. Nessas situações, pesa questões como a difusão da tecnológica, o fluxo de informação economia de escala, concorrência espacial, repercussões negativas ou externalidade e repercussões ecológicas. Outro tipo de complexidade espacial é quando dois tipos de usos de solo apresentam as mesmas características espaciais (topografia, clima, acessibilidade, regras políticas), motivando a integração de dados a diferentes escalas.
- A complexidade temporal relaciona-se por um lado com o crescimento ou declínio da população (humana e animal), a degradação do solo, a retenção do nível de carbono, a erosão, as tendências sociais e o investimento financeiro. Esse crescimento e decaimento levam a uma autocorrelação temporal. Por outro lado, a modelação pode requerer a informação de períodos anteriores e no caso de processos difusos no espaço pode exigir incluir o desfasamento a nível temporal e espacial (espécies colonizadas). Outra complexidade temporal relaciona-se com o facto de existirem diferentes condições num determinado período de

#### Enquadramento Teórico

tempo o que pode levar a resultados muito diferentes no espaço. Por outro lado, alguns dos comportamentos do homem e dos animais são a pensar no futuro como, por exemplo, o armazenamento de alimentos, rotação das culturas, etc.

- A complexidade dos comportamentos está relacionada com o facto de existirem diferentes actores, múltiplos objectivos, expectativas, estratégias, motivações e interconectividade dos agentes nos domínios sociais, económico, ecológico e redes.

Os objectivos actuais da investigação do sistema do uso do solo seguem uma abordagem integrada na qual os modelos e cenários são desenvolvidos em estreita interacção com as partes interessadas. A aproximação segue uma abordagem espacialmente explícita, a exploração de dinâmicas temporais e metodologias que envolvam a participação das partes interessadas nomeadamente na projecção de cenários como apoio à decisão. Desta forma é possível garantir o desenvolvimento de ferramentas adequadas para abordar questões relevantes para os interessados (Figura 1).

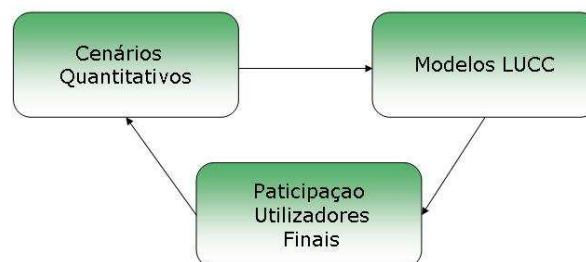


Figura 1 - Ligação entre os principais temas da investigação do sistema do solo, desenvolvimento de cenários, modelação e participação das partes envolvidas (Adaptado de Kok, Verburg, e Veldkamp, 2007)

Os trabalhos que têm sido desenvolvidos tem resultado num grande número de ferramentas, modelos altamente evoluídos, facilmente disponíveis e fáceis de usar. No entanto, essa grande diversidade, leva muitas vezes a abordagens divergentes comprometendo o objectivo global de reforçar um Sistema Integrado de Avaliação do Sistema do Uso do Solo (Kok, Verburg, e Veldkamp, 2007).

Actualmente a preocupação da comunidade científica é ao invés de existirem diversas abordagens, tentarem aproximá-las (Kok, Verburg, e Veldkamp, 2007). Mais do que uma aproximação, é necessário uma integração dos diferentes

métodos, uma vez que até ao momento não foi possível representar a complexidade do uso do solo num único modelo. Neste sentido, a complementaridade das abordagens centra-se na integração de modelos e não em continuar a desenvolver modelos simples e independentes (Castella e Overmars, IN Kok, Verburg, e Veldkamp, 2007).

### **2.1.1. Modelos de dinâmica do uso do solo**

A modelação é um dos métodos dentro das diversas ferramentas disponíveis para desvendar a dinâmica do sistema do uso do solo. A aplicação desta ferramenta tem sido tão amplamente usada que marcou a mudança da abordagem da análise do sistema do solo.

A modelação da dinâmica do uso do solo tem despertado nos últimos anos grande importância não só ao nível de investigação como também ao nível social e político. Tendo sempre como base o passado histórico e o presente, estes modelos apresentam um ponto em comum: simular a dinâmica da paisagem para o futuro a multi-escala, com base em cenários plausíveis (Kok, Verburg, e Veldkamp, 2007).

Segundo Lambin et al, (2000) esta técnica é especialmente importante nas seguintes condições (Lambin, 2000):

- Projecção de cenários, explorando caminhos alternativos do futuro;
- Para conduzir experiências e testar o nosso entendimento para os processos chave, descrevendo em termos quantitativos, ou seja, oferecem a possibilidade de testar a sensibilidade dos padrões do uso do solo segundo as variáveis seleccionadas.

### **2.1.2. Cenários**

Nos estudos ambientais os cenários "*... are descriptions of journeys to possible futures. They reflect different assumptions about how current trends will unfold, how critical uncertainties will play out, and what new factors will come into play*". Segundo a *United Nations Environment Program* (UNEP, 2002, IN ICIS, 2005).

A AEA por sua vez, adoptou a definição do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) "*A plausible description of how the future may develop, based on a coherent and internally consistent set of assumptions about key relationships and driving forces (e.g. rate of technology changes, prices). Note that*

*scenarios are neither predictions nor forecast.*" (EEA, 2008b)

O ponto chave nesta definição é que um cenário inclui não só o estado da visão futura, como também o caminho de hoje para especificar o futuro. Ou seja, os cenários são ferramentas para avaliar não são o futuro como também os problemas ambientais correntes ou a futura emergência de novos problemas.

Segundo Alcamo, 2001, os cenários podem ser usados para (Alcamo, 2001):

- Fornecer uma imagem dos futuros possíveis do estado do ambiente. Desta forma é possível identificar os impactes da sociedade sobre o ambiente servindo como argumento para repensar as políticas ambientais preventivas.
- Sensibilizar para o inter-relacionamento de diferentes problemas ambientais no futuro.
- Ilustrar diferentes percursos políticos para alcançar um objectivo ambiental.
- Combinar informação quantitativa e qualitativa sobre a futura evolução de problemas ambientais.
- Identificar políticas robustas com base em condições futuras distintas.
- Ajudar os políticos, planeadores e o público envolvido a pensar sobre o problema a longo prazo, ou seja, numa escala de tempo alargada e diferentes escalas espaciais.
- Sensibilização sobre a emergência de novos ou intensificação dos problemas ambientais durante as próximas décadas.

Vários projectos ao nível da União Europeia desenvolveram cenários para previsões do futuro uso do solo, como por exemplo, o PRELUDE – *Prospective Environmental Analysis of Land Use Development in Europe*, o SENSOR – *Sustainability Impact Assessment of Land Use Changes*, o FORESCENE – *Development of a Forecasting Framework and Scenarios to Support the EU Sustainable Development Strategy*, entre outros (Anexo 1).

### **2.1.3. Participação das partes interessadas**

Geralmente o grupo das partes interessadas é composto por altos representantes de organismos públicos, comunidade científica e algumas



vezes por público em geral.

No caso específico do PRELUDE, desde o início do projecto que contou com um diversificado painel em termos de interesses e perspectivas. Foram selecionados cerca de trinta especialistas de toda a Europa com diferentes perfis: políticos, investigadores, modeladores, representantes de grupos de interesse e outros interessados. Este grupo foi coordenado para identificar incertezas chave, identificar as forças motrizes e ajudar a desenvolver os cenários.

## **2.2. Enquadramento do surgimento dos modelos de alterações do uso/cobertura do solo**

Nas últimas duas décadas, têm surgido vários modelos para dar resposta às necessidades e projectar o futuro desenvolvimento das alterações do uso do solo de forma equilibrada (Veldkamp e Lambin, 2001).

A modelação e previsão da expansão urbana deu os primeiros passos em 1950 e mostrou menor actividade nas décadas de 70 e 80, sendo revigorado em 1990 graças à melhoria e disponibilidade de dados espaciais e ao avanço das novas tecnologias geográficas. Foram surgindo vários pontos de vista dos sistemas urbanos que levaram a uma variedade de teorias e diferentes modelos de crescimento. (Wegener, 1994 e Southworth, 1995 IN Allen e Lu, 2003).

Von Thunen (1926)<sup>1</sup> (Lesschen, et al, 2005) foi o primeiro a desenvolver um modelo de uso do solo agrícola que mostrasse como os processos do mercado poderiam determinar os diferentes usos do solo. Este estudo teve como objectivo analisar a localização do solo agrícola em função da distância aos centros de mercado e custo de transporte. Segundo Thunen a densidade da agricultura decrescia com o aumento da distância aos centros de mercado. Apesar desta teoria por de lado algumas questões importantes como a biofísica, sócio-económicos e outros factores que influenciam as alterações do uso do solo, este estudo foi um importante alicerce para o desenvolvimento da teoria do uso do solo. Mais tarde, o modelo foi adaptado no sentido de incluir as diferenças da produtividade dos terrenos, os preços e custos de transporte. Através da introdução destas variáveis a análise tornou-se mais complexa, no entanto, este

---

1 O modelo de J.H. Von Thunen (1783-1850), foi desenvolvido em 1926 mas so foi traduzido para Ingles em 1966.

modelo contribuiu com a ideia básica da importância da localização e dos custos de transportes (Alonso, 1964 e Nelson, 2002 IN Lesschen, et al, 2005).

Apesar das diversas aplicações do modelo em outros estudos e do contributo de outras disciplinas para o desenvolvimento da análise teórica do uso do solo, como a “nova” teoria económica de Krugman (Krugman, 1999 IN Lesschen, et al, 2005), não existe uma única teoria para explicar a variedade de padrões do uso do solo. Por isso, existem diferentes métodos empíricos frequentemente usados para explorar os dados do uso do solo e encontrar evidências para as causas das alterações do uso do solo e a sua localização (Lesschen, et al, 2005).

Nos últimos anos, a principal preocupação surge no sentido de melhorar a modelação de fenómenos complexos e os Autómatos Celulares atingem o seu auge.

Segundo Allen e Lu (2003), a modelação urbana e previsão da expansão permanecem ainda em grande medida à margem dos estudos da área urbana e necessitam de uma maior exploração. As práticas de modelação bem sucedidas estão ainda a ser notificadas. Se por um lado se produzem modelos cada vez mais robustos e inovadores sobre a dinâmica urbana, a sua utilização restringe-se quase exclusivamente a fins académicos devido ao elevado grau de complexidade da interpretação dos dados.

### **2.3. Programas Internacionais Land Use and Land Cover Changes – LUCC e Global Land Project**

O primeiro grande programa internacional, *Land Use and Land Cover Changes - LUCC* surgiu em 2000 e terminou em 2005. Este programa interdisciplinar foi desenvolvido pelo *International Geosphere-Biosphere Program (IGBP)* e *International Human Dimensions Program on Global Environmental Change (IHDP)*, com o suporte financeiro de *International Council for Science (ICSU)*, *International Social Science Council (ISSC)*, *National Science Foundation (USA)*, *German Ministry for Science, Research and Technology*, e *The Netherlands*.

LUCC teve como principal objectivo compreender as mudanças de dinâmicas do uso e da ocupação do solo e as suas relações com a mudança ambiental global. Os temas chave abordados na agenda LUCC foram os seguintes (LUCC, 1999) (figura 2):

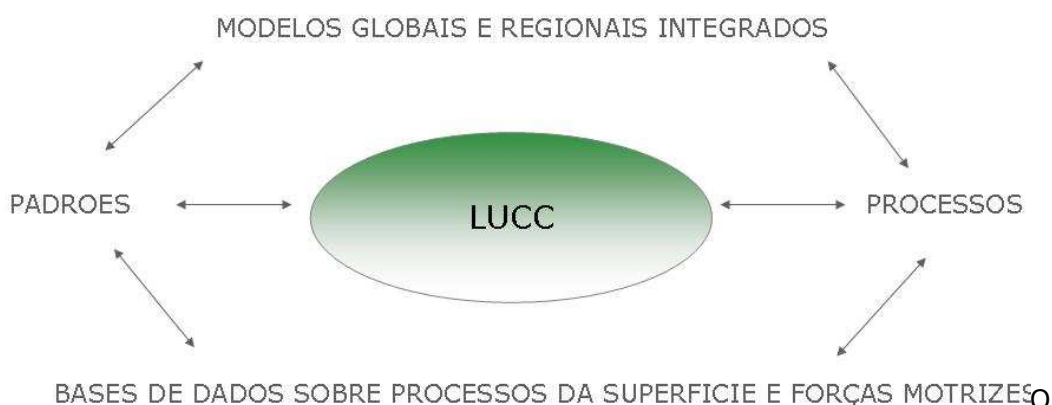


Figura 2 - Temas de investigação abordados no programa LUCC (Adaptado de IGBP & IHDP - LUCC Implementation Strategy, 1999)

- Dinâmicas do uso do solo – análises comparativas de diferentes casos de estudo;
- Dinâmicas de ocupação do solo – observações empíricas e modelos de diagnóstico;
- Modelos regionais e globais integrados;
- Desenvolvimento de uma base de dados sobre a superfície do solo, biofísica e suas forças motoras.

Este programa terminou em 2005 e surgiu um novo programa que resultou da fusão do LUCC com o Global Change and Terrestrial Ecosystems (GCTE): *Global Land Project*.

O principal objectivo deste novo projecto é a *Terra-Centric*. Inclui pessoas, factores bióticos e recursos naturais (ar, água, plantas, animais e solo). A estratégia apresentada "...here critically emphasizes changes in the coupled human and environmental system."(GLP) (figura 3).

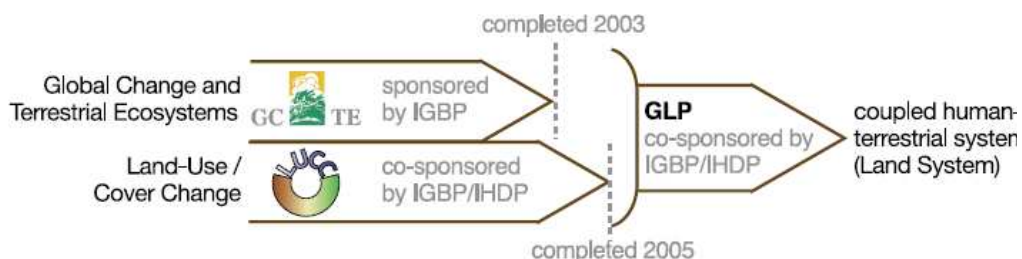


Figura 3 - Surgimento do Global Land Project (GPL Science Plan and Implementation)<sup>14</sup>

GLP enfatiza essencialmente três aspectos destas interacções:

- As dinâmicas das alterações sistema da terra: identificar os agentes, estruturas e natureza das mudanças entre os sistemas Homem-Ambiente no solo e quantificar os efeitos;
- As consequências das alterações do uso do solo: dependem de certa forma do modo como as acções do homem afectam os ecossistemas, bem como as repostas sociais face mudanças globais.
- Análise integrada e modelação: o estudo dos serviços fornecidos pelos ecossistemas é essencial para avaliar o efeito sobre a actividade humana, bem como as oscilações dos ecossistemas, especialmente as que são consequência das mudanças climáticas.

O principal foco é afectar a tomada de decisão, a gestão do uso do solo, os efeitos no ecossistema e dinâmicas ambientais, o mantimento dos serviços ligados aos ecossistemas e a avaliação da vulnerabilidade do sistema da terra face às mudanças ambientais globais ou a sustentabilidade apesar dessas mudanças.

Do mesmo modo, modelos (a nível global) foram desenvolvidos pela comunidade TIAS<sup>2</sup>, dando particularmente destaque ao impacto das mudanças do uso do solo sobre as mudanças climáticas e vice-versa.

A forte ênfase no uso das ferramentas de modelação para entender a complexidade do sistema e integrar as dimensões sociais e ambientais das mudanças do uso do solo tem gerado um amplo espectro de diferentes abordagens de modelação abrangendo diversas escalas e metodologias (Kok, Verburg e Veldkamp, 2007).

Estas participações resultaram em inúmeros artigos e livros publicados como, por exemplo: Haberl et al., 2004; Veldkamp e Verburg, 2004; Verburg e Veldkamp, 2005, e Parker et al., 2003; Verburg et al., 2006b.

---

2 TIAS é um consorcio do European Forum on Integrated Environmental Assessment (EFIEA)

## 2.4. Classificação dos modelos LUCC

A questão que se levanta quando procuramos um modelo que melhor represente o problema em causa é qual a ferramenta mais adequada para o caso que pretendemos modelar.

Anteriormente foi referido que ao longo dos últimos anos têm surgido diversos tipos de modelos de LUCC. No entanto, apesar de em todos eles podermos encontrar finalidades e objectivos comuns, existem diversas aproximações metodológicas, umas mais conhecidas do que outras. Neste ponto o principal objectivo é fazer uma revisão geral das diversas classes de modelos LUCC e posteriormente referenciar com alguns exemplos de modelos.

A classificação dos modelos tem sido uma tarefa árdua devido à sobreposição de técnicas utilizadas, sobretudo com relação à perspectiva da aplicação de cada modelo (Cabral, 2006).

Têm surgido diversas tentativas de classificação de modelos LUCC: Wilson (1974), Batty (1976), Issaev et al. (1982), Stahl (1986) (In Briassoulis, 2000). Recentemente surgiram outras classificações, uma abordagem referida por Briassoulis, H. em 2000 e outra por Parker et al. em 2003.

A abordagem apresentada neste estudo segue a classificação de Parker et al. 2003 e encontra-se dividida em oito categorias (Parker et al. 2003).

- Modelos baseados em equações: os modelos baseados em equações são modelos matemáticos que prevêem uma solução estática ou um sistema equilibrado. O inconveniente destes tipos de modelos é que o facto de utilizarem uma solução numérica ou analítica, limitando a complexidade deste tipo de modelos. Neste sentido estes modelos devem ser combinados com outros tipos de modelos.
- Modelos de sistema: são modelos que representam as reservas do fluxo de informação, materiais ou energia utilizando equações diferentes relacionadas com a estrutura de dados e intermediários (Gilbert e Troitzsch, 1999 in Parker et al. 2003). Estes tipos de modelos podem representar as interacções ecológicas e humanas, no entanto apresentam alguma dificuldade em acomodar as relações espaciais (Baker 1989; Sklar e Costanza 1991, in Parker et al. 2003).
- Modelos baseado em técnicas estatísticas: é uma das técnicas mais

conhecidos na abordagem de modelação LUCG devido a sua aceitação e facilidade de utilização. Incluem uma variedade de técnicas de regressão aplicadas ao espaço e de técnicas específicas da estatística espacial (Ludeke et al., 1990; Mertens e Lambin, 1997, in Parker et al. 2003). A grande fragilidade das técnicas estatística é que se não estão vinculados a um quadro teórico podem ignorar as tomadas de decisões e fenómenos sociais. A Econometria espacial fornece exemplos bem sucedidos de como aliar a estatística à teoria (Chomitz e Gray 1996; Geoghegan, Wainger, e Bockstael 1997; Geoghegan et al. 1998; Leggett e Bockstael 2000 in Parker et al. 2003).

- Modelos Periciais: utiliza o conhecimento de peritos com técnicas de probabilidade como a probabilidade *Bayesian* (Eastman, 1999 in Parker et al. 2003). No entanto, pode ser difícil incluir todos os aspectos do problema provocando incoerências no processo de modelação.
- Modelos Evolucionários: este tipo de abordagem é inspirado no paradigma da evolução biológica no domínio da inteligência artificial. Dentro desta classe de modelos estão incluídas as Redes Neurais Artificiais e Programação Evolutiva.
- Modelos Celulares: são modelos dinâmicos, que pode ser entendidos como um sistema espacial relativamente simples no qual o estado de cada célula de uma matriz depende do estado anterior das células que se enquadrem dentro de uma vizinhança pré-definida de acordo com um conjunto de regras de transição.
- Modelos Híbridos: estes modelos são a combinação dos modelos de autómatos celulares com outras técnicas como, por exemplo, técnicas estatísticas (Hall et al, 1995 in Parker et al. 2003), modelos de sistemas (Mladenoff, 2004 in Parker et al. 2003), entre outros.
- Modelos Baseados em Agentes: estes modelos focam a acção do homem, colocando os agentes como componente crucial. Os agentes representam geralmente pessoas, animais e organizações (Janssen 2000 in Parker et al. 2003). As principais características que definem os modelos baseados em agentes são: autónomos, ou seja, os agentes têm o controlo sobre o estado interno no intuito de alcançar um objectivo e compartilham um ambiente através da interacção e comunicação, tomando decisões que se

relacionam com o meio ambiente.

- Modelos Multi-agentes: são usados para análise espacial e modelam não só as diferentes entidades envolvidas como, por exemplo, agentes de apoio à decisão como também a área geográfica em causa, como por exemplo, agentes fornecedores da informação nos quais incorporam os SIG. Segundo Ferber, 1994, os sistemas multi-agentes são excelentes ferramentas para reflectir comportamentos complexos e diferenciados, com o objectivo de estudar as conseqüências globais que resultam dos processos de interacção.

Segundo Cabral (2006) os modelos que melhor se adaptam à modelação urbana são os modelos baseado em autómatos celulares (CA), os modelos híbridos (MH) e os modelos multi-agentes (MAS), (Cabral, P. 2006).

Dentro deste tipo de classificação existem diversos modelos LUCC. Estas ferramentas distinguem-se não só pela técnica utilizada como também por outros temas como a escala espacial e temporal, pelo tipo de output, pela facilidade de aplicação dos modelos e pela disponibilidade.

Para este estudo, procurou-se inventariar alguns modelos LUCC. Este inventário resultou de uma tentativa de colectar informação de alguns dos modelos LUCC. Para esta recolha recorreu-se a alguns inventários de modelos realizados anteriormente, tais como: inventário de modelos LUCC da Agência de Protecção do Ambiente norte-americana - EPA (2000), inventário de ferramentas de modelação elaborado pela Agência Europeia do Ambiente - AEA e comparação de métodos de validação de diversos modelos de Pontius et al. (2007). Devido à grande variedade de modelos disponíveis nestes estudos, optou-se por restringir a apenas alguns dos modelos LUCC que até ao momento são mais referidos pela participação em projectos europeus ou pela técnica utilizada (Anexo 2).

#### **2.4.1. Modelos Urbanos LUCC - Evolucionários**

Apesar da grande diversidade de modelos, neste estudo procurou-se explorar outra classe de modelos urbanos LUCC, classificados por Parker como modelos Evolucionários. Os modelos inspirados na evolução biológica têm revelado nos últimos anos uma evolução crescente na aplicação à modelação da complexidade das alterações do uso do solo nomeadamente no que se refere à modelação urbana.

#### Enquadramento Teórico

As Redes Neurais Artificiais são uma ferramenta poderosa que usam um motor de aprendizagem para quantificar e modelar o comportamento e padrões complexos (Pijanowski, 2002 (a)).

As Redes Neurais Artificiais são constituídas por um conjunto de elementos de processamento simples, designadas unidades ou neurónios, cuja funcionalidade é inspirada no conhecimento que a ciência tem sobre o funcionamento do cérebro humano. As RNA são programas de computador criados para simular o processo de aprendizagem humano através do estabelecimento e reforço de ligações entre dados de entrada e de saída (Campbell, 1996, in Maximo e Fernandes, 2006).

Tal como o cérebro humano uma RNA também consiste num conjunto de conexões entre eles. Os neurónios transportam informação de input e passam a outros neurónios através das suas conexões de output, no entanto nas RNA estas conexões são designadas por pesos e ponderações (Bação, 2006).

Os algoritmos de treino de uma RNA calculam os pesos para os valores de input ( $I_1, I_2, I_3, I_4, I_{\dots}$ , da figura 4), para os valores da camada escondida se existir ( $E_1, E_2, E_3, E_4, E_{\dots}$ , da figura 4) e para os valores da camada de output. O sinal é propagado de nó para nó e são modificados pelos pesos associados a cada conexão. Cada nó recebe o somatório da camada de input de todos os nós conectados da camada anterior.

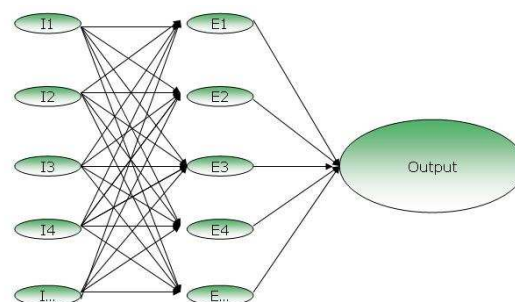


Figura 4 - Rede Neural Artificial Multicamadas

A determinação dos pesos é fundamental para obter uma rede bem sucedida, e para tal é fundamental usar o algoritmo treino adequado.

Existem milhares de diferentes tipos de redes neuronais. Estas RNA podem ser divididas consoante o tipo de aprendizagem: supervisionada ou não-supervisionada.



Segundo Hinton e Sejnowski, 1998, durante a aprendizagem supervisionada cada vector de input está associado à saída desejada pelo utilizador, ou seja, as amostras de identidade conhecida são utilizadas para classificar *pixels* de identidade desconhecida. Neste processo um analista identifica na imagem as classes de informação de seu interesse e separa regiões que melhor representem essas classes. A partir destes *pixels* são extraídas determinadas características das classes que serão usadas para a classificação. (Campbell, 1996, in Maximo e Fernandes, 2006).

Na aprendizagem não-supervisionada, o output é totalmente desconhecido (Hinton e Sejnowski, 1999), ou seja, neste caso não existe orientação do processo de aprendizagem da rede, por isso à partida não sabemos qual o resultado final do processo de aprendizagem.

As RNA são usadas para o reconhecimento de padrões, previsão e classificação em diversas disciplinas tais como economia, medicina, demografia, entre outras.

O uso das redes neuronais no estudo LUCC tem crescido de forma considerável nos últimos anos devidos aos avanços computacionais. Têm sido publicadas numerosas aplicações relacionadas com o estudo das alterações do uso do solo, nomeadamente Pijanowski et al.2002, Li e Yeh, 2002, Pijanowski et al, 2005.

A enorme explosão dos dados georeferenciados ocasionado pela evolução das Novas Tecnologias de Informação, Detecção Remota e a global difusão dos Sistemas de Informação Geográfica, impulsionaram o desenvolvimento de novas ferramentas para a análise e modelação geográfica (Openshaw, 1999).

A RNA é um dos novos instrumentos metodológicos com excelentes capacidades de extrair conhecimento organizado a partir de grandes quantidades de dados. Representa um instrumento extremamente poderoso no estudo da complexidade do uso do solo e das interações dinâmicas entre as diferentes forças motrizes. As RNA têm sido empregues nas previsões da dinâmica do uso/ocupação do solo. No entanto, para que esta abordagem seja eficaz é necessária uma longa série temporal de dados, que raramente se encontram disponível. Com bases de dados limitadas, o processamento dos resultados das RNA são bastante instáveis e fortemente dependentes da arquitectura das RNA.

Thekkudan, T. 2008 refere que as RNA oferecem consideráveis benefícios na modelação urbana (Thekkudan, 2008):

#### Enquadramento Teórico

- Do ponto de vista matemático são simples de entender uma vez que os conjuntos de dados são ponderados aleatoriamente e a máquina de aprendizagem vai dirigir as relações entre as camadas de input e output;
- As RNA não requerem que o conjunto de dados seja perfeito uma vez que estão preparadas para minimizar o erro.
- Fischer e Gopal (1994) e Yeh e Li (2003) consideram que a aproximação das RNA é mais convencional do que as outras porque se adaptam melhor a ajustar incertezas nos dados espaciais.
- São excelentes ferramentas para trabalhar com um grande conjunto de dados.

Um dos problemas apontados aos modelos de autómatos celulares é o facto de apresentarem algumas fragilidades quanto à simulação dos valores dos parâmetros, nas regras de transição e na estrutura do modelo. Neste sentido, Li e Yeh, 2002, utilizaram as redes neuronais baseado em autómatos celulares para simular as múltiplas alterações do uso do solo, para estudar o rápido crescimento das zonas urbanas no sul da China. Para calcular a probabilidade de conversão dos múltiplos tipos de usos do solo, utilizaram uma rede neuronal de três camadas com múltiplos output. A combinação destas duas técnicas permitiu melhorar a representação da complexidade do uso do solo porque as redes neuronais são excelentes ferramentas a capturar características não lineares do processo de modelação.

Outra aplicação das Redes Neuronais foi por Openshaw et al. em 1997 usada para prever possíveis impactos das alterações do clima ao nível global sobre os padrões de uso do solo em toda a região de clima mediterrâneo na Europa no âmbito do programa *Medalus*. Este estudo emprega tecnologias como redes neuronais, Sistemas de Informação Geográfica e lógica *Fuzzy* para construir um "*Synoptic Prediction System*". Neste caso a rede neuronal foi usada para fornecer estimativas da população e outras variáveis sócio-económicas e para modelar a relação entre clima (temperatura e precipitação), as características do solo (permeabilidade, textura, fertilidade, material), a biomassa, altitude, densidade populacional e outras variáveis sócio-económicas para prever futuros padrões de uso do solo.

Em meados da década de 90 surgiu um modelo desenvolvido por Bryan

Pijanowski, denominado por *Land Transformation Model* – LTM. O LTM combina os SIG, as RNA técnicas geo-estatísticas para prever as alterações do uso do solo e para examinar os aspectos espaciais e temporais das forças motoras do uso do solo.

#### **2.4.1.1. Land Transformation Model**

No sub-capítulo anterior foram apresentadas as principais questões relacionadas com os modelos urbanos LUCC classificados como Evolucionários, ou seja, modelos baseados na evolução biológica para modelar a complexidade das alterações do uso do solo nomeadamente no que se refere à modelação urbana. Por outro lado, foram apresentados alguns modelos baseados nesta aproximação. Destes modelos pretende-se realçar o LTM, o modelo que foi aplicado no caso de estudo de Andaluzia.

A escolha recaiu neste modelo, especialmente pelas seguintes razões:

- O modelo e o tutorial estão integralmente disponível para download na página oficial do LTM sob licença GNU licença pública geral;
- É um modelo fácil de interpretar do ponto de vista do utilizador;
- Dispõe de vários artigos de carácter científico com estudos de casos que confirmam a eficiência do modelo quando aplicado a modelação da expansão urbana à escala regional.

Este modelo tem sido aplicado e validado em vários locais do mundo para ajudar a compreender quais os factores que são mais importantes nas alterações do uso do solo e para simular as alterações do uso do solo do passado, presente e futuro (Tang, Z.; Engel, B.A.; Pijanowski, B. e Lim, K. 2004).

A tabela 1 apresenta alguns artigos publicados que resultaram da aplicação do *Land Transformation Model*:

## Enquadramento Teórico

Local	Tema	Resumo
Grand Traverse Bay (E.U.A)	Modelação Hidrográfica / Expansão Urbana	Este artigo apresenta a aplicação de um modelo do uso do solo e dois modelos hidrológicos para compreender a relação da qualidade de água e solo ao longo da bacia hidrográfica de Grand Traverse Bay (Pijanowski, B.; Hyndman. D.; Shellito, B., 2001)
Michigan (E.U.A.)	Expansão Urbana	O LTM foi desenvolvido para prever as alterações do uso do solo urbano para o ano 2020 e 2040 tendo em conta dois cenários de expansão: sem expansão urbana e com expansão urbana. O modelo foi executado numa região que contém nove das maiores bacias do litoral oriental do Lago de Michigan (Pijanowski et al. 2002a)
Michigan Grand Traverse Bay Watershed (E.U.A)	Expansão Urbana	O LTM foi parametrizado para prever as alterações do uso do solo e para explorar que factores como estradas, auto-estradas, estradas residenciais, rios e qualidade de vista podem influenciar os padrões de urbanização (Pijanowski et al. 2002b).
Minnesota Wisconsin Michigan (E.U.A)	Expansão Urbana	O LTM foi aplicado para identificar e quantificar as principais variáveis preditivas que influenciam a distribuição de segundas residências (Shellito, Bradley A. & Pijanowski, Bryan, C., 2003)
Detroit Twin Cities (E.U.A.)	Expansão Urbana	O LTM foi aplicado à área metropolitana de Detroit e Twin Cities para comparar o padrão urbano das duas cidades. Foram aplicados diferentes modelos: treinar e testar nas duas cidades e comparar os resultados; utilizando os pesos de uma área aplicaram a outra área; seleccionando um pequeno sub-conjunto (1%) da cidade de Twin Cities onde tenha ocorrido alterações do solo. (Pijanowski, B., S. Pithadia, K. Alexandridis, and B. Shellito. 2005)
Muskegon River (E.U.A.)	Modelação Hidrográfica / Expansão Urbana	Neste estudo o LTM e o L-THIA (modelo de impacto ambiental) foram usados para prever as conseqüências da expansão urbana no ambiente na bacia hidrográfica do rio Muskegon localizado na costa oriental do Lago Michigan (Tang, Z.; Engel, B.A.; Pijanowski B.C., Lim K.J., 2005).
South-eastern Wisconsin (EUA) e Albânia	Expansão Urbana	Neste estudo o objetivo principal consistia em modelar o padrão urbano em duas regiões no mundo: uma localizada nos South-eastern Wisconsin nos Estados Unidos da America e outra situada na Albânia. Para testar a qualidade do modelo foram utilizados 8 métricas de calibração (Pijanowski, B.K.; K. Alexandridis; and Muller, D., 2006)

Tabela 1 - Artigos publicados sobre o *Land Transformation Model*

O LTM combina os Sistemas de Informação Geográfica, as Redes Neurais Artificiais e técnicas geo-estatísticas para prever as alterações do uso do solo e para examinar os aspectos espaciais e temporais das forças motoras do uso do solo.

O LTM usa como variáveis preditivas a população, factores de transporte, proximidade ou densidade a importantes características da paisagem (como rios, lagos, zonas recreativas). As Redes Neurais são utilizadas como o modelo

### Enquadramento Teórico

de previsão, aprendendo os padrões de desenvolvimento numa região e testar a capacidade preditiva do modelo. O SIG é usado para preparar e pré-processar as variáveis de input, que serão utilizadas no modelo e analisar espacialmente os resultados das previsões. A combinação destas ferramentas tem produzido bons resultados e contribuído para um melhor entendimento do complexo processo das alterações do uso do solo.

Pijanowski et al, (2002a) desenvolveu o LTM baseado em 4 passos (figura 5):

O primeiro passo consiste em pré-processar os dados de espaciais. O SIG é utilizado para construir uma base de dados com todas as *layers* necessárias para representar o problema: variáveis preditivas, as variáveis do uso do solo e as zonas excluídas. Para as variáveis que são consideradas forças condutoras à expansão urbana, ou seja, variáveis dependentes aplicou-se regras de transição espacial (passo 2) (Pijanowski et al, 2002a), tais como a distância, vizinhança ou densidades para obter como resultado a influência de cada variável na transição do uso do solo. Toda a área resultante das restrições à expansão urbana (tema exclusões) é excluída da análise. Por último, estes *raster* 's foram convertidos para formato ASCII (Pijanowski, et al., 2002a).

Após a preparação dos dados, a fase seguinte (passo 3) consistiu em introduzir os dados espaciais na rede neuronal. O LTM pressupõe uma integração baseada em ANN, calculando a preditividade das mudanças do uso do solo em quatro passos (Pijanowski, et al., 2002a).

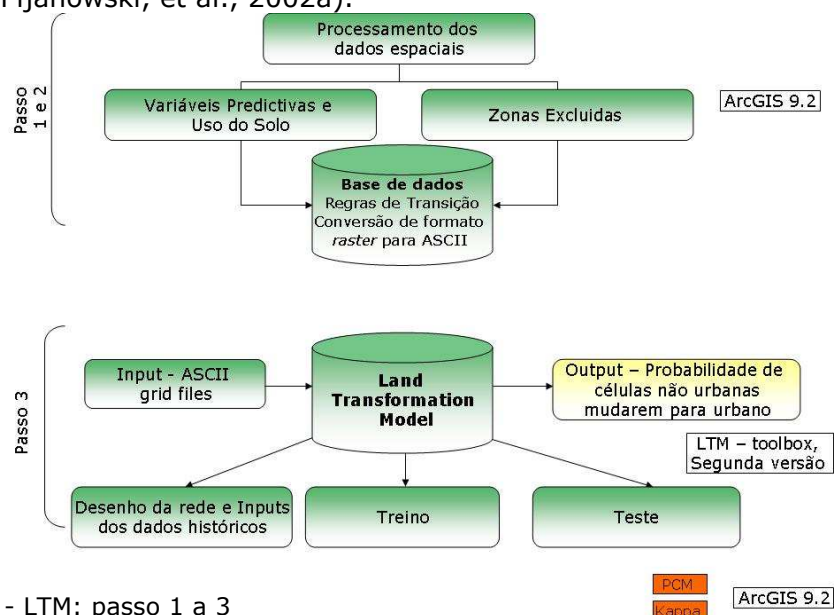


Figura 5 - LTM: passo 1 a 3

As operações são as seguintes:

- a) Desenho da rede e inputs dos dados do uso do solo histórico e das variáveis;
- b) Treinar a rede usando um conjunto de dados de input: envolve a apresentação de um conjunto dos valores de input (ficheiro ASCII resultantes do passo 1) e ajustar os pesos aplicados a cada nó de acordo com o algoritmo de aprendizagem;
- c) Testar a rede usando outro conjunto de dados de input: consiste em apresentar um conjunto de dados que não foi usado no conjunto de treino, para calcular a percentagem de erro.

O output deste passo é um mapa com a probabilidade das células de não urbanas que passaram a urbano durante o ano 1 e o ano 2.

Segundo Pontius, R. et al., 2006 depois de ver o mapa com a predição surgem algumas questões como: *How well did the model perform?* seja qual for a performance uma outra questão comum é *How does the performance compare to the range that is typically found in land change modeling?*. Estas questões parecem simples de responder no entanto tornam-se rapidamente complicadas quando os cientistas começam a decidir que técnicas utilizar para analisar a qualidade do modelo.

Existem diferentes métodos de verificar a precisão dos modelos LUCC (Pontius, R. et al., 2006). O LTM utiliza dois métodos para validar o modelo. O primeiro método chama-se segundo Pontius, R. et al., 2006, *"One possible three-map comparison"* e consiste em simplificar a avaliação da validação sobrepondo os três mapas: mapa de referência do ano 1, mapa de referência do ano 2 e mapa preditivo do ano 2. Este método permite visualizar num mapa a seguinte informação:

- a) Não há mudança na realidade e não prevê mudança do uso do solo (Negativo verdadeiro)
- b) Não há mudança na realidade, mas prevê mudança do uso do solo (Negativo Falso)
- c) Há mudança de uso do solo na realidade, mas não prevê essa mudança (Positivo Falso)

d) Há mudança do uso do solo e prevê essa mudança (Positivo Verdadeiro)

Depois de obter este mapa é possível calcular o PCM e o coeficiente de *Kappa*.

O cálculo da percentagem métrica correcta (PCM) é o coeficiente entre o número de células classificadas como "positivo verdadeiro" e o número de células que mudaram na realidade (Pijanowski, B., et al 2005):

$$PCM = \frac{\text{células correctamente classificadas pelo modelo (a)} \cdot 100}{\text{transformações reais do uso do solo}}$$

Figura 6 - Formula PCM (LTM Tutorial)

Outro método utilizado para avaliar a precisão do modelo consiste em determinar quanto os resultados obtidos se afastam dos resultados esperados. Este método é conhecido por "*Kappa Statistics*". No caso da validação do LTM, Alexandridis, K., e apresentou os seguintes passos: verificar a consistência dos mapas; construir uma matriz de confusão e calcular o coeficiente de Kappa:

$$K = \frac{P(A) - P(E)}{1 - P(E)} = \frac{\sum_{i=1}^c p_{ii} - \sum_{i=1}^c p_{iT} \cdot p_{Ti}}{1 - \sum_{i=1}^c p_{iT} \cdot p_{Ti}}$$

Figura 7 - Coeficiente de Kappa (LTM Tutorial)

A tabela 2 apresenta a explicação da formula do coeficiente de Kappa:

$i = 1, \dots, c$	As categorias comuns das mudanças tanto para as alterações reais como para as simuladas pelo modelo. Há duas categorias (i.e., $c=2$ ) categorias em que os valores estão predefinidos como '0' (não urbano) e '1' (urbano).
$p_{ij}$	A proporção de células na categoria $i$ da mudança observada na categoria $j$ simulada pelo modelo, a partir da matriz confusão ou de contingência.
$p_{iT}$	A proporção de células na categoria $i$ da mudança observada, a partir dos totais da margem da última coluna da matriz de contingência
$p_{Ti}$	A proporção de células na categoria $i$ do modelo simulou executar, a partir dos totais da margem da última linha da matriz de contingência.
$p_{ii}$	A proporção de células na mesma categoria, $i$ , em ambas as mudanças observadas e simuladas pelo modelo, a partir dos elementos da diagonal da matriz de contingência.
$P(A) = \sum_{i=1}^c p_{ii}$	Coeficiente de sensibilidade
$P(E) = \sum_{i=1}^c p_{iT} \cdot p_{Ti}$	Prevê a fracção de concordância com a distribuição observada

Tabela 2 - Explicação da formula de Kappa Statistics

O quarto e último passo (figura 9) consiste em usar a informação proveniente

#### Enquadramento Teórico

da RNA para fazer as previsões. Segundo Pijanowski et al. (2001), existem duas formas de fazer previsões, uma utilizando o dobro das células que transacionaram a urbano, ou seja, admitindo que as alterações reais do uso do solo durante um determinado período irão ocorrer do mesmo modo durante um período igual, ou recorrendo às previsões da população para dimensionar o uso do solo urbano futuro. Para esta última, Pijanowski et al., (2000a) propõe um coeficiente para calcular a quantidade de solo que irá alterar.

Esta equação chama-se "*Principle Index Driver*" – PID:

$$U(t) = \left( \frac{dp}{dt} \right) * A(t)$$

Figura 8 - Equação PID, (Pijanowski, et al. 2002a)

Esta equação calcula a quantidade de novo solo urbano  $U$ , num intervalo de tempo específico  $t$ , onde  $dp/dt$  é o número da população prevista para essa determinada área e com um certo intervalo de tempo, onde  $A$  é a necessidade de solo urbano per capita (Pijanowski, et al, 2002a).

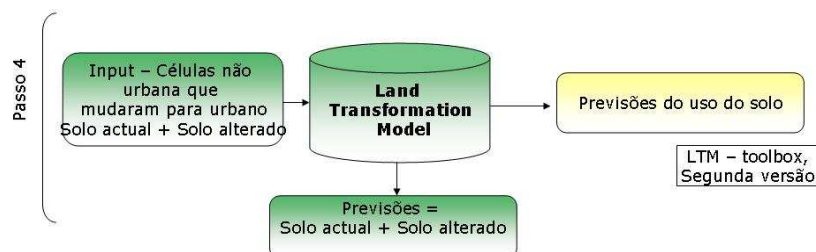


Figura 9 - LTM: passo 4

Actualmente o LTM ainda não dispõe de um interface para utilizadores (GUI), neste sentido os utilizadores tem de executar os processos do modelo através da linha de comandos do Windows.



### 3. ENQUADRAMENTO DA ÁREA DE ESTUDO

Como foi anteriormente referido, este estudo foi aplicado a todo o território da Comunidade Autónoma de Andaluzia. Neste capítulo faz-se a caracterização físico-geográfica, sócio-económica e uma breve caracterização dos principais instrumentos de ordenamento do território vigentes em Andaluzia.

#### 3.1 Características Físico-Geográficas

Andaluzia, situada a sul da Península Ibérica é o ponto mais meridional do continente Europeu fazendo ponte ao continente Africano.

A Comunidade Autónoma de Andaluzia está delimitada a Norte pela Sierra Morena que separa a meseta castelhana e a depressão de Guadalquivir, a Sul pelo Oceano Atlântico em Huelva e Cádiz e pelo Oceano Mediterrâneo em Cádiz, Málaga, Granada e Almería, a Oeste pelo rio de Guadiana que separa a província de Huelva de Portugal e a Este pelo contacto de Almería com o mar Mediterrâneo e o Levante Espanhol.

Andaluzia engloba oito províncias: Cádiz, Granada, Huelva, Jaen, Málaga, Sevilha, Almeria e Córdoba. É a segunda região mais extensa de Espanha, chegando a atingir uma extensão superior a alguns países como Bélgica, Holanda, Dinamarca, Áustria e Suíça. Ocupa 87.597 km<sup>2</sup> o equivalente a 17,3 % do total do território espanhol (Figura 10).



Figura 10 - Províncias de Andaluzia, Consejería del Medio Ambiente de Andaluzia (CMAA,

A grande diversidade do ponto de vista paisagístico é um dos traços mais valiosos em Andaluzia. Desde o deserto de Tabiernas no interior da província de Almería, à beleza arrebatadora dos cumes brancos na Sierra Nevada, passando pelo como o Valle de Guadalquivir e as florestas frondosas.

Relativamente ao clima, esta região é globalmente caracterizada por um clima típico de mediterrâneo temperado, caracterizado por verões e secos e quentes e invernos temperados com precipitações irregulares. No entanto, em Andaluzia poder-se-á distinguir três climas distintos: clima costeiro, clima de interior e clima de montanha.

O factor climático é um ponto forte nesta região. Apesar das limitações climáticas, relacionadas com a precipitação escassa e irregular tanto ao nível inter-anual como intra-anual, Andaluzia apresenta de modo geral um clima ameno. Destaca-se a elevada luminosidade que se converte num recurso fundamental ao desenvolvimento da vegetação, da produção agrícola, do conforto humano e como seria de esperar o turismo, uma das actividades centrais da economia andaluzia e a elevada radiação solar, que se converte em enormes quantidades de energia renovável.

Por outro lado, de uma forma mais pontual, constituem também potencialidades importantes o vento e a neve. O vento considerado uma forte limitação ao turismo, pode ser o motor de desenvolvimento de uma região devido à implementação de parques eólicos ou ao desenvolvimento de actividades de desportos de vento. A neve é um recurso utilizado para os desportos de inverno. A Sierra Nevada um dos pontos de grande atracção de turistas representa uma das melhores estâncias de desportos de neve da Europa. Com uma paisagem deslumbrante, os turistas podem desfrutar da neve associada a uma suavidade térmica e a uma insolação prolongada.

### **3.2. Características Sócio-Económicas**

As mudanças demográficas estão muitas vezes associadas a uma grande variedade de problemas sociais, económicos e políticos. Um dos aspectos mais importantes é a sua relação com o mercado de trabalho, convertendo-se num dos elementos chave para determinar o nível social e económico das pessoas que constituem uma sociedade sendo por isso importante a sua análise (CES,

2006).

Andaluzia é uma das regiões mais povoadas de Espanha, contabilizando 7.975.672 habitantes em 2006, cerca de 125.873 pessoas a mais do que em 2005. O crescimento da população em Andaluzia tem sofrido algumas oscilações nos últimos anos.

Do ano 2000 a 2003 observou-se um acréscimo da população, no entanto esse acréscimo sentiu-se mais a nível nacional do que ao nível de Andaluzia. A partir de 2003, observou-se um decréscimo do crescimento da população tanto ao nível da região Andaluza como ao nível nacional e em 2004 voltou a subir, aproximando Andaluzia da média espanhola. De 2005 a 2006 a variação da população voltou a decrescer, no entanto este decréscimo sentiu-se mais a nível nacional, visto que a variação da população em Andaluzia, foi superior à media espanhola (figura 11) (CES, 2006).

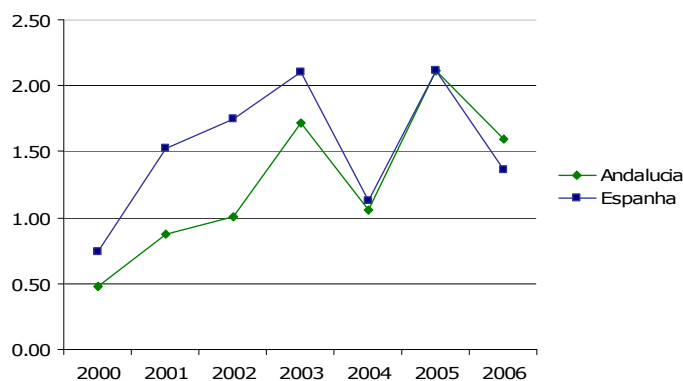


Figura 11 - Gráfico da Variação relativa da população em Espanha e Andaluzia, INE, Padrón Municipal (INE, 2008).

A estrutura da população por sexo e idade em Andaluzia em 2006 é essencialmente caracterizada por um excedente de jovens varões. Entre os 20 e 60 anos ambos os sexos apresentam a mesma percentagem e a partir de aqui as mulheres passam a ser mais representativas. Os maiores números de efectivos situam-se entre os 25 e os 45 anos, consequência das mudanças demográficas que se fizeram sentir década de 60 até a actualidade (CES, 2006). Apesar de se verificar um aumento da taxa de natalidade entre 2000 e 2006, resultado das maiores taxas de natalidade dos imigrantes, observou-se um aumento da população envelhecida mais forte da população envelhecida, assemelhando-se à

Enquadramento da Área de Estudo

estrutura de Espanha. No entanto, o peso população jovem andaluza é superior à população jovem nacional como consequência do atraso do decréscimo da natalidade.

O crescimento natural sofreu um forte decréscimo desde 1975 e em 1998 começou a ascender, devido a um aumento da Taxa de Natalidade e ao aumento da imigração, que passou de um saldo negativo em 1975 para um saldo positivo em 2005.

A tabela 3 apresenta os principais indicadores demográficos de Andaluzia e Espanha, para o período de 2004, 2005, e 2006.

Indicadores	Espanha			Andaluzia		
	2004	2005	2006	2004	2005	2006
Índice de Envelhecimento	119,32	117,03	117,39	89,39	89,21	90,50
Índice de dependência total	45,07	44,57	44,93	45,50	44,81	44,80
Índice de dependência de idosos	24,52	24,03	24,26	21,47	21,13	21,28
Índice de dependência de jovens	20,55	20,53	20,67	24,02	23,68	23,52
Índice de estrutura da população Activa	79,51	81,85	83,67	72,70	75,07	76,90
Índice de substituição da população activa	82,77	90,65	93,19	66,05	70,94	72,71

Tabela 3 - Principais Indicadores da Estrutura Populacional (INE, 2008)

Ao observar a relação entre os habitantes com mais de 65 anos e os menores de 15 conclui-se que no último ano houve um acréscimo do número de idosos devido ao aumento do número de habitantes com mais de 65 anos e devido à diminuição do número de jovem tal como já foi referido anteriormente. No contexto nacional, verifica-se que Andaluzia manteve um índice abaixo da média nacional.

Em relação ao Índice de Dependência total observa-se que cerca de 44% da população inactiva (menores de 15 e maiores de 60) é sustentada pela população em idade activa (entre os 15 e os 64 anos). Desta percentagem, verifica-se em Andaluzia mais jovens dependentes do que idosos, exactamente o invés da situação de Espanha, que apresenta uma maior percentagem de idosos dependentes do que jovens.

A população em idade activa tem crescido tanto em Andaluzia como em toda a

#### Enquadramento da Área de Estudo

Espanha, em consequência do aumento da proporção da população em idades superiores. No entanto em Andaluzia, tal como já foi referido anteriormente a população em idade activa é inferior devido ao importante peso da população mais jovem.

Relativamente ao Índice de Substituição da População Activa em Andaluzia observa-se que o elevado número de jovens em idade de integrar o mercado de trabalho é favorável para cobrir a proporção de activos em idade de abandonar o mercado de trabalho.

Ao analisar a proporção de activos pertencentes a cada um dos quatro grupos de sectores de actividade (Agricultura, Indústria, Construção e Serviços), verifica-se que mais de metade da população activa tanto em Andaluzia como a nível nacional está a trabalhar no sector terciário. O segundo sector que emprega um maior número de população é o sector da construção, seguido da indústria e agricultura. Estes dois últimos têm mais importância em Andaluzia do que a nível nacional (figura 12).

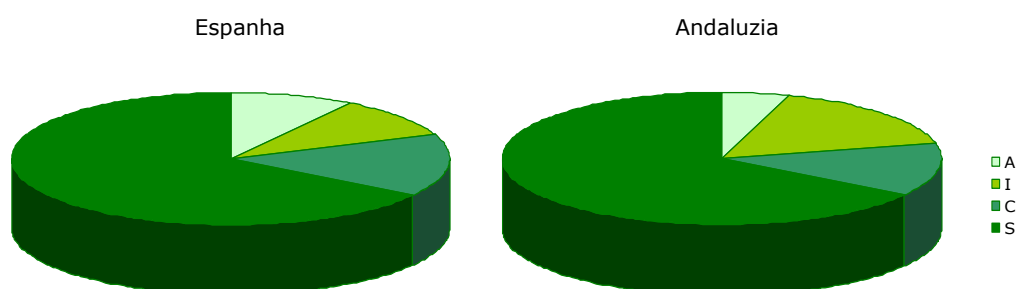


Figura 12 - Gráfico da distribuição da população por sectores de actividade, INE, Encuesta de Población Activa (INE, 2008)

A Economia Andaluza mostrou em 2006 um elevado e avançado ritmo de crescimento. Em 2005 o produto interno bruto registrou uma taxa de variação de 3,5%, e em 2006 3,9%, uma taxa idêntica à media espanhola e cerca de 1% superior à zona euro. Do crescimento que se tem verificado, o sector da construção é o sector mais dinâmico da economia andaluza, o qual em 2005 sofreu um incremento quatro vezes superior à media da zona Europeia (CES, 2006).

#### Enquadramento da Área de Estudo

Este clima económico favorável em 2006 teve um reflexo no mercado laboral. Segunda a EPA (INE, 2008) criaram-se mais e 150.000 empregos em toda a região. Este crescimento representou cerca de 5%. De todos os sectores, o sector da construção e serviços, foram os que mostraram mais capacidade de gerar emprego em toda a região.

Outro traço importante desta região que importa destacar é o turismo. Andaluzia é por excelência um destino de turismo, tanto no Inverno como no Verão. Os principais atractivos são, por um lado, as pistas de neve da Sierra Nevada, onde se encontra o pico montanhoso mais elevado da península ibérica, por outro, as praias quentes do mediterrâneo e atlântico que se estendem ao longo de mais de 800 quilómetros. O turismo contribuiu na produção final tanto directamente como indirectamente superando os 30 mil milhões de euros (CMAA, 2006c).

Relativamente às infra-estruturas de transportes, o relevo montanhoso levou a uma adaptação das redes corredores naturais. A excepção das zonas montanhosas, onde as infraestruturas escasseiam devido às restrições impostas pelos obstáculos naturais, de modo geral Andaluzia encontra-se dotada de uma rede de transportes completa, incluindo autopistas, vias rápidas e estradas. A rede viária é a mais importante tanto ao nível estatal como ao nível interno, pois faz a ligação entre os dispersos aglomerados nas regiões montanhosas como também entre as grandes cidades servindo de apoio aos outros transportes.

Quanto às ferrovias, desde 1992 que Andaluzia é dotada de uma linha de Alta Velocidade que liga Sevilha – Córdoba – Madrid e em Janeiro de 2008 foi inaugurado o prolongamento da linha até Málaga.

Quanto ao tráfego aéreo, a Andaluzia encontra-se abastecida por uma boa rede de aeroportos: quatro de vôos internacionais situados em Málaga, Sevilha, Jerez e Almería e 2 de vôos nacionais em Córdoba e Granada. O aeroporto de Gibraltar, recentemente qualificado como aeroporto civil, apesar de não pertencer ao território Andaluzo apresenta elevada relevância pela sua proximidade.

O posicionamento geoestratégico de Andaluzia, situado na frente do Oceano Atlântico e Mediterrâneo, leva a que os seus portos sejam geradores de grande actividade comercial e turística. Destaca-se o porto de Algecira como um dos principais de tráfego marítimo internacional. Para além deste porto marítimo,

repartem-se mais quatro em Huelva, Cádiz, Málaga e Almería de origem de linhas de transportes e ainda trinta e sete portos desportivos distribuídos por todo o litoral.

### **3.3. Instrumentos Legais**

O Planeamento Territorial é o processo apontado como a solução, para clarificar a dimensão territorial do desenvolvimento sustentável e potenciar a sua contribuição através da identificação de mecanismos que caracterizem e melhorem o seu desempenho sendo um instrumento preventivo.

Segundo Hildenbrand, 1996 (in Tabales, 2004), o ordenamento do território é reconhecido como uma modalidade de planificação física, ou seja, que tem materialidade física sobre o território, correspondendo a uma escala regional e supralocal, ficando a local reservada para o urbanismo e a supra-regional para as denominada estratégias territoriais, tanto de carácter estatal como comunitário.

O objectivo geral do Ordenamento do Território é o estabelecimento de uma proposta de modelo territorial para um espaço objecto de planificação, que se considere mais adequada desde a administração pública responsável da actuação e por isso sujeita ao debate ideológico acerca de qual e a organização territorial resultante com melhor resposta aos interesses de conjunto de sociedade. Os objectivos específicos convertem-se na especial atenção ao uso do solo e a definição das estruturas e sistemas territoriais. Hoje em dia tem de se considerar que o conteúdo essencial desta planificação deve orientar-se por um lado à ordenação das infra-estruturas territoriais como a comunicação, energia, de abastecimento e depuração de águas, gestão de resíduos, entre outros e por outro lado, a coordenação dos distintos âmbitos de planeamento urbanístico municipal (Tabales, 2004).

Os seus objectivos situam-se a médio e longo prazo dirigindo a actuação da Administração Pública tendo em conta a participação, planificação, coordenação e cooperação. Neste sentido, é visto como um factor chave para a identidade da Comunidade Autónoma de Andaluzia (COPT, 2006b).

O modelo autónomo espanhol baseia-se numa repartição de competências entre o Estado, as Comunidades e as Entidades Locais. Andaluzia tem plenas

competências, em matérias de turismo, ordenamento do território, Economia regional agricultura e pecuária, meio ambiente, entre outras (CMAA, 2006a).

O sistema de planeamento territorial é definido por um conjunto de instrumentos de carácter directivo ou territorial estabelecido em Andaluzia mediante a promulgação da Lei 1/1994 do Ordenamento do Território (LOTA). Nesta lei foram criados os instrumentos de planificação integral (COPT, 2006b):

- POTA – *Plano de Ordenación del Territorio de Andaluzia*: é o plano que comanda o sistema de planeamento territorial e Andaluzia, tem como principal finalidade estabelecer os elementos básicos para a organização da estrutura territorial da Comunidade Autónoma, sendo um marco de referência aos restantes planos sectoriais. Este plano tem como objectivo dar resposta aos problemas territoriais como a insuficiente integração espacial, particularmente económica e desequilíbrios territoriais e ecológicos como também apoiar a constatação de tendências e oportunidades que desempenham ou podem vir a desempenhar um papel decisivo na configuração de um projecto territorial compartilhado (COPT, 2008). O POTA deve ser articulado com as políticas de incidência territorial do Estado e da União Europeia
- POTS - *Plano de Ordenación del Territorio del Ámbito Sub-regional*: estes planos abordam o Ordenamento do Território em diferentes âmbitos sub-regionais tais como o litoral, zonas de montanha e áreas metropolitanas. Abrangem os aspectos básicos da estrutura de qualquer que seja o seu âmbito. As suas determinações são vinculantes para os Planos de Incidência no Ordenamento do Território e no Planeamento Urbanístico.
- PIOT – *Plano com Incidência en la Ordenación del Territorio*: estes planos envolvem conteúdos adicionais e um procedimento comum das actividades de planificação, sem prejuízo do que foi regulado pela correspondente legislação especial.



A tabela 4 apresenta alguns dos principais planos regionais vigentes em Andaluzia:

<b>Principais Planos ao Nível Regional</b>	<b>Período</b>	<b>Organismo</b>
Plan Andaluz de Investigación, Desarrollo e Innovación	2007-2010	Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa
Plan de Ordenación del Territorio de Andalucía	2006	Consejería de Obras Públicas y Transporte
Plan Energético de Andalucía	2003- 2006	Consejería de Empleo y Desarrollo Tecnológico
Plan de Innovación y Modernización de Andalucía (PIMA)	2005- 2010	Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa
Plan Andaluz de Regadíos	2000- 2006	Consejería de Agricultura y Pesca
Programa Industrial para Andalucía (PIA III)	2003- 2006	Consejería de Empleo y Desarrollo Tecnológico
Plan de Modernización de la Agricultura Andaluza	2000-2006	Consejería de Agricultura y Pesca
Plan de Agricultura Ecológica	2002-2013	Consejería de Agricultura y Pesca
Plan General de Turismo	2003- 2006	Consejería de Turismo y Deporte
Plan General de Turismo Sostenible en Andalucía	2007-2010	Consejería de Turismo y Deporte
Plan Turístico Playas Divertidas de Andalucía	2005	Consejería de Turismo y Deporte
Plan General de Deporte	2004- 2007	Consejería de Turismo y Deporte
Programa Operativo Integrado de Andalucía	2000-2006	Consejería de Economía y Hacienda
Plan Económico de Andalucía Siglo XXI	2002- 2005	Consejería de Economía y Hacienda
III Programa Andaluz de Salud	2003-2008	Consejería de Salud
Plan Junta Joven	2005-2008	Consejería para la Igualdad y Bienestar Social

Tabela 4 - Principais planos regionais em Andaluzia (CMAA, 2006a)

## **4. MODELAÇÃO DAS ALTERAÇÕES DO USO DO SOLO URBANO EM ANDALUZIA**

Na segunda parte deste trabalho, fez-se o enquadramento temático sobre a modelação do sistema do uso do solo e identificaram-se os principais modelos LUCC. Destes modelos, realçou-se o LTM, um modelo classificado como Evolucionário, ou seja, baseado na evolução biológica para modelar a complexidade das alterações do uso do solo. Em seguida fez-se o enquadramento físico, socio-económico e dos instrumentos legais da área de estudo – Andaluzia.

Este capítulo tem como principal objectivo identificar as forças motoras da expansão do uso do solo urbano, aplicar o modelo LTM a toda a região de Andaluzia, para testar a predictividade das RNA na alteração do uso do solo e por último fazer uma previsão utilizando os resultados obtidos da rede neuronal para o ano 2019.

Este capítulo encontra-se dividido segundo os maiores passos da operacionalização do modelo.

### **4.1. Passo 1- Identificação das forças motoras de expansão urbana em Andaluzia e preparação dos dados**

O primeiro passo da operacionalização do modelo passa por recolher, armazenar e gerir as variáveis referentes a essas forças condutoras integrando no Sistema de Informação Geográfica. A identificação das variáveis predictivas constitui um dos passos mais importantes da modelação do Uso do Solo. A escolha das variáveis deve ser apropriada ao problema que queremos modelar. Segundo Openshaw e Openshaw, 1997 “se colocar lixo como variável independente, obter-se-á lixo como variável dependente” (Openshaw e Openshaw, 1997).

Na realidade existem numerosos factores que influenciam as alterações do uso do solo e aparentemente é impossível incorporar todos esses factores apenas num modelo (Liu, Seto, e Sun, 2005). Por outro lado, mesmo identificando um conjunto de dados, estes poderão não incluir variáveis críticas pertinentes que ainda não foram definidas (Kelmelis, Rowland in Meyer e Turner, 1994).

As mudanças do uso do solo resultam de uma complexa interacção de vários

factores, com análises multidisciplinares, incluindo variáveis sociais, económicas, biológicas e físicas. Os dados podem ser claramente identificados, no entanto pode existir um conjunto de dados que não são correntemente utilizados para as mudanças globais podem conter dados que são fundamentais para prever futuras alterações do uso do solo. Ou seja, podem existir variáveis críticas que são pertinentes, mas ainda não estão bem definidas (Kelmelis, Rowland in Meyer e Turner, 1994).

Tal como já foi referido anteriormente, outro problema relaciona-se com o facto do fenómeno das alterações do uso do solo, requerer informação e ferramentas distintas para diferentes escalas.

Segundo Marceau (1999), a escala é um conceito central que descreve e explica a complexa organização hierárquica do mundo geográfico. Por isso é necessário identificar os limiares de escala adequadamente para se determinar as leis que regem as interacções que ocorrem dentro e entre vários níveis de organizações. Muitos dos problemas, não podem ser tratados apenas numa escala de observação, nem podem ser traduzidos para outra dimensão espacial de forma linear (Levin, 1989 e Marceau, 1999). Para Kok e Veldkamp (2001), as relações entre as alterações do uso do solo e os agentes da paisagem são menos visíveis quando são observados a larga escala, enquanto que outros processos como o ambiente e os factores macro-económicos tornam-se dominantes.

A influência da extensão da análise pode ser explicada com a diminuição da importância das situações locais quando se aumenta o escala de análise. Verburg e Chen (2000), afirmam que as relações em que se encontra o alcance nacional nem sempre é válido na medida regional e vice-versa. Neste sentido, numa medida menor, obtemos melhores resultados sobre a situação específica da região enquanto que numa maior medida obtemos a identificação de padrões gerais.

No âmbito da modelação das dinâmicas do uso do solo, a escala de observação pode influenciar a capacidade do modelo para capturar todos os processos subjacentes que determinam essas mudanças. Ou seja, a questão do desenvolvimento urbano neste estudo tem de ser definida e compreendida no contexto regional em que a dinâmica da expansão urbana é operacional.

#### **4.1.1. Forças motoras da expansão urbana**

A expansão urbana só pode ser eficazmente especificada quando as forças motrizes da expansão urbana são totalmente compreendidas. Um relatório desenvolvido pela Agência Europeia do Ambiente e a Joint Research Center da Comissão Europeia (EEA & EC/JRC, 2006) sobre a expansão urbana, apresenta as forças condutoras da expansão urbana:

##### **4.1.1.1. Factores Macro-económicos**

**4.1.1.1.1. Crescimento económico** – O crescimento económico constitui uma das forças que mais impulsiona o desenvolvimento urbano. Tendo em conta os recursos necessários para construir uma nova zona residencial é perfeitamente natural associar o crescimento económico (Bresson, Madre, e Pirotte, A. 2004). O crescimento resulta num “boom de edifícios”, novos postos de trabalho para produzir os bens e serviços desejados pelos novos residentes e a geração de novas receitas fiscais locais. Se um município recebe mais em impostos do que os custos que tem, os resultados do aumento das receitas podem ser usados para fornecer mais serviços para a administração local ou para baixar os impostos locais, atraindo novos residentes (Wassmer e Boarnet, 2001).

**4.1.1.1.2. Globalização** - conduz a elevados níveis de conectividade e de interdependência entre as nações no plano cultural, social, económico, ambiental, político e tecnológico (EEA, 2007). A globalização, evidentemente relacionada com o crescimento económico, é fundamental para determinar a forma como os bens e serviços são transportados de uma parte do mundo para a outra. Hoje em dia a globalização esta fortemente relacionada com o desenvolvimento da informação e da comunicação – TIC. Este fenómeno está a começar a ter impactos profundos na distribuição espacial da população e do emprego. No geral, é provável que as TIC possam vir a ter um impacto ainda maior no futuro (Audriac, 2005).

**4.1.1.1.3. Integração Europeia** – o principal objectivo da Integração Europeia, é que todas as regiões possam beneficiar do crescimento económico. Especificamente:

- 4.1.1.1.3.1.** Desaparecimento das fronteiras – aparecimento de “super-regiões” que transcendem as fronteiras nacionais.
- 4.1.1.1.3.2.** Desenvolvimento de cidades capitais fragilizando a posição das cidades menores.
- 4.1.1.1.3.3.** Desenvolvimento de uma rede de transportes trans-europeia (RTE-T) para facilitar a melhoria das acessibilidades e mobilidade. A RTE-T irá influenciar exponencialmente o futuro desenvolvimento das zonas urbanas em toda a Europa.
- 4.1.1.1.3.4.** Os novos investimentos em transportes como as auto-estradas, sistema ferroviário, com elevada cobertura, constituem um importante motor ao desenvolvimento de novos pólos residenciais e comerciais/industriais. Geralmente, os agregados familiares escolhem as zonas residenciais segundo o preço da habitação e o preço da deslocação entre a casa e o trabalho. Por essa razão, a expansão verifica-se em zonas em que os rendimentos são mais elevados e o custo de transportes mais baixo (Wu, 2006).
- 4.1.1.1.3.5.** Fomentar as inter-relações entre as zonas residenciais e comerciais/industriais, uma vez que constituem os principais motores de expansão urbana. Geralmente as zonas residenciais promovem as zonas comerciais/industriais. Por outro lado, o desenvolvimento da rede de transportes tem aumentado as zonas comerciais/industriais e por sua vez tem desenvolvido novas zonas residenciais na sua vizinhança.
- 4.1.1.1.3.6.** Os fundos estruturais e os investimentos dos fundos de coesão podem apoiar o desenvolvimento urbano ou motivar a contenção. Se por um lado, o investimento em novas auto-estradas e outras ligações facilmente atraem novos pólos de desenvolvimentos ao longo das linhas, por outro, os fundos podem ser canalizados para a reabilitação dos centros urbanos tornando-os mais atraentes ao investimento e assim desenvolver cidades mais compactas.
- 4.1.1.1.3.7.** As economias de escala têm provocado alterações no comportamento do sector do comércio a retalho. O pequeno comércio de retalho localizado nos centros urbanos tem vindo a dar lugar ao aparecimento de grandes superfícies comerciais situadas fora da cidade com grandes áreas de estacionamento.

#### **4.1.1.2. Factores Micro-económicos**

**4.1.1.2.1. Preço de terras** – a especulação do preço do solo é dos temas mais discutidos em vários países. Os padrões espaciais do desenvolvimento urbano tem sido tema em debate políticos nos quais discutem questões relacionadas com a acessibilidade, as infraestruturas de transportes e o valor do solo. Outro tema de debate político envolve a dotação de títulos de posses e dos especuladores especialmente em zonas em que os mercados estão a florescer. Buurman et al, apresenta algumas considerações no mercado do solo segundo uma perspectiva económica:

**4.1.1.2.1.1.** O mercado do solo é heterogêneo porque as parcelas do solo oferecem propriedades específicas, localizações e características de procura. Cada tipo de uso do solo tem a sua própria característica. Por exemplo, quando se pretende construir uma estrada, procura-se um solo onde se pode construir e que se adapta ao tipo de infra-estrutura. A agricultura precisa de um solo fértil, neste sentido, a localização desse solo, deverá obedecer a essas características e ajustado a um preço suficientemente baixo. Resumindo, o mercado do solo é muito heterogêneo como resultado das diferentes características das parcelas.

**4.1.1.2.1.2.** O mercado do solo envolve vários participantes, tanto do lado da oferta como do lado da procura, ou seja, o vendedor determina o preço do solo, e o comprador demonstra o interesse pelo preço que está disposto a pagar.

**4.1.1.2.1.3.** As externalidades constituem outra importante influência no mercado do solo. Por exemplo, os usos de pesticidas nas parcelas agrícolas reduzem a biodiversidade e a qualidade das áreas naturais, a existência de indústrias poluidoras nas proximidades de zonas residenciais ou a construção de novas zonas residenciais em zonas residenciais já existentes, reduzindo o espaço aberto, constituem uma externalidade negativa. Por outro lado, a população prefere espaços abertos, paisagens e biodiversidade.

**4.1.1.2.1.4.** A intervenção do governo, através das taxas, subsídios e restrições constitui outra importante influência no preço do solo. Isso resulta em diferentes mercados com diferentes preços.

**4.1.1.2.2. Disponibilidade de terrenos agrícolas** – Bregt e Zeeuw (2001), (In Stillwell, J. E Scholten, 2001) apresentam algumas das tendências e impactos sociais que se tem manifestado na Europa. A agricultura é fortemente influenciada pela Política Agrícola Comum<sup>3</sup>. O preço suporte dos produtos agrícolas foi principal medida da PAC. Esta política foi adequada para garantir o rendimento dos agricultores e o apoio dos preços dos produtos agrícolas eficiente, resultando numa super produção bem como o cultivo de terras marginais. No entanto, a conseqüência desta medida resultou numa sobre-produção levando ao armazenamento ou a exportação a baixo custo. Em 1992, com a reforma da PAC reduziu-se o apoios aos agricultores. Face a esta situação, os agricultores viram-se obrigados a aumentar a eficiência, através do alargamento das parcelas agrícolas, aumentando o rendimento por hectare ou procurando outras actividades fora da agricultura para complementar o rendimento. Os agricultores que não conseguiram acompanhar essas mudanças viram-se obrigados a abandonar a agricultura e procurar outras opções. Por um lado, a PAC, ajudava atribuindo subsídios aos agricultores em dificuldades para converter esse solo agrícola em solo florestal. Por outro lado, a parca utilidade do solo agrícola levou à sua transformação em solo artificial. Entre 1990 e 2000 o solo que passou a artificial, era na sua grande maioria solo agrícola e/ou pasto (83%) (EEA, 2005). Estes solos são muito mais atractivos para o crescimento urbano do que outro tipo de solo porque é mais fácil construir em *'on peat land'* do que em terrenos rochosos. Apesar dos terrenos agrícolas serem universalmente mais baratos e por isso mais atractivos para os investidores, observando-se duas situações: Geralmente o preço é determinado pelo uso que se vai dar a esse solo agrícola. Se o uso for para construção, a parcela do solo agrícola será vendida a um preço muito mais baixo do que o preço que verdadeiramente estaria preparado para pagar. A outra situação é que se observa alguma discriminação visto que um proprietário de um terreno agrícola ao

---

<sup>3</sup> PAC – implementado na Uniao Europeia em 1960 para garantir comida para as cidades Europeias e dar aos agricultores um aceitavel nivel de vida (Baldock et AL, 1996 IN Bregt and Zeeuw).

saber que alguém quer comprar o seu terreno para desenvolver um projecto de construção provavelmente pedirá um preço mais elevado do que se fosse vendido com a finalidade de o cultivar.

**4.1.1.2.3. Disponibilidade de solo florestal e áreas semi-naturais** – nas

recentes décadas tem se verificado uma crescente atenção pública e política para a conservação da natureza. Estas áreas são consideradas extremamente importantes para a sociedade e para o ambiente, pela sua biodiversidade, pelo seu carácter recreativo e equilíbrio ambiental. No entanto, apesar de todos os esforços para reforçar a criação de corredores ecológicos, as áreas naturais tem vindo a diminuir devido à forte urbanização (Bregt e Zeeuw, In Stillwell, J. E Scholten, 2001). Relativamente ao solo florestal, os sucessos dos planos de reflorestação contribuíram para um aumento significativo das áreas florestais. No entanto, entre 1990 e 2000 verificou-se alguma desflorestação que deu lugar ao solo urbano e infraestruturas. Apesar de ter sido em média muito reduzida essa redução provocou alguns impactos no ecossistema regional. Na década de 90, 15% do solo usado para construção teve origem no solo florestal e áreas semi-naturais, cerca de 23 000 ha de solo florestal e áreas naturais na proximidade da linha de costa do Mediterrâneo foram desenvolvidos para construção de habitações, infra-estruturas de transportes e outras necessidades (EEA, 2005).

**4.1.1.2.4. A concorrência entre municípios** – as autarquias apresentam

diferentes estratégias como a promoção dos seus municípios, por exemplo, criação de novos postos de trabalho, produção ambientalmente benigna de bens e serviços, pequenas e médias empresas dinâmicas, acesso adequado ao capitais e financiamentos, promoção de zonas industriais e escritórios, governo eficaz, articulação entre o sector público e privado, oferta de benefícios nas taxas para atrair investimentos nas indústrias, comercio e serviços.

**4.1.1.3. Factores Sociais**

**4.1.1.3.1. Demografia** – a população é um dos principais motores das mudanças do uso do solo. Um bom indicador para analisar a expansão do solo urbano pode ser a idade da população



residente. As famílias com crianças têm mais tendência para se deslocar à periferia enquanto que as pessoas mais envelhecidas e as famílias a perder agregados têm tendência a se manterem na cidade (Karecha e Couch, 2006 in EEA, 2007). A densidade populacional também é usualmente considerada um bom indicador, pois permite analisar as áreas com os maiores impactos de expansão urbana (EEA, 2007).

**4.1.1.3.2. Preferências da Habitação** – em resultado dos complexos processos sociais, tem se observado alterações nas características dos lares, como o aumento as taxas de divórcio e separação, aumento das famílias mono-parentais, incentivos para encorajar as pessoas singulares a viverem sozinhas resultando num aumento do número de agregados familiares (Stillwell, e Debenham, in EEA, 2007). Relativamente às preferências das habitações, constitui um importante factor para a expansão urbana. Observam-se duas situações: mais espaço por pessoa, o que leva as pessoas a procurar espaços semi-isolados, em terrenos mais baratos e enquadrados em paisagens rurais. Tal como já foi referido anteriormente, os terrenos periféricos são geralmente mais baratos e o valor de um imóvel tende a subir mais rapidamente fora do núcleo urbano (Wu, 2006). Outro factor que influencia a expansão urbana e a aquisição de segundas residências, não são pelas razões referidas anteriormente, como também por proporcionarem novas oportunidades de lazer fora da cidade. (EEA, 2007).

**4.1.1.3.3. Problemas do interior das cidades** – A atractividade de viver nos centros urbanos tem diminuído. A existência de externalidades negativas faz com que a população procure melhores condições nas periferias. As construções ilegais, as aglomerações excessivas, poucos espaços abertos, o meio ambiente insalubre e degradado, são alguns dos problemas existentes nas grandes cidades. O desemprego, as minorias raciais geram graves problemas de pobreza, degradação, discriminação e criminalidade.

**4.1.1.3.4. Transportes públicos** – Conceptualmente, o sistema de transporte urbano está intrinsecamente relacionado com a forma e a estrutura espacial urbana. A tendência dos transportes públicos tem vindo

sofrer alterações. Tradicionalmente, o transporte público estava ligado às transacções comerciais e de lazer, este comportamento tem se alterado (Rodrigue et al, 2006). A crescente sensibilização para o uso de transportes públicos, maior disponibilização de serviços inter-urbanos e intra-urbanos, maior qualidade e conforto, são factores de peso para que a população procure morar nas zonas periféricas.

**4.1.1.3.5. A importância da existência de planeamento eficaz:** a presença de instrumentos de ordenamento robusto, vão permitir um correcto crescimento da cidade. Quando os planos são inexistentes ou inadequados, observa-se uma descentralização do crescimento e a expansão ocorre inversamente. Quando há uma política urbana forte e bem estruturada, as formas urbanas são asseguradas e o desenvolvimento pode ser assegurado (EEA, 2007).

#### **4.1.1.4 Factores Físicos**

Os factores físicos do território são fundamentais à ocupação humana. A proximidade aos rios, lagos e zona costeira, constitui um valor paisagístico, acrescido de grande atractividade à fixação do homem. Por toda a Europa observa-se uma maior concentração da população na proximidade da linha de costa e das linhas de água. Devido a sua beleza paisagística e qualidade de vida, estas zonas estão geralmente dotadas de rede de transportes que segue paralelo aos corredores, atraindo muitos turistas e população que procura comprar segunda habitação.

A base do LTM integra habitualmente algumas das variáveis referidas acima: os transportes (auto-estradas, estradas nacionais, ruas residenciais), as características da paisagem (rios, lagos, linha de costa), aglomerados urbano, zonas de exclusão (Pijanowski, et al , 2001; Pijanowski, et al. 2002; Pijanowski, et al, 2005) espaços recreativos e qualidade de vista (Pijanowski, et al. 2002).

No entanto, com base nas forças motoras apresentadas pela EEA/JRC, adicionaram-se algumas variáveis ao modelo tais como: a presença do solo agrícola e solo florestal, proximidade aos aeroportos, rede ferroviária e densidade populacional.

Interessa acrescentar que a escolha das variáveis da expansão do uso do solo urbana foi baseada nos seguintes pressupostos:

- Os dados utilizados são de carácter multivariado implicando a inexistência de um modelo determinístico, neste sentido, pressupõe que "as relações que ocorrem de forma consistente num conjunto de dados repetir-se-ão em observações futuras" (Bação, 2006). Em grandes projectos tais como o PRELUDE, ForeScene ou Imagine esta fase englobou a interacção de vários *experts*, políticos e público interessado. Apesar destes estudos se distinguirem relativamente às metodologia utilizadas para a operacionalização das previsões e cenários, são na sua grande maioria unânimes quanto às principais variáveis preditivas. Neste sentido, a identificação das forças condutoras para este estudo, partiu deste conhecimento adquirido.
- A questão do desenvolvimento urbano neste estudo tem de ser definida e compreendida no contexto regional em que a dinâmica da expansão urbana é operacional.
- A escolha das variáveis deve ser apropriada ao problema que queremos modelar e devidamente sustentada por literatura científica.

#### **4.1.2 Preparação dos dados**

Depois de escolher as forças motoras foi necessário criar uma base de dados com todas as variáveis preditivas, usos de solo e zonas com restrições ao desenvolvimento urbano. Esta base de dados contém informação em formato *raster* e *vectorial*, com o sistema de coordenadas datum "European\_Terrestrial\_Reference\_System\_1989" projecção "Lambert Azimuthal Equal Area" - ETRS\_1989\_LAEA. Esta base de dados foi construída com o objectivo de fornecer a informação para posteriormente serem aplicadas as regras de espaciais de transição.

#### **4.2. Passo 2: Aplicação das Regras de Transição Espacial**

O passo 2 consistiu, em aplicar as regras de transição que quantificam os efeitos espaciais que uma determinada célula tem na transição do uso do solo. A função *Euclidean Distance* foi utilizada para calcular a distância das estradas, ferrovias, aeroportos, rios, lagos, linha de costa, médias e grandes cidades, áreas urbanas e espaços recreativos. A função *FocalStatistic* foi usada para calcular a

densidade do uso do solo agrícola e florestal. O uso do solo urbano, por sua vez foi classificado com o valor 1 – Presença e o valor 0 – Ausência.

#### **4.2.1 Uso do Solo**

Os dados do uso do solo de 1956, 1987, 1995, 1999 e 2003 foram gentilmente cedidos pela *Consejería de Médio Ambiente de la Junta de Andalucía* (CMAA, 2006f).

Para este tema seria necessário recolher três períodos distintos. Os dois primeiros referentes aos dados históricos e o último referente ao uso do solo actual, ou seja, o ano base. O ano de 2003 foi automaticamente escolhido por ser o ano mais recente. O ano de 1956 não foi utilizado para o modelo visto que partiu-se do princípio que os padrões de desenvolvimento de há 50 anos atrás eram muito diferentes dos actuais. Restam três combinações possíveis: ano de 1987, 1999 e 2003; 1995, 1999 e 2003; 1987, 1995 e 2003. A escolha recaiu sobre a última combinação – 1987, 1995 e 2003, por duas razões: por um lado, contabilizam um intervalo de 8 anos, entre os anos (o mesmo não acontecia com a combinação 1987, 1999 e 2003), por outro, porque o intervalo é suficientemente ajustados ao problema em análise (a combinação 1995, 1999 e 2003, apresenta um intervalo demasiado curto, apenas de 4 anos) (Mapa 1, 2 e 3).

A cartografia do ano de 1995 e 2003, encomendada pela *Consejería de Médio Ambiente de la Junta de Andalucía*, foi gerada a partir da fotointerpretação das diferentes classes de vegetação e usos do solo numa legenda com uma estrutura definida em que se diferenciam 4 grandes classes num primeiro nível, dez num segundo nível, 38 num terceiro nível e 122 num nível máximo (Anexo 3), correspondendo a um nível 6 da legenda Corine. A fotointerpretação teve o apoio de imagens satélite Landsat – Tm com uma resolução 30m, tanto para a reconstituição das unidades fotointerpretadas no voo, como para o processo de actualização que se tem vindo a fazer em cada quatro anos desde 1991 (CMAA, 2006b). Esta cartografia afecta o nível de detalhe desde 1:100 000 a 1:25000. A cartografia do ano de 1987 foi de igual modo gerada a partir da fotointerpretação sobre imagem de satélite Landsat, sensor TM, no entanto afecta nível de detalhe à escala 1:50 000. Por outro lado, esta cartografia distingue-se da outra porque as classes estão distribuídas numa legenda distinta.

Caso de estudo: Modelação das Alterações do Uso do Solo Urbano em Andaluzia

Apesar destas restrições foram feitos todos os esforços para utilizar a cartografia do uso do solo de 1987, uma vez que a legenda do uso do solo urbano era semelhante à dos outros períodos em análise.

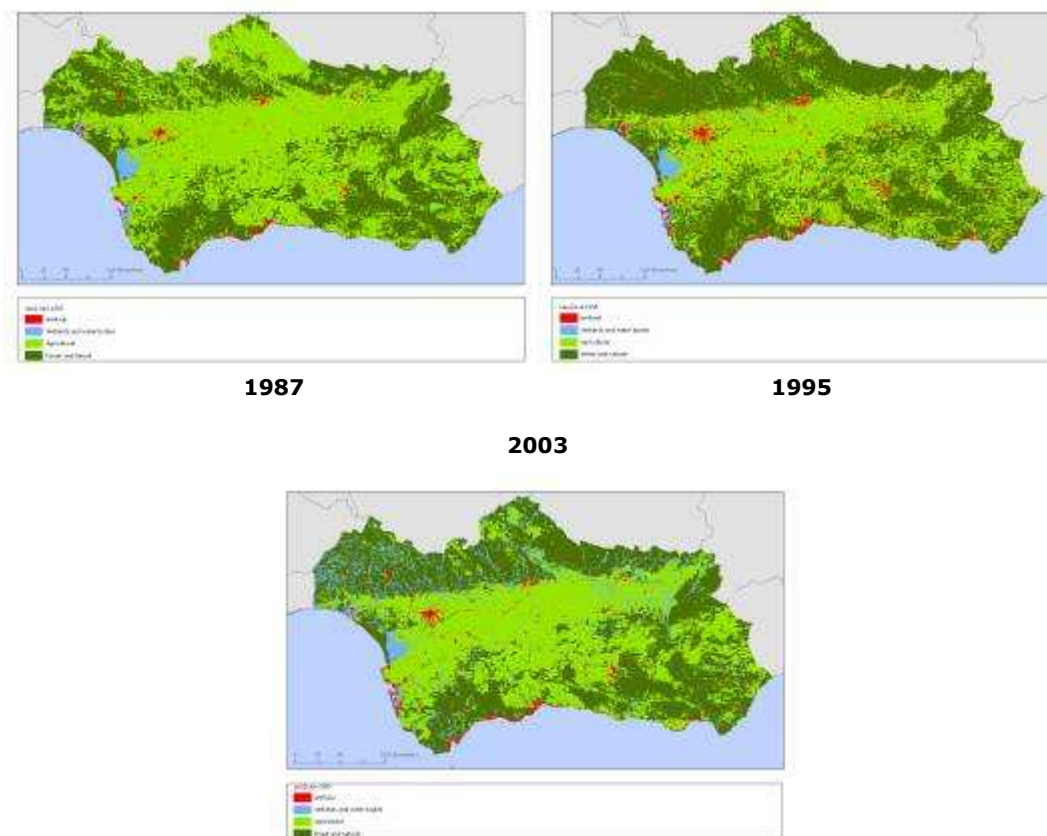


Figura 13 - Mapas de Uso do solo Andaluzia referentes aos anos 1987, 1995 e 2003, (CMAA, 2006f)

#### **4.2.1.1 Solo Urbano**

Ao nível Europeu as alterações do uso do solo entre 1990 e 2000 ocorreram, sobretudo com um aumento do solo urbano, contabilizando um acréscimo de mais de 800 000 ha.

No decorrer desta década um dos típicos padrões de crescimento incidiu, sobretudo ao longo da zona costeira. Em muitos países do Mediterrâneo observa-se o desenvolvimento dos corredores de transportes acompanhando a faixa do litoral. Ancorado a este factor, outras forças motoras como o aumento da população, a forte litoralização e a procura de segunda habitação levam à expansão das zonas urbanas existentes e ao surgimento de pequenos

Por outro lado, tem se observado outro padrão de desenvolvimento urbano, como o aparecimento de pequenas e médias cidades, distância das grandes cidades. Este tipo de padrão de desenvolvimento encontra-se muitas das vezes associado à procura de qualidade de vida e bem estar (EEA, 2005).

Em Andaluzia, em 1956 as áreas artificiais e infra-estruturadas, ocupavam 0,57%. Em 2003 estas áreas passaram a ocupar 2,4%. Ou seja, neste intervalo ocorreu um crescimento relativo de 456,14%, o equivalente a um crescimento de 971, 80 ha por dia. No entanto, tem se observado que o desenvolvimento das cidades poderá estar um pouco longe de se igual ao modelo sustentável. Ao analisar apenas o intervalo de 1999 a 2003, observa-se que apesar das infraestruturas e a população estarem praticamente invariáveis, o parque de veículos cresce ao nível do ritmo da construção. Esta realidade tem como consequência um crescimento urbano disperso, com uma rede de infra-estruturas ineficaz, dificultando o cumprimento do protocolo de Kyoto (CMAA, 2006<sup>a</sup>).

Ao nível provincial, entre 1956 a 2003 a expansão urbana incidiu especialmente em Málaga, Huelva e Cádiz. O crescimento destas áreas urbanas e de outros pequenos aglomerados ao longo do litoral andaluzo encontra-se associado ao padrão de desenvolvimento apresentado anteriormente, ou seja, ao desenvolvimento do turismo nas zonas costeiras.

Dentro das áreas artificiais, observa-se que nem todos os tipos de solo crescem ao mesmo ritmo. Destacam-se as zonas urbanas como sendo o tipo de solo com maior proporção de superfícies artificiais (53,87%) em 2003. No entanto, em 1956 esta percentagem era mais elevada (69,37%) o que leva a crer que tem havido uma atenuação do crescimento das zonas urbana em prol das outras classes das superfícies artificiais.

Para a análise do tema uso do solo urbano de Andaluzia, tendo em conta que nem todas as classes do solo artificial e infraestruturas crescem ao mesmo ritmo, optou-se por seleccionar apenas as zonas urbanas, ou seja, o tecido urbano (classe 111), urbanizações residenciais (115) e urbanizações agrícolas/residenciais (117). Estas classes foram reclassificadas pelo valor 1 – Presença e as restantes com o valor 0 – Ausência (figura 14).

No seguinte mapa podemos observar a cidade de Sevilha em ter períodos distintos: 1987, 1995 e 2003. Numa breve análise visual podemos observar o desenvolvimento do recinto que albergou a Exposição Universal de Sevilha em 1992, evento que transformou por completo a estrutura da cidade e pressupôs uma nova forma de expansão criando novos corredores anteriormente não ocupados. Ao longo da década de 90 os municípios situados na periferia da cidade de Sevilha ofereceram solo aos construtores para construir novas zonas residenciais e habitações sociais, resultando num intenso desenvolvimento das zonas residenciais, bem visível na figura referente ao ano de 2003. Muitas destas novas áreas residenciais são edifícios de dois ou três pisos de altura no máximo, alargando-se desta forma a todo o território.

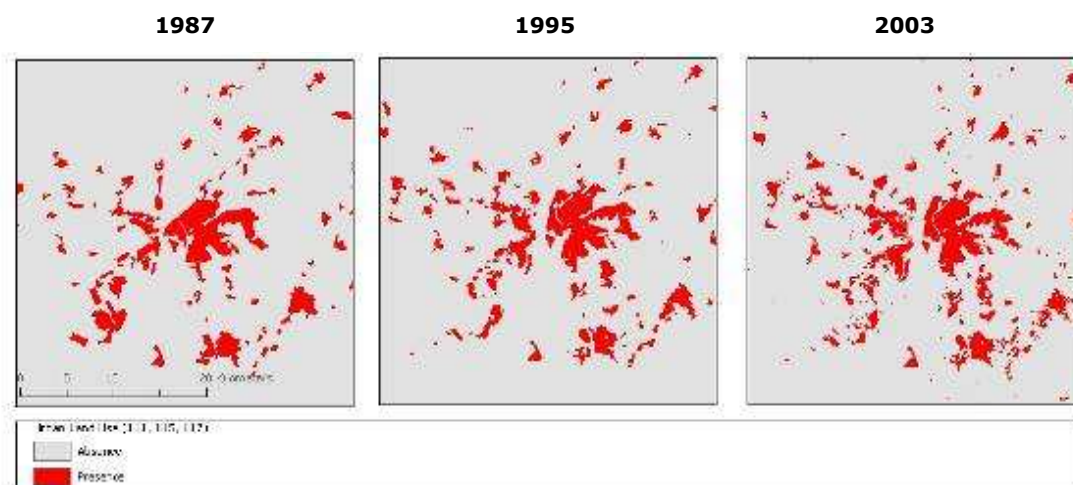


Figura 14 - Mapa de Uso do solo urbano, Sevilha, 1987, 1995 e 2003 (CMAA, 2006f).

#### **4.2.1.1.1. Proximidade aos aglomerados urbanos**

A proximidade às zonas urbanas representa um aumento de valor para o crescimento urbano. Deste mapa é possível analisar quais as áreas mais valorizadas por essa proximidade.

Para elaboração deste mapa foi calculada a função *Euclidean Distance*. Posteriormente os valores reais foram normalizados usando os valores máximos e os mínimos no dimensionamento do conjunto dos dados originais obtendo um conjunto de valores compreendidos entre o 0 e 1 (Figura 15).

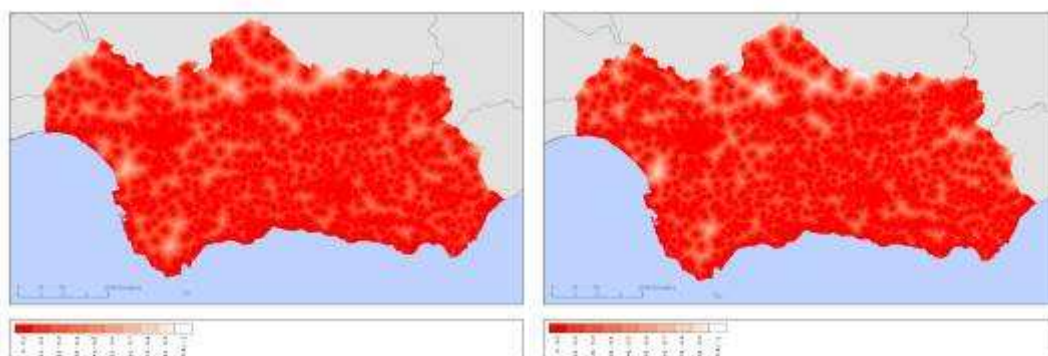


Figura 15 - Mapas da Proximidade ao uso do solo urbano, Andaluzia 1987 e 1995 (CMAA, 2006f).

A partir destes mapas é possível apreciar que o sistema de cidades de Andaluzia cobre praticamente todo o território regional, encontrando algumas áreas de mais claras que são justificadas por zonas protegidas e corredores verdes de onde o crescimento urbano está limitado e em algumas zonas terminantemente proibido.

#### **4.2.1.1.2. Proximidade aos espaços recreativos**

A presença de espaços recreativos e de lazer constitui um elemento de satisfação e conforto nos espaços residenciais, resultando num factor de atractividade à expansão do solo urbano.

Em muitos países do oeste da Europa a expansão das zonas residenciais é acompanhada pelo desenvolvimento dos espaços recreativos, dominado pelos campos de *golf* (EEA, Report 2005).

Em Andaluzia, o desenvolvimento dos espaços recreativos e de lazer está directamente associado ao forte desenvolvimento do sector do turismo. Entre o período de 1956 e 2003, de todos os tipos de solos artificializados, os espaços recreativos e de lazer foram os que obtiveram a maior percentagem de crescimento relativo.

Para analisar esta variável, incluíram-se as Zonas Verdes Urbanas (191) e Equipamentos Desportivos e Recreativos (193). Posteriormente, recorreu-se à função *Euclidean Distance* e normalizou-se para redimensionar os valores numa escala compreendida entre o 0 e 1.

Na figura 16, podemos observar a proximidade aos espaços recreativos nos anos



1987, 1995 e 2003. Numa breve análise visual observam-se ao longo dos três anos o aparecimento novos espaços recreativos incidindo, sobretudo na zona do litoral e em volta dos aglomerados urbanos como Sevilha.

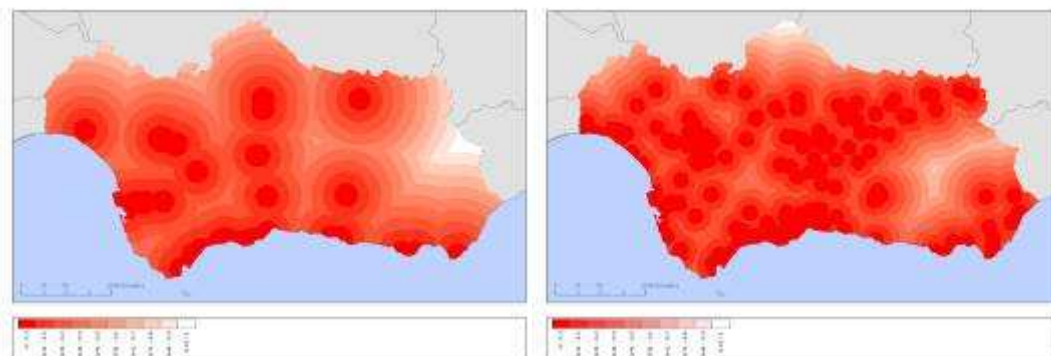


Figura 16 - Mapas da Proximidade aos espaços recreativos, 1987 e 1995 (CMAA, 2006f)

Desde a definição do Sistema de Cidades de Andaluzia e da implementação dos diferentes planos regionais de desenvolvimento que entre 1987 e 1995 se multiplicam de forma considerável os espaços recreativos da região, facilitando à população o acesso a estes espaços em todo o território andaluz.

#### 4.2.1.2. Solo Agrícola

No ponto anterior referiu-se que os solos agrícolas são os mais atractivos ao desenvolvimento urbano por serem universalmente mais baratos e mais fáceis de construir.

Em Andaluzia, as áreas agrícolas em 2003 ocupavam cerca de 44% do território. Apesar de se observar certa estabilidade desde 1956 a 2003 (1956 – 3.842.229 ha e 2003 3.842.229 ha), o solo agrícola foi dos que sofreu mais alterações, registrando 32%. No entanto, essas alterações ocorreram entre os distintos tipos de usos agrícolas.

Neste período, cerca de 89,70% da superfície agrícola continua a ser agrícola, excepto 6,73% de solo perdido para áreas florestais e naturais e 3,05% que deu lugar a solo artificial. Desta análise pode-se afirmar, uma tendência contínua de urbanização de áreas agrícolas, reflorestação ou abandono e zonas naturais que se transformam em agrícolas (CMAA, 2006a).

A variável da densidade do solo agrícola representa a quantidade agrícola, com

um raio de 1 km na vizinhança de cada célula. Esta variável descreve o grau da representação do solo agrícola na paisagem.

Segundo a EEA (2005), durante 1990 e 2000, cerca de 48% do solo que alterou para solo artificial era solo arável e culturas permanentes e 38% pastos e agrícolas mistas (EEA, 2005).

Segundo estes dados, para análise desta variável, apenas se selecionou as classes em sequeiro, vegetação natural e cultivos abandonados:

- Áreas agrícolas homogéneas em sequeiro:
  - Cultivo herbáceo em sequeiro (411),
  - Cultivos lenhosos em sequeiro: olivais (417), vinhas (415) e outros cultivos lenhosos (419);
- Áreas agrícolas heterogéneas em sequeiro:
  - Cultivos herbáceos e lenhosos (441),
  - Associações e mosaicos de cultivos lenhosos em sequeiro: olivais e vinhas (445), outros cultivos herbáceos e lenhosos (449).
- Mosaicos de cultivos com espaços de vegetação natural
  - Cultivos herbáceos e pastos (471),
  - Cultivos herbáceos e vegetação natural lenhosa (473)
  - Cultivos lenhosos e pastos (475)
  - Cultivos lenhosos e vegetação natural lenhosa (477)
  - Outros mosaicos de cultivo e vegetação natural (479)
- Cultivos lenhosos abandonados
  - Olivais abandonados (481)
  - Outros cultivos lenhosos abandonados (489)

Depois de obter um *raster* em que o uso do solo agrícola é representado pelo valor de 1, foi necessário alargar o tamanho do pixel para um pixel 6 vezes maior ( $100 \times 3 = 300$ ), calculando a media dessa agregação, através da função *Aggregate*.

Para obter a dominância do solo agrícola foi calculada a função *FocalStatistic Average*, atribuindo um raio de 1 km numa vizinhança em forma de círculo. O valor de cada *pixel* representa a dominância do solo agrícola.

Ao observar o mapa da densidade das classes do solo agrícola referidas anteriormente no ano de 1987, 1995 e 2003, verificam-se pequenas mudanças nomeadamente no que se refere ao desaparecimento de determinadas áreas e o

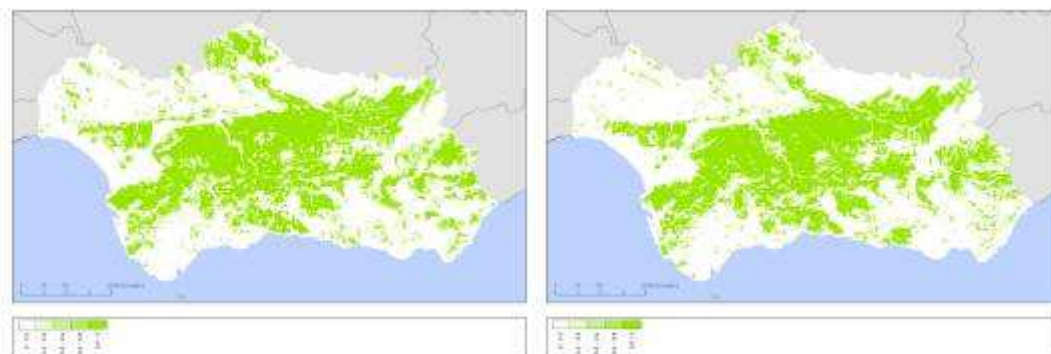


Figura 17 - Mapas de densidade de ocupação do solo Agrícola, em Andaluzia, 1987 e 1995 (CMAA, 2006f)

Nos anos de estudo, o solo ocupado pela agricultura tem se intensificado em zonas muito concretas. Tradicionalmente o vale do rio Guadalquivir tem sido a grande área agrícola de Andaluzia tanto para cereais como para olivais. Nos últimos anos a agricultura tradicional em zonas de montanha é pouco acessível deixando de ser produtivas, no entanto surgiram novas explorações nos corredores entre Sevilha e Huelva como também na costa mediterrânea desde Málaga até Almería.

#### 4.2.1.3. Solo Florestal e solo natural

Ao nível Europeu, uma forte política de florestação do solo agrícola foi subsidiada pela Política Agrícola Comum como alternativa aos agricultores com dificuldades. Esta iniciativa resultou num incremento de 1 milhão de ha de novo solo florestal durante a década de 90 (EEA, 2005). No entanto em Andaluzia, as áreas florestais não aumentaram, muito pelo contrário, sofreram um ligeiro decréscimo. Mesmo contando com um ligeiro decréscimo das áreas florestais e naturais (2,97%) entre 1956 e 2003, estes solos continuam a ser os mais representativos em Andaluzia (50,5%). Deste decréscimo, cerca de 83% foi convertido em solo agrícola e 10% em solo artificial.

Relativamente à evolução destas áreas entre 1956 e 2003, observou-se um importante incremento (17,67%) das zonas arborizadas, em detrimento dos pastos não arborizados e dos matos, o que significa que houve uma melhoria dos espaços florestais e da vegetação natural. (CMAA, 2006<sup>a</sup>)

Anteriormente foi referido que 15% do solo tomado pelo solo urbano é florestal

disperso e vegetação natural. Considerou-se esta fatia importante para inserir no como variável no nosso modelo. Neste sentido, foram seleccionadas todas as classes referentes aos matos dispersos com e sem arborado, ou seja, as classes mais susceptíveis de mudarem a solo urbano (CMAA, 2006b).

- Formações de matos dispersas arborizadas
  - Matos dispersos arborado com quercineas (711, 715)
  - Matos dispersos arborado com coníferas (721,725)
  - Matos dispersos arborado com eucaliptos (730)
  - Matos dispersos arborado com outras folhosa (740)
  - Matos dispersos arborados com quercineas + coníferas (750)
  - Matos dispersos arborados com quercineas + eucaliptos (760)
  - Matos dispersos arborados com coníferas + eucaliptos (770)
  - Matos dispersos arborados: outras misturas (780)
- Matos sem arborado
  - Matos densos (911)
  - Matos dispersos (915, 917)

A densidade do solo florestal foi obtida utilizando a mesma metodologia para o solo agrícola. Converteu-se as classes mencionadas acima para *raster*, reclassificando-as com o valor de 1. Recorreu-se à função *Aggregate* para aumentar 6 vezes o tamanho do pixel original. Por último, foi processada a função *FocalStatistic*, obtendo para cada célula a densidade do solo florestal, num círculo com um raio de 1 km em volta de cada célula (figura 18).

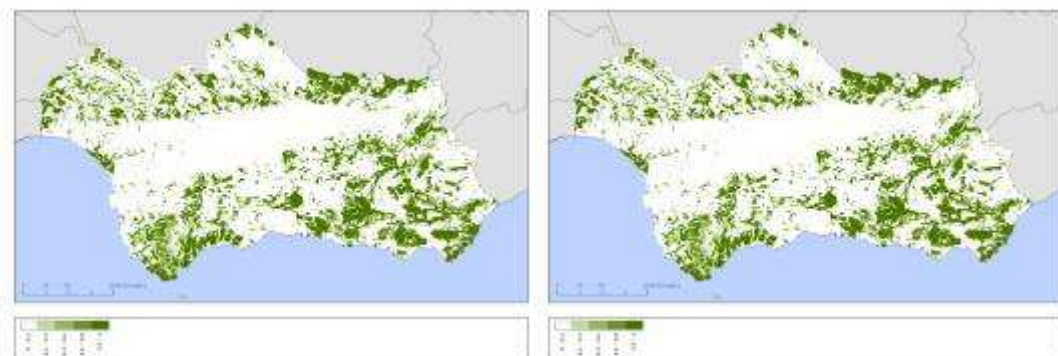


Figura 18 – Mapas de densidade de ocupação do solo Florestal em Andaluzia, 1987 e 1995 (CMAA, 2006f)

Há varias décadas que a Junta de Andaluzia tem vindo a apostar pela conservação e a utilização sustentável dos bosques da região. No período de

estudo as alterações verificam-se em todas aquelas zonas que foram classificadas como figuras do Parque Natural de onde se verifica um incremento da concentração e qualidade florestal. As alterações negativas nas áreas florestais só ocorreram em algumas áreas locais.

#### **4.2.2 Redes de transportes de Andaluzia**

De modo geral todo o território Andaluzo tem condições para o desenvolvimento de infra-estruturas de transportes e comunicações sendo notavelmente mais difíceis nas regiões montanhosas e no litoral. Ainda que as modernas tecnologias consigam atenuar os obstáculos ao desenvolvimento das redes, estas soluções são mais custosas e implicam questões ambientais.

De modo geral, em Andaluzia, o desenvolvimento das infra-estruturas aproveita os corredores naturais, como o "*Valle Del Guadalquivir*", "*Valle Del Guadiato*", "*Valle Del Guadiaro*", "*Valle Del Guadalhorce*" e "*Valle Del Guadalfeo*" (COPT, 2006).

No ponto anterior foi referido que existe uma forte relação entre a proximidade das infra-estruturas de transportes e a expansão urbana. Para esta análise, optou-se por calcular a distância das principais redes de transportes na Andaluzia: rede viária, rede ferroviária e aeroportuária.

A mesma metodologia foi usada para a construção dos mapas temáticos das redes de transportes. Após recolha dos dados, o passo seguinte consistiu em armazená-los no SIG e aplicar as regras espaciais de transição que consiste em quantificar o efeito espacial de cada célula sobre a transição do solo' (Pijanowski et al., 2002). Por outras palavras, foi atribuído um valor a cada célula que represente a distância às auto-pistas, vias-rápidas, outras estradas, ferrovias e aeroportos. Para produzir estes mapas, calculou-se a função *Euclidean Distance* e posteriormente, normalizou-se, usando os valores mínimos e máximos no dimensionamento do conjunto de dados originais, obtendo um conjunto de dados com valores entre 0 e 1.

##### **4.2.2.1. Rede Viária**

Com base na análise histórica efectuada para o "Plano de Infraestruturas de Andaluzia 1997-2007" pela *Consejería de Obras Publicas e Transportes*, o desenvolvimento das redes viárias está fortemente correlacionado com o crescimento económico das regiões. No entanto, verifica-se uma maior

aceleração do crescimento económico do que do crescimento da rede viária. No caso de Andaluzia, o relevo acidentado e os obstáculos orográficos (Sierra Morena, Sierra SubBéticas e Sierra PeniBéticas) explicam parcialmente a existência de uma rede ineficaz, originando o aumento do custo unitário e a redução da densidade das vias. Ao dizer que há um deficit da rede viária pressupõe uma grande limitação do desenvolvimento económico.

Em Andaluzia, as estradas são as infra-estruturas com maior capacidade de articulação territorial, visto que conectam entre si a totalidade entre os núcleos de população, centros de produção e serve de apoio a outros transportes.

A rede viária actual tem como origem uma base histórica de vias e caminhos traçados na época romana. Em meados do sec. XX, em Andaluzia vivia-se um período caracterizado por um débil grau de mobilidade da população e um fraco dinamismo das actividades económicas. Na década de 60, o crescimento económico provocou um forte aumento dos níveis de mobilização e tráfego de passageiros e mercadorias, colocando Andaluzia mais próxima da media nacional e europeia. No entanto o aumento de procura não foi acompanhado de modo suficiente pela oferta da rede viária. Em 1970 somente uma pequena percentagem da rede viária possuía um eixo suficiente para assegurar comunicações rápidas e seguras. A década de 80 foi o ponto de viragem para a rede de transportes viários. Neste período, ainda que subsistisse uma situação desvantajosa com relação aos países mais avançados, Andaluzia, conseguiu reduzir as diferenças colocando-se no mesmo caminho das outras regiões de Espanha e países europeus.

Nos últimos anos, destaca-se o intenso desenvolvimento das auto-vias e auto-pistas da Comunidade Autónoma Andaluza e do Estado, que proporcionaram uma grande melhoria nas acessibilidade com o exterior e ao nível de conexão interna. O desenvolvimento da Rede Principal da Junta de Andaluzia e da Rede de Interesse Geral do Estado permitiu a canalização dos fluxos económicos e das principais áreas de produção e consumo, bem como da organização artérias principalmente das aglomerações urbanas tanto no vale de Guadalquivir como no litoral Mediterrâneo.

Nas áreas de montanha o desenvolvimento tem sido mais contido. O projecto de uma via nestas áreas implica o respeito pelos espaços protegidos. Por outro lado

a rede viária adaptou-se as características da baixa procura e povoamento disperso em pequenos. Deste modo, os projectos têm de respeitar os espaços protegidos.

A mobilidade interior e os acessos aos sistemas gerais de infra-estruturas e equipamentos nas áreas agrícolas interiores tem melhorado notavelmente graças ao desenvolvimento da Rede Principal.

No ano de 1984, inicia-se uma nova etapa na rede viária regional com a transferência das competências para a Junta da Andaluzia. (COPT, 2006). Em 1987, surge o primeiro plano regional chamado Plano de Estradas de Andaluzia 1987 – 1994. Este plano abrange a Rede Principal que assegura a mobilidade de carácter geral (Rede Básica e Inter-Comarcal), a Rede Secundária que assegura a mobilidade de carácter local (Rede Comarcal e Local) e inclui o desenvolvimento de uma Rede Viária de Grande Capacidade a nível nacional que faz parte de uma rede trans-europeia prevista para 2010. Esta rede foi desenhada para grandes volumes de tráfego, comodidade e elevado nível de qualidade. O desenvolvimento tem sido muito importante, no entanto com as previsões do aumento do tráfego entre 20% a 40% entre 1997 e 2007, leva a crer um esgotamento das capacidades das estradas e conseqüentemente dificultar o desenvolvimento económico da região.

A análise da rede viária traduziu-se na recolha de dados históricos referentes aos anos 1987 e 1995. Esta tarefa revelou-se da maior complexidade visto que, a excepção das auto-estradas construídas recentemente das quais foi possível retirar a data da inauguração, não existiam quaisquer registos do ano de construção das estradas (nacionais, comarcais e provinciais). A solução consistiu em partir do princípio de que todas as estradas sem registos do ano foram construídas antes de 1990 (figura 19).

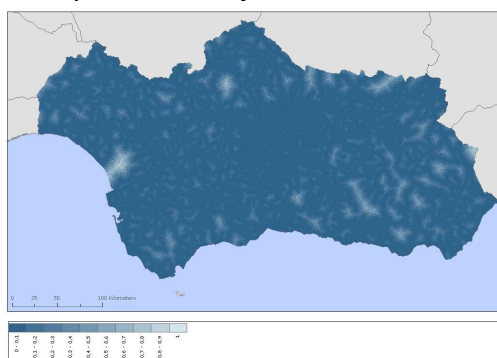
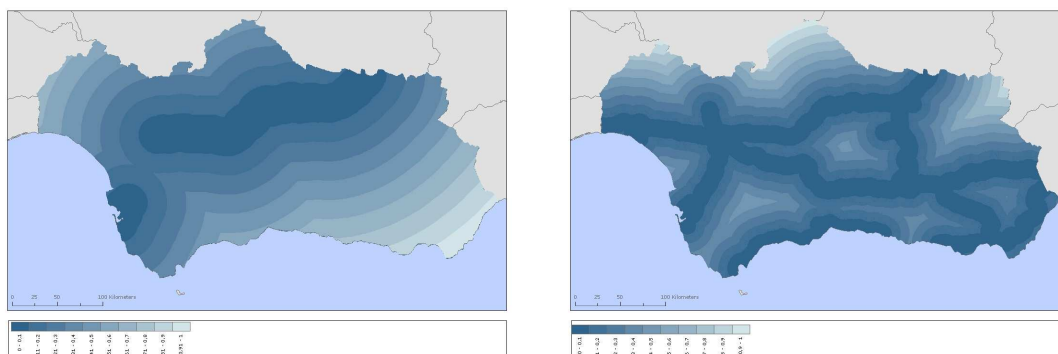


Figura 19 - Mapas de caracterização da rede viária em Andaluzia (COPT, 2006)

#### 4.2.2.2. Rede Ferroviária

Até a década de 80 as ferrovias em Espanha eram muito precárias. Entre 1986 e 1992 ocorreram importantes acontecimentos que marcaram o ponto de viragem. Por um lado, surgiu uma nova linha de ligação a Andaluzia, em 1987, chamada NAFA (*Nuevo Acceso Ferroviario a Andaluzia*) que fazia a ligação de Madrid – Andaluzia, criada com o objectivo de descongestionar o tráfego que se fazia sentir neste trajecto.

Outro importante acontecimento ocorreu em 1992 com a Exposição Universal de Sevilha que originou a criação de uma linha de AVE - Alta Velocidade (Madrid-Ciudad Real-Puertollano-Sevilla).

De modo geral, verifica-se que em matéria de transportes de passageiros ocorrem dois fenómenos que fazem ressuscitar o transporte ferroviário em Espanha. Por um lado a linha de Alta Velocidade Madrid-Ciudad Real-Puertollano-Sevilla, em 1992 com o motivo da Exposição Universal, por outro, em finais



Caso de estudo: Modelação das Alterações do Uso do Solo Urbano em Andaluzia

de 1990 iniciam a criação dos *Planos Metropolitanos de Cercanias*, primeiro desenvolvido em Madrid e depois estendido a outras regiões de Espanha incluindo Andaluzia (Montes, 2000).

Em finais de 2007 foi inaugurado uma nova linha em Andaluzia, que faz a ligação Madrid-Málaga

A expansão geográfica das ferrovias é um dos factores com maior peso no desenvolvimento urbano. Para além da rapidez e segurança, o transporte ferroviário tem capacidade de carregar grandes mercadorias. Como consequência, observa-se uma relação directa entre a proximidade da rede ferroviária com o crescimento urbano.

Em Andaluzia, a rede ferroviária não sofreu grandes alterações desde o ano 1987 a 1995. À excepção da nova linha de alta velocidade que liga Madrid – Córdoba – Sevilha inaugurada em 1992, só foi criada uma nova ligação no ano 2007 a Málaga (figura 20).

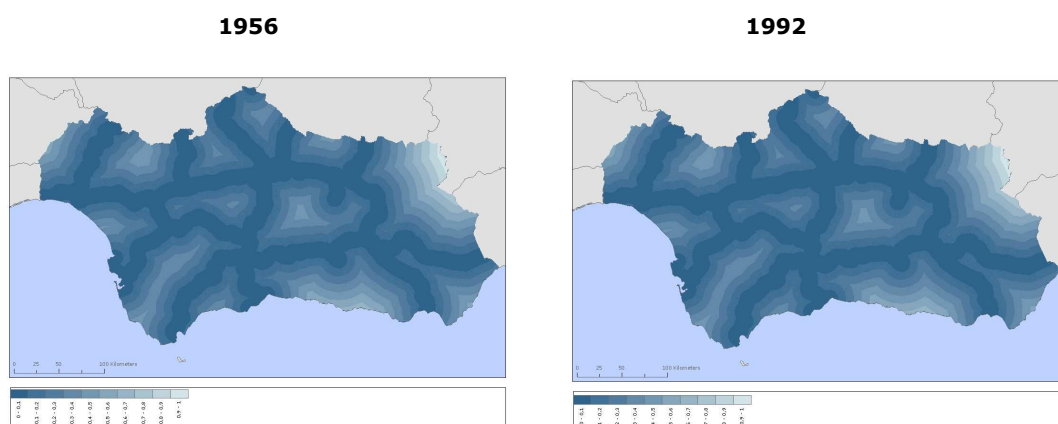


Figura 20 - Mapas de caracterização da rede Ferroviária em Andaluzia (COPT, 2006)

#### 4.2.2.3 Aeroportos

O aumento das estrutura aeroportuárias leva inevitavelmente à expansão urbana e a todos os seus descendentes. A criação de um novo aeroporto requer o desenvolvimento de novas infra-estruturas viárias e ferroviárias, o aparecimento de mais serviços e comércio e a criação de emprego directo ou indirecto (Transport2000, 2005).

A história do desenvolvimento da aviação civil em Andaluzia é relativamente recente. Em 1950 só existiam os aeroportos de Málaga e Sevilha que efectuavam

vôos internacionais. O verdadeiro desenvolvimento da rede aeroviária ocorreu em meados da década de 70, consequência da crescente procura turística da costa do sol. O aeroporto de Málaga recebia em 1965 cerca de 300 000 passageiros e em 1992 alcançou os 4 864 000 de passageiros (COPT, 2006). Para além de Málaga e Sevilha, até 1987 foram construídos mais quatro aeroportos: Jerez e Almería com vôos internacionais, Córdoba e Granada com vôos nacionais (figura 21). Segundo o Plano de Infraestruturas de Andaluzia 1997-2007, estas infra-estruturas garantem a viabilidade deste meio de transporte e a acessibilidade do mesmo a todo o território. Visto que depois de 1987 não foram construídos mais aeroportos, o mapa temático construído foi utilizado nos dois períodos de análise (1987 e 1995).

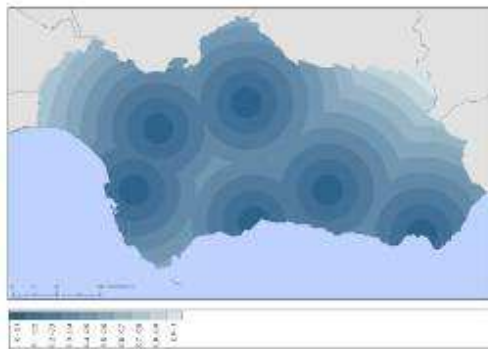


Figura 21 - Distância aos Aeroportos em Andaluzia, 1987 (COPT, 2006)

#### **4.2.3 Proximidades às grandes cidades**

O desenvolvimento urbano está muito das vezes associada à proximidade das médias e grandes cidades. Em Espanha e Portugal entre 1990 e 2000 observou-se o desenvolvimento de aglomerados urbanos em torno das áreas metropolitanas, principalmente na zona costeira (EEA, 2007). A proximidade às grandes cidades pode ter uma relação com a expansão urbana de pequenos aglomerados.

Neste estudo optou-se por analisar a influência da proximidade das grandes cidades. Segundo Cheshire et al. (1988) à escala europeia as grandes cidades tem mais de 250 000 habitantes (Cheshire et al, 1988 in Costa, 2002) neste sentido, para análise desta variável recorreu-se aos dados censitários da população por municípios. Como não existiam dados da população para os anos em análise, 1987 e 1995, recolheram os dados dos anos mais próximos, 1991 e 2001, respectivamente. Destes dados seleccionaram-se cidades com população

Caso de estudo: Modelação das Alterações do Uso do Solo Urbano em Andaluzia

superior a 250 000 habitantes. Em seguida calculou-se a função *Euclidean Distance* e normalizou-se usando os valores mínimos e máximos no dimensionamento do conjunto dos dados originais, obtendo um conjunto de dados com valores entre 0 e 1 (figura 22).

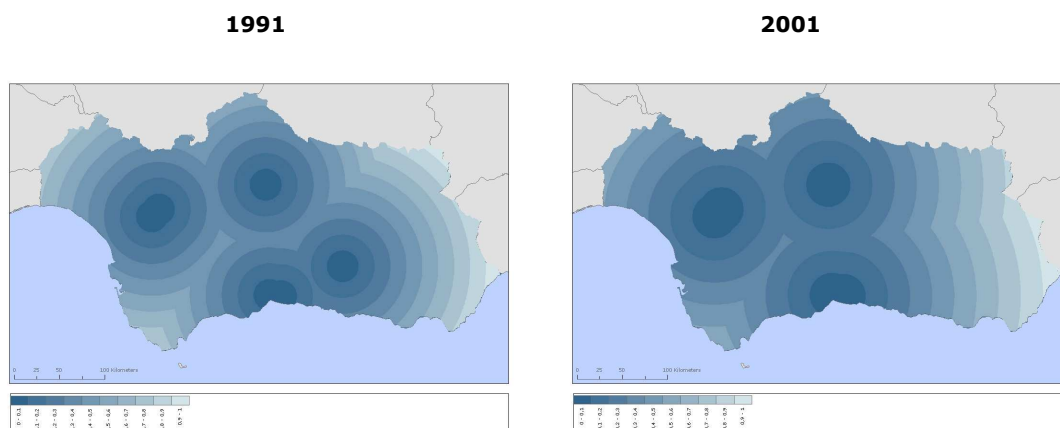


Figura 22 - Mapas da Distância às grandes cidades (mais de 250 000 hab.) em Andaluzia 1991 e 2001 (INE, 1991 e 2001)

#### 4.2.4 Densidade Populacional

Historicamente o crescimento das cidades tem sido impulsionado pelo crescimento da população. No entanto hoje em dia é difícil associar crescimento da população à expansão urbana, isto porque o padrão de crescimento urbano tem se alterado. Com a melhoria das infra-estruturas de transportes e com o reforço das ligações de mobilidade pessoal, é possível viver cada vez mais longe do centro da cidade, mantendo, todas as vantagens da proximidade da cidade. A densidade populacional quando usada conjuntamente com outras variáveis é considerado um bom indicador de expansão urbana, visto que as áreas com os impactos mais visíveis da expansão urbana são os países ou regiões com elevada densidade populacional e com a actividade económica dinâmica (EEA, 2007).

Os dados da densidade populacional para Andaluzia foram recolhidos dos censos da população por municípios, para o ano 1991 e 2001. Estes dados foram integrados no SIG, seguido do cálculo da densidade populacional dividindo o número de habitantes por município, pela área do município. Por último, estes dados foram convertidos para uma superfície *raster* e normalizados obtendo um conjunto de dados com valores entre 0 e 1 (figura 23).

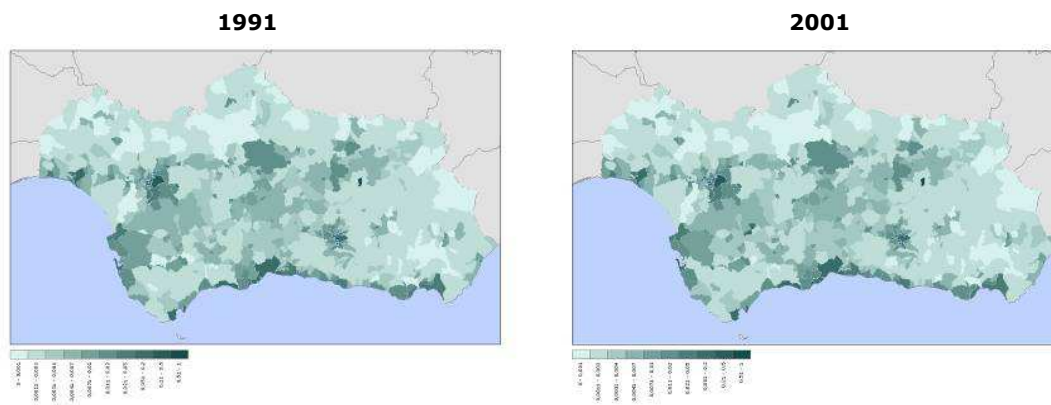


Figura 23 - Mapas de Densidade Populacional (Hab./km<sup>2</sup>) em Andaluzia, 1991 e 2001 (INE 1991 e 2001)

#### 4.2.5 Características da Paisagem

Nas características da paisagem de Andaluzia incluem-se as seguintes variáveis: proximidade às superfícies de água (incluem-se lagos e cursos de água) e proximidade à zona costeira.

##### 4.2.5.1. Proximidade aos Cursos de Água e Proximidade aos Lagos

A água é um elemento de carácter insubstituível à actividade humana. Por um lado, a disponibilidade da água, para o abastecimento dos diferentes usos (agrícola, urbano e industrial) converteu-se num excelente indicador de desenvolvimento económico. Por outro, a presença da água teve desde sempre um valor acrescentado ao nível paisagístico, sendo zonas eleitas para o desenvolvimento de espaços recreativos, desporto e de lazer (C.M.A.A, 2006).

A proximidade aos cursos de água e lagos representa um incremento de valor à expansão urbana (Pijanowski et al, 2002). Do resultado desta variável é possível avaliar quais as áreas que mais valorizadas pela proximidade aos cursos de água e lagos.

Para a análise das superfícies de água, recorreu-se aos dados do Instituto de Cartografia de Andaluzia (ICA, 2008). Estes dados foram integrados no software SIG. Posteriormente, recorreu-se novamente à função *Euclidean Distance* para quantificar o efeito espacial de cada célula sobre a transição do solo. Por último, os dados foram normalizados para obter uma escala de valores compreendido

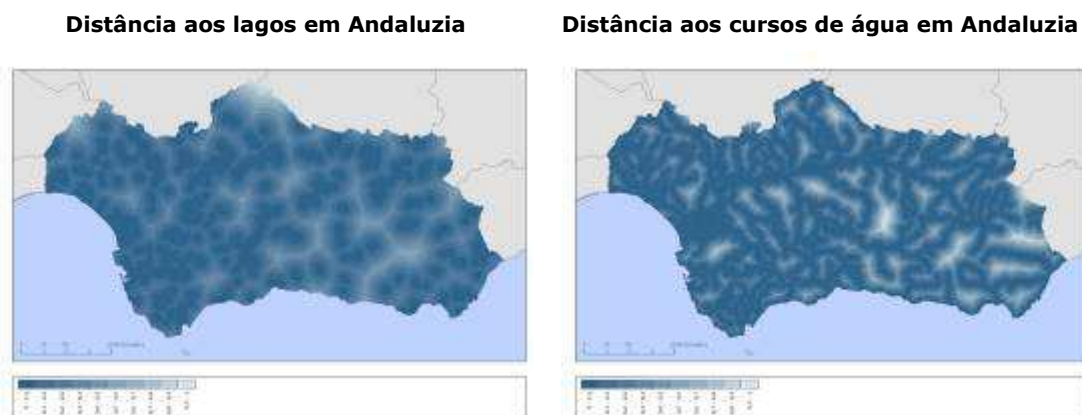


Figura 24 - Proximidade às superfícies de água (Fonte: CMAA, 2006).

#### 4.2.5.2. Proximidade à Zona Costeira

O desenvolvimento urbano é particularmente importante na zona costeira. A artificialização das zonas costeiras durante a década de 90 fez-se sentir particularmente no Mediterrâneo. Ancorado ao forte desenvolvimento de infra-estruturas, que acompanham as linhas de água e as zonas costeiras, surgem as atractividades para os turistas e as habitações individuais de pessoas que procuram elevada qualidade de vida (EEA, 2005).

A costa Andaluza é de igual modo afectada por este padrão de desenvolvimento. Na ocupação dos espaços litorais encontram-se actividades relativamente intensivas de carácter variado, como actividades relacionadas com a indústria turística, a implementação e exploração da agricultura intensiva e com a conservação de espaços naturais. Ainda que os usos são muito mais numerosos e em alguns casos derivados de actividades próprias do litoral como a pesca, a agricultura ou infra-estruturas de transporte marítimo, existem zonas em que a tensão sobre o meio é maior, pela afectação dos processos causados pela artificialização do turismo.

Entre 1956 e 2003 a evolução do uso do solo artificial na costa Andaluza num raio de 25 km, foi de 552, 04%. Quando delimitamos esse raio entre os 5 a 10 km, observa-se que a evolução foi de 740% (CMAA, 2006a).

Estes dados justificam a importância de analisar a proximidade à linha de costa. A linha de costa foi cedida pela *Consejería del Medio Ambiente de Andaluzia*

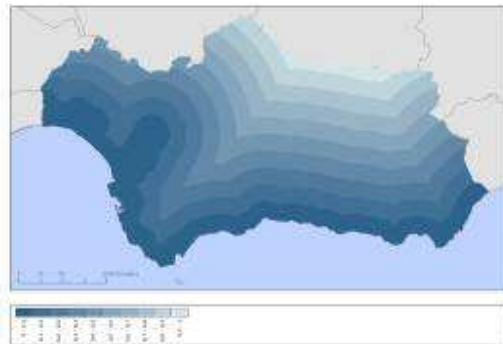


Figura 25 - Proximidade à linha de costa (CMAA, 2006A)

#### 4.2.6 Zonas excluídas

As zonas excluídas incluem todas as áreas para onde a expansão urbana está proibida de ocorrer. Este tema é composto pelas seguintes layers:

- As áreas artificializadas em 1987, 1995 e 2003, incluem todas as classes de nível 1 (Anexo 3);
- Corredores de transportes em 1987 e 2003 incluem a rede ferroviária e rodoviária;
- Superfícies de água incluem as linhas de água e lagos;
- Espaços Natura, incluem todas as áreas protegidas em Andaluzia;
- Património Histórico inclui conjuntos históricos e imóveis.

Depois de classificar a presença destas *layers* com o mesmo valor, calculou-se a função *Merge*, para obter o tema Zonas Excluídas.

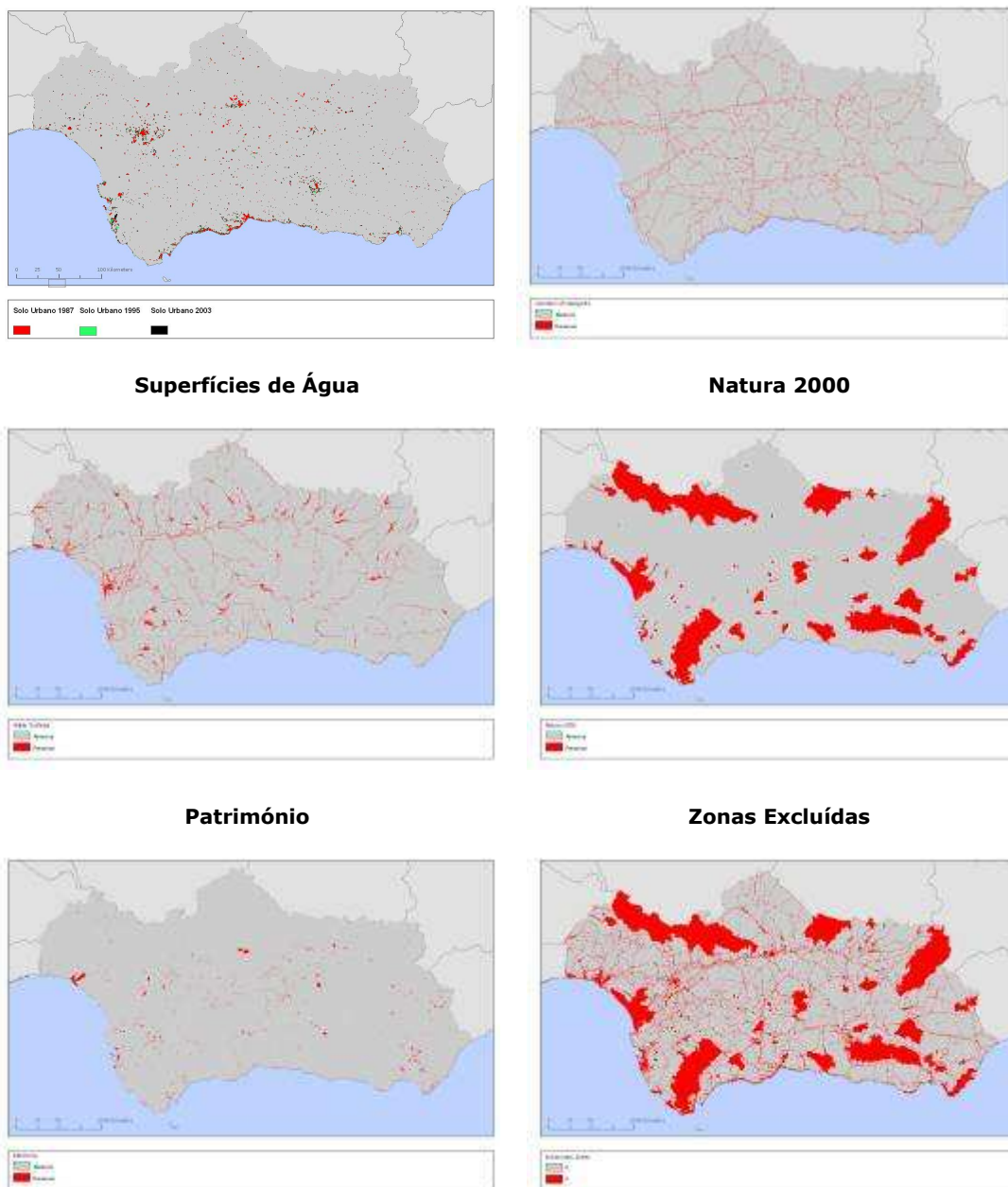


Figura 26 - Zonas Excluídas – Zonas Urbana (1987/1995 e 1003), corredores de transportes (1987 e 2003), superfícies de água, Natura 2000, Património

#### 4.2.7 Resumo e conversão dos dados para ASCII

A tabela 5 apresenta um resumo dos métodos utilizados no pré-processamento dos dados: variáveis utilizadas no modelo, quais as funções e a descrição de cada tema.



	<b>Informação</b>	<b>Função</b>	<b>Discrição</b>
<b>Transportes</b>	Auto-estradas e vias-rápidas	<i>Euclidean Distance</i>	A rede de transportes actua como um factor de atractividade áreas urbanas. Deste resultado é possível analisar quais áreas mais valorizadas pela proximidade.
	Estradas		
	Outras estradas		
	Ferrovias		
	Aeroportos		
<b>Uso de solo</b>	Urbano	<i>Euclidean Distance</i>	A proximidade a estes tipos de uso do solo representam um factor de atractividade ao desenvolvimento das áreas urbanas. Deste resultado é possível avaliar quais as áreas mais valorizadas pela proximidade.
	Recreativo	<i>Densidade Focal Statistic</i>	A densidade destas variáveis representa a quantidade de solo Agrícola e florestal num raio de 3 km em volta de cada célula. Estas variáveis descrevem o grau de dominância desse tipo de uso do solo.
	Agricultura		
	Florestal	<i>Densidade Focal Statistic Radium 3 circle</i>	
<b>População</b>	Densidade populacional	<i>Densidade populacional NUTS 4 Convert feature to raster</i>	A densidade populacional descreve a possibilidade de ocorrer expansão urbana.
<b>Zonas Excluídas</b>	Solo Urbano 1987/1995 e 2003	<i>Merge Reclassify Raster Calculate</i>	Áreas onde não pode ocorrer expansão urbana.
	Corredores de transportes		
	Superfície de água		
	Natura 2000		
	Património		
<b>Características da Paisagem</b>	Lagos	<i>Euclidean Distance</i>	A proximidade a estas características representa um incremento à expansão urbana.
	Rios		
	Linha de costa		
<b>Grandes Cidades</b>	Grandes cidades	<i>Euclidean Distance</i>	A distância às grandes cidades em Andaluzia representa um factor de atractividade ao desenvolvimento urbano.

Tabela 5 - Resumo dos métodos utilizados no pré-processamento dos dados

Numa fase em que todas as variáveis preditivas, zonas de exclusões e temas do uso do solo urbano estão devidamente pré-processadas o passo seguinte consistiu em converter os *raster's* em ficheiros ASCII<sup>4</sup>, com o cuidado de verificar se todos estes continham o mesmo tamanho de *pixel* (100m) e o mesmo número de linhas e colunas (5116 e 2871 respectivamente).

4 ASCII é o acrónimo de American Standard Code for Information Interchange e foi estabelecido para conseguir a compatibilidade entre vários tipos de equipamentos de processamento de dados



### 4.3 Passo 3: Parametrização da Rede Neuronal Artificial

Antes de avançar para a explicação da parametrização da RNA, importa referir que o modelo LTM foi executado 10 vezes:

- As mesmas variáveis para dois anos base distintos, 1987 e 1995, no sentido de ver se ocorriam grandes diferenças entre um ano e outro.
- Grupos de variáveis diferentes para o mesmo ano, no sentido de ver qual a influencia de cada tema de variáveis tinha as alterações do uso solo urbano em Andaluzia.

No LTM a RNA é construída para examinar a habilidade em localizar as células de alteração do uso do solo (neste caso solo urbano) e para obter melhor entendimento do contributo das variáveis para o desempenho do modelo.

A primeira fase deste passo consiste em preparar e treinar a RNA:

- a) Criar o Inputfile.txt, consiste em dizer a rede quais são os ficheiros necessários para obter a informação a partir das variáveis (Anexo 4).
- b) Criar um ficheiro com a estrutura da rede (Anexo 5 (A)). A figura 26 mostra o exemplo de uma estrutura de RN usada para o caso prático. Neste caso a rede apresenta três camadas com nove variáveis (uma camada de input com nove nós, uma camada oculta ou escondida com nove nós e uma camada de output com um nó).

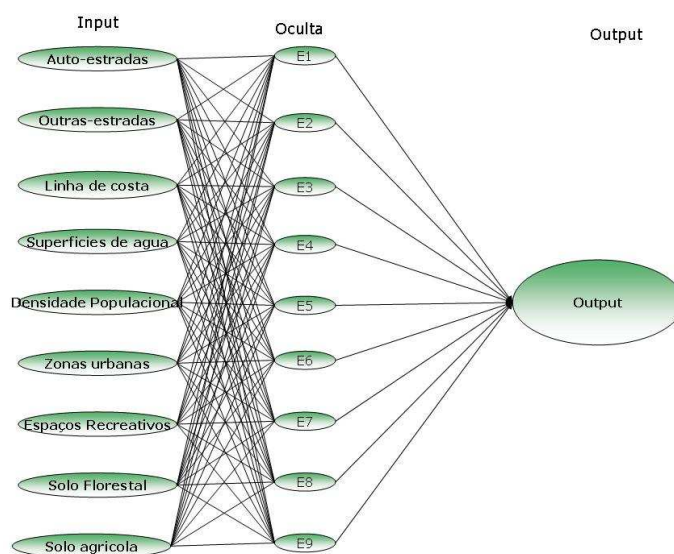


Figura 27 - Exemplo de uma estrutura de rede com nove variáveis usada no caso prático

- c) Criar o padrão da rede, ou seja, informa a rede de qual o valor de cada célula, para todas as variáveis. Neste caso, este comando utiliza o ficheiro `Inputfile.txt` para criar a informação necessária para que a RNA reconheça que células irá treinar. (Anexo 5 (B))
- d) Treinar a rede usando o conjunto de dados que resultaram do passo 2 (ficheiros ASCII) (Anexo 5 (C)).

De acordo com o algoritmo de aprendizagem a rede irá ajustar os pesos aplicados a cada nó de forma a reduzir o erro. A fase do treino consiste em apresentar os dados à rede em ciclos repetidos. Um ciclo completo é definido como a apresentação de todas as células treinadas à rede. Cada vez que os dados são apresentados à rede alimentada para frente, os dados são retro-propagados e desta forma o erro vai reduzindo (Pijanowski et al., 2005).

A rede foi treinada com os dados de treino e o erro gerado pelo SNNS. Para cada 100 ciclos saía um ficheiro que é usado posteriormente para a fase de teste. O valor do erro é guardado num ficheiro chamado *traincycles.csv* e uma vez terminado a fase de treino é possível ver quando é que o erro estabilizou.

O grande problema desta fase é tentar descobrir quando é que o erro está estabilizado. Nesta fase o usuário não tem o controle na tentativa de reduzir o erro. Uma vez que os dados estão a ser treinados, o usuário não tem acesso aos ficheiros produzidos porque estes só estão disponíveis no final do treino. Sem acesso a esses ficheiros, mesmo um usuário experiente pode não ser capaz de determinar o número necessário de ciclos. Apesar da velocidade dos processadores actuais, a formação de redes neuronais tem um consumo elevado de tempo, especialmente quando se trabalha com grandes redes e dados.

A prática da simulação da rede depende sobretudo das tentativas-erro.

Neste caso pratico, fizeram-se três experiências:

- Deixar a rede correr até aos 10 000 ciclos: tempo de treino – dependendo do número de variáveis (6 a 12) demorou aproximadamente 4 dias;
- Deixar a rede correr até aos 25 000 ciclos: tempo de treino – com seis variáveis demorou aproximadamente 8 dias;
- Deixar a rede correr até aos 30 000 ciclos: tempo de treino – com seis

Depois destas experiências, verificou-se que a partir dos 10 000 ciclos a rede não mostrou sinais de melhora. Neste sentido, uma vez que não valia a pena despende mais tempo a treinar a rede, optou-se por daí em diante, utilizar como número máximo de ciclos de treino este limite.

A segunda fase deste passo ocorre quando o utilizador acredita que conseguiu reduzir ao máximo o erro, consiste:

- a) Voltar ao *Inputfile.txt* para alterar a fase de treino (0) a fase de teste (2). A diferença entre a fase de treino e a fase do teste é que no primeiro caso o uso de solo urbano do ano base e o uso do solo urbano do ano actual são tidos em conta para criar um arquivo chamado *real\_changes.asc*. Guardar como *Inputfile-test.txt*.
- b) Criar o novo padrão da rede, usando o novo ficheiro *Inputfile-test.txt* (Anexo 6 (A)).
- c) Converter o ficheiro *real\_changes.asc* para *Raster* para verificar as alterações do uso do solo urbano que ocorreram entre 1987 e 2003 (figura 28).

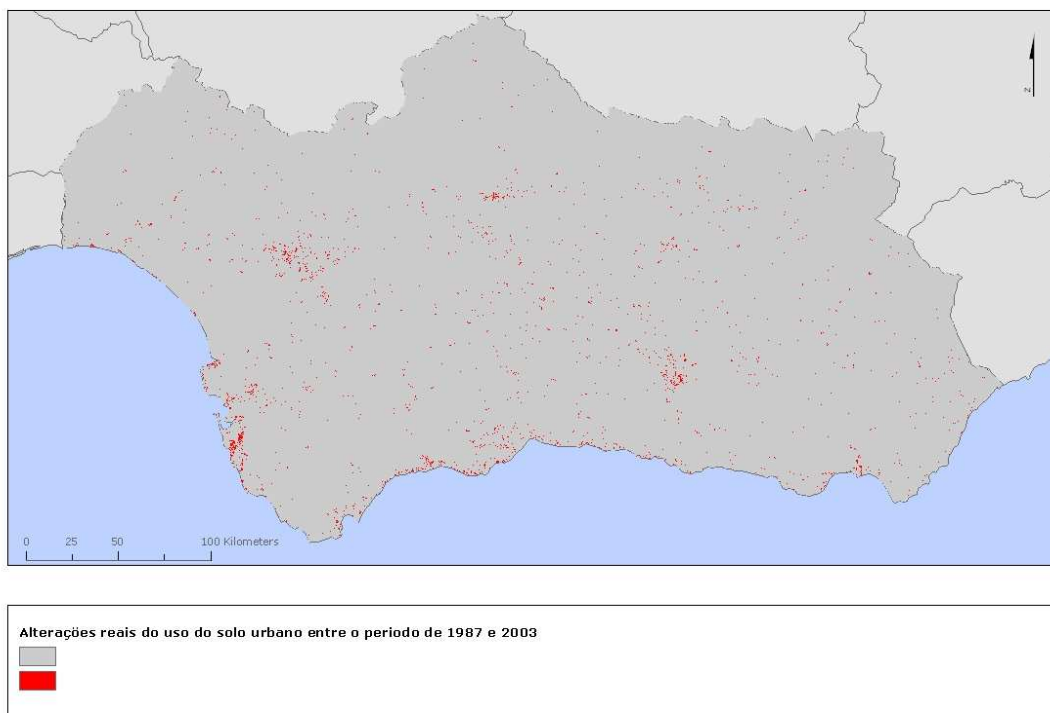


Figura 28 - Alterações reais do uso do solo urbano em Andaluzia entre 1987 e 2003

- d) Editar o *Batch-Tests.bat*, alterando o nome do ficheiro referente ao uso do solo base (*solo\_urb\_87.asc*), o nome do ficheiro referente às alterações reais (*real\_changes.asc*) e introduzir o número de células que alteraram durante o período em causa (entre o ano de 1987 e 2003 alteraram 56932 células) (Anexo 6 (B)).
- e) Testar a rede (Anexo 6 (C)) Desta operação resulta um mapa com a probabilidade de alterações do uso do solo para urbano (*res\_10000.asc*) e a partir deste mapa o programa toma as 56923 células com o máximo de probabilidade e classifica-as como "1" as células que alteraram e como "0" as células onde não ocorreu alteração (*ts\_10000.asc*) (figura 29).

Para além do mapa da probabilidade de alterações do uso do solo urbano e das alterações do uso do solo urbano, o LTM produz um ficheiro que permite ver o resultado de duas técnicas de validação: PCM e Kappa Statistics (Anexo 7).

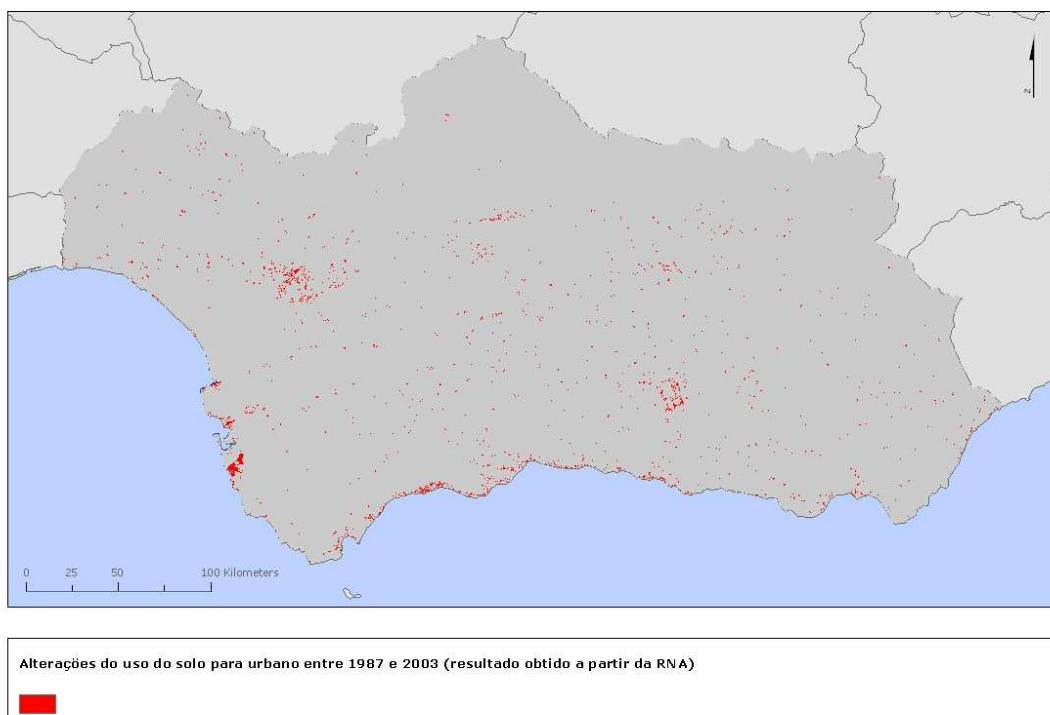


Figura 29 - Alterações do Uso do Solo Urbano em Andaluzia, entre 1987 e 2003 – Resultado obtido a partir do LTM

A tabela 6 resume os resultados de PCM e coeficiente de Kappa obtidos nas diferentes provas. Observa-se, que o PCM situa-se entre 10 – 33 e o Kappa entre 0.09 e 0.33. A prova que obteve melhor resultados (prova 9 – PCM 33 e

Kappa 0.33) refere-se à combinação que agrupa todas as variáveis (Distância Linha de Costa, Distância aos cursos de água, Distância Estradas, Auto-estradas, Distância solo Urbano, Distância espaços recreativos, Densidade populacional, Distância às ferrovias, Distância aos aeroportos, Densidade solo Florestal, Densidade Solo Agrícola, Distância às grandes cidades) para o ano de 1987.

	Prova 1 e 2		Prova 3 e 4		Prova 5 e 6		Prova 7 e 8		Prova 9 e 10	
	1987	1995	1987	1995	1987	1995	1987	1995	1987	1995
Distancia Linha de Costa										
Distancia aos cursos de água										
Distancia Estradas										
Auto-estradas										
Distancia solo Urbano										
Distancia espaços recreativos										
Densidade populacional										
Distancia às ferrovias										
Distancia aos aeroportos										
Densidade solo Florestal										
Densidade Solo Agrícola										
Distancia às grandes cidades										
PCM	29.142	10.3942	30.8935	11	15.3984	10.76716	30.0138	11.0742	33.2168	14.6383
Kappa Statistics	0.287	0.099	0.304	0.105	0.148	0.1034	0.2956	0.1065	0.3278	0.1423

Tabela 6 - Resultado do PCM e coeficiente de Kappa nas provas realizadas com o LTM

Pelo contrário a prova mais fraca (prova 1 – PCM 10.4 e Kappa 0.09) refere-se à combinação das seis variáveis base do modelo (Distância Linha de Costa, Distância aos cursos de água, Distância Estradas, Auto-estradas, Distância solo Urbano, Distância espaços recreativos) para ao ano de 1995.

Segundo Sousa, Caeiro e Painho, quanto mais elevado é o nível de concordância, maior é o valor de Kappa:

- 0.00 – 0.20: concordância muito pobre
- 0.20 – 0.40: concordância pobre
- 0.40 -0.60: moderada
- 0.60 – 0.80: substancial
- 0.80- 1.00: quase perfeita

De acordo com estes autores o melhor resultado que foi obtido pelo nosso modelo (Prova 9 para o ano de 1987 – Kappa de 0.3278) não chega a atingir os 40%, apresentando uma “concordância pobre”.

Os resultados obtidos são discutíveis. Segundo Pijanowski, uma das razões pode ser devido ao tamanho do *pixel* utilizado (100 m) uma maior resolução espacial poderia trazer melhores resultados. Outra razão apontada pode estar relacionado com às variáveis utilizadas. Ou seja, devido ao elevado tempo de consumo que leva a treinar a rede, não foi possível fazer outras combinações.

Apesar da fraca concordância, utilizou-se a prova que obteve o melhor PCM e o melhor coeficiente de Kappa, para fazer previsões do uso do solo.

#### **4.4 Passo 4: Previsões do uso do solo urbano em Andaluzia**

Para fazer as previsões do uso do solo em Andaluzia, ao recorreu-se ao primeiro método sugerido por Pijanowski (2000a).

Este método consiste em duplicar o número de células que passaram para urbano (ou seja,  $56932 * 2 = 113664$  células), partindo do princípio de que o crescimento urbano que ocorreu entre o ano base (1987) e o ano referência (2003) irá ser igual em um período igual, ou seja, ano referência (2003) e o ano de previsões (exactamente 2019).

Para prever as alterações do uso do solo urbano em Andaluzia, utilizou-se o mapa da figura 31 referente à probabilidade de alterações do uso do urbano entre 1987 e 2003. Neste caso, o programa tomou o dobro das células que apresentam o máximo de probabilidade de alterarem para urbano e criou um

novo mapa com a previsão de alteração do uso do solo urbano para um período de igual proporção ao que foi utilizado para treinar e testar a rede.

Em seguida realizaram-se as seguintes operações:

- a) Alterar o *Inputfile-Test.txt* substituindo as zonas excluídas do ano base (1987) pelo ano de referência (2003). O objectivo é criar um novo ficheiro chamado *Inputfile-Forecast.txt* no qual estão excluídas as zonas onde não pode ocorrer crescimento a partir de 2003.
- b) Criar um novo padrão da rede usando o *Inputfile-Forecast.txt* (Anexo 8 (A))
- c) Dizer ao programa para escolher 113664 ( $56932 * 2$ ) células que no ficheiro *res\_10000.asc* apresentam o máximo de probabilidade (Anexo 8 (B)). O output deste passo é um ficheiro ASCII que foi convertido posteriormente em *raster* através de um software SIG.

## 5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

Este capítulo tem como objectivo apresentar e analisar os resultados obtidos do modelo e por último analisar o desempenho do modelo.

### 5.1. Apresentação dos resultados

Os melhores resultados obtidos tanto ao nível de PCM como do Coeficiente de Kappa referem-se à prova 9 do ano 1987, neste sentido, esta prova irá representar o modelo no resto da análise.

O mapa de adaptabilidade do uso do solo urbano (Figura 31) representa a disposição de cada célula classificada como não-urbano converter para urbano entre 1987 e 2003 em Andaluzia.

Depois de seleccionar as 56932 células com alguma probabilidade de alteração para urbano (entre o período de 1987 e 2003), criou-se um mapa com os erros de previsão. Este mapa confronta as alterações reais (figura 28) com as resultados obtidos a partir do modelo (figura 29), ou seja, representa as células que foram correctamente previstas (verdadeiros negativos e positivos) e as que foram incorrectamente previstas (falsos negativos e positivos) pelo LTM (figura 32).

As diferentes combinações de variáveis utilizadas apresentam melhor desempenho quando aplicado ao padrão de desenvolvimento entre o período de 1987 e 2003 do que 1995 e 2003 (figura 30). Para o ano de 1987 observa-se que o PCM se situa entre 15% (prova 5) e 33% (prova 9). Para o ano de 1995 o PCM situa-se entre os 10% (prova 2) e 15% (prova 10).

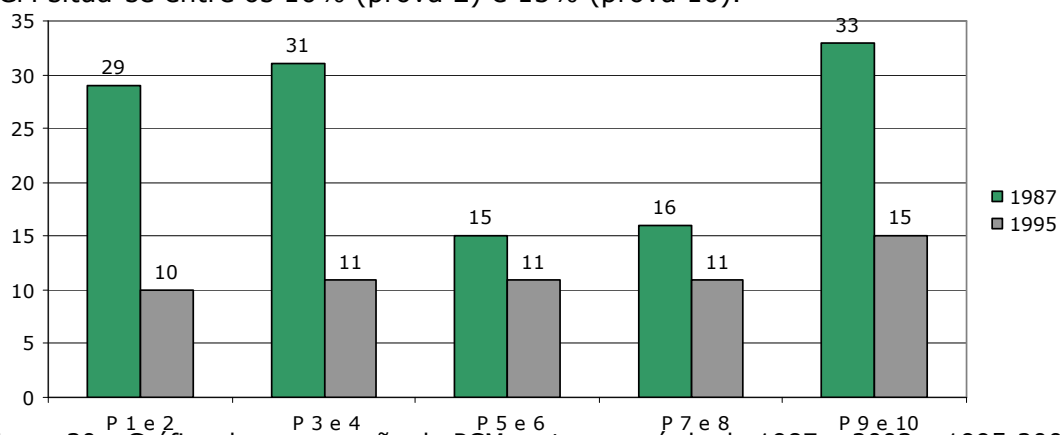


Figura 30 - Gráfico de comparação do PCM, entre o período de 1987 – 2003 e 1995-2003



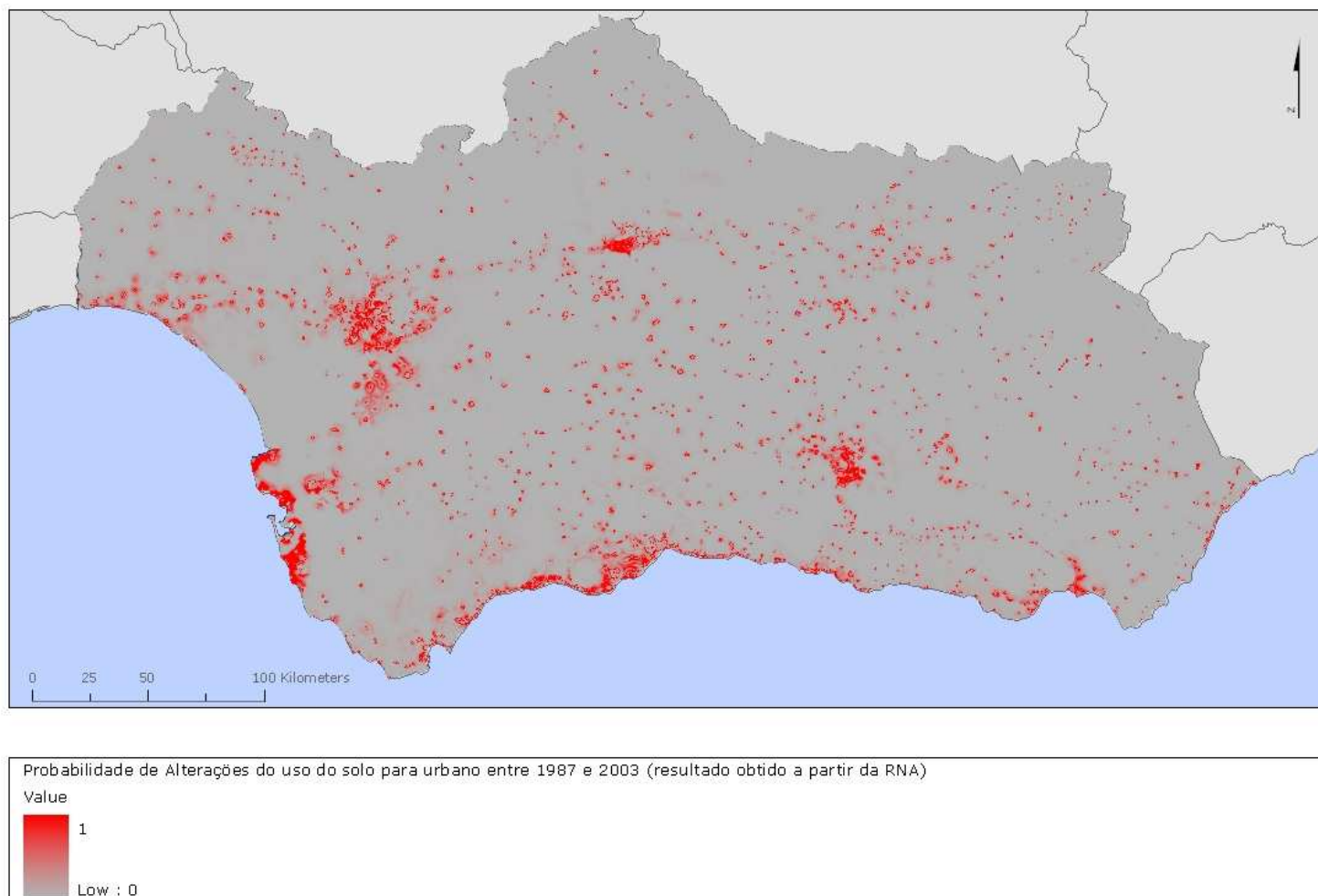


Figura 31 - Probabilidade de Alterações do Uso do Solo Urbano em Andaluzia entre 1987 e 2003 – Resultados obtidos a partir do LTM, prova 9

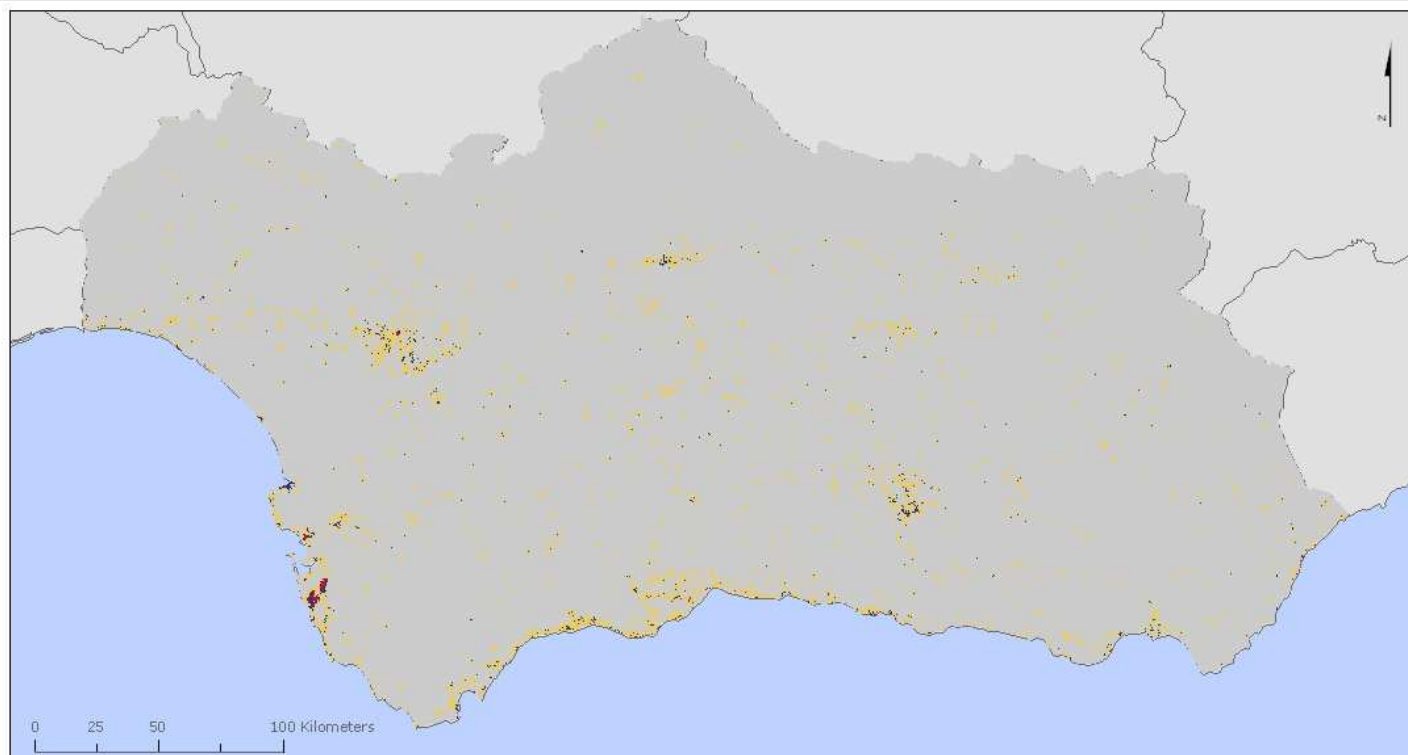


Figura 32 - Mapa de erros do resultado de previsão de alteração do uso do solo urbano entre 1987 e 2003

Um dos objectivos traçados no início deste estudo referia-se a testar a sensibilidade do modelo ao incluir mais variáveis consideradas potencialmente forças motoras à expansão urbana, no sentido de otimizar o modelo LTM à região de Andaluzia. Relativamente ao ano de 1987, a prova 1 refere-se ao modelo base porque inclui as forças motoras de expansão urbana normalmente inseridas no LTM: infra-estruturas viárias, infra-estruturas urbanas e proximidade às superfícies de água. Com estas variáveis o modelo apresentou um PCM de 29% e um valor de Kappa de 0.287. A inclusão de mais variáveis potencialmente influentes na alteração do uso do solo urbano levou a uma melhoria na prova 3 que incluía a densidade populacional e o tema de transportes e na prova 9 que incluía todas as variáveis do uso do solo urbano aplicadas neste estudo.

Numa tentativa de melhorar a prova 3, excluiu-se o tema de densidade populacional (prova 7), observando que o desempenho o PCM e valor de *Kappa* sofreram um decréscimo para aproximadamente metade (PCM de 31% passou a 16% e *Kappa* 0.287 para 0.148). Deste modo, observa-se grande sensibilidade do modelo quando se refere à ausência desta variável, realçando a importância do tema densidade populacional como força motora da expansão urbana.

A prova 5 (incluía como variáveis adicionais a densidade populacional e à densidade do solo agrícola e florestal). O resultado não foi positivo, reduzindo o PCM e o *Kappa* para 15% e 0.148, o que pode levar a questionar a habilidade destas variáveis como variáveis preditivas no desenvolvimento das zonas urbanas.

Relativamente à sensibilidade das variáveis, referentes ao ano de 1995, observa-se que desde o modelo base, apresenta um desempenho muito pobre, com um PCM situado entre os 10% e 15% e um valor de Kappa entre 0.09 e 0.1423. À semelhança do ano 1987 a prova 10, a prova que inclui todas as variáveis preditivas foi a experiência que apresentou melhores resultados, subindo o PCM para 15%. Relativamente às outras provas, estas permaneceram pelos 11% de PCM o que significa que o modelo não foi sensível às novas variáveis, ou seja, as variáveis utilizadas não explicam o padrão de desenvolvimento do solo urbano que ocorreu entre 1995 e 2003.

Os vários testes com as diferentes combinações mostram que a

predicibilidade pode ser maximizada até um PCM de 33.2% e um coeficiente de Kappa de 0.3278. No entanto, importa realçar que performance deste modelo é similar ao desempenho de outros modelos que utilizaram o LTM à escala regional. São exemplos, a aplicação do LTM (Pijanowski et al., 2005) no caso de estudo de Twins Cities e Detroit, que resultou num Kappa situado entre 0.12 – 0.30 e 0.20 – 0.26 respectivamente, em seis simulações para cada uma das cidades e a aplicação do LTM a Montgomery County, Virginia (Thekkudan, 2008), obteve no caso de estudo um Kappa situado entre 0.27 – 0.32.

A melhor prova agrupava todas as variáveis utilizadas e apresentou uma concordância de 33% entre a realidade e o resultado do modelo. Tendo em conta estas variáveis contribuíram com 33% para determinar o solo urbano no ano de 2003, optou-se por utilizar esta prova para fazer um teste de previsão de alterações do uso do solo para um período idêntico.

Para realizar as previsões partiu-se de um cenário máximo de crescimento urbano, ou seja, este cenário tem como base explorar e alertar para um crescimento máximo onde as alterações ocorridas entre 1987-2003, irão ocorrer de igual modo para o período de idêntico no futuro, 2003 a 2019. Neste sentido, duplicaram-se as células que com a probabilidade mais elevada de alterar para urbano a partir do mapa da figura 31 (figura 33).

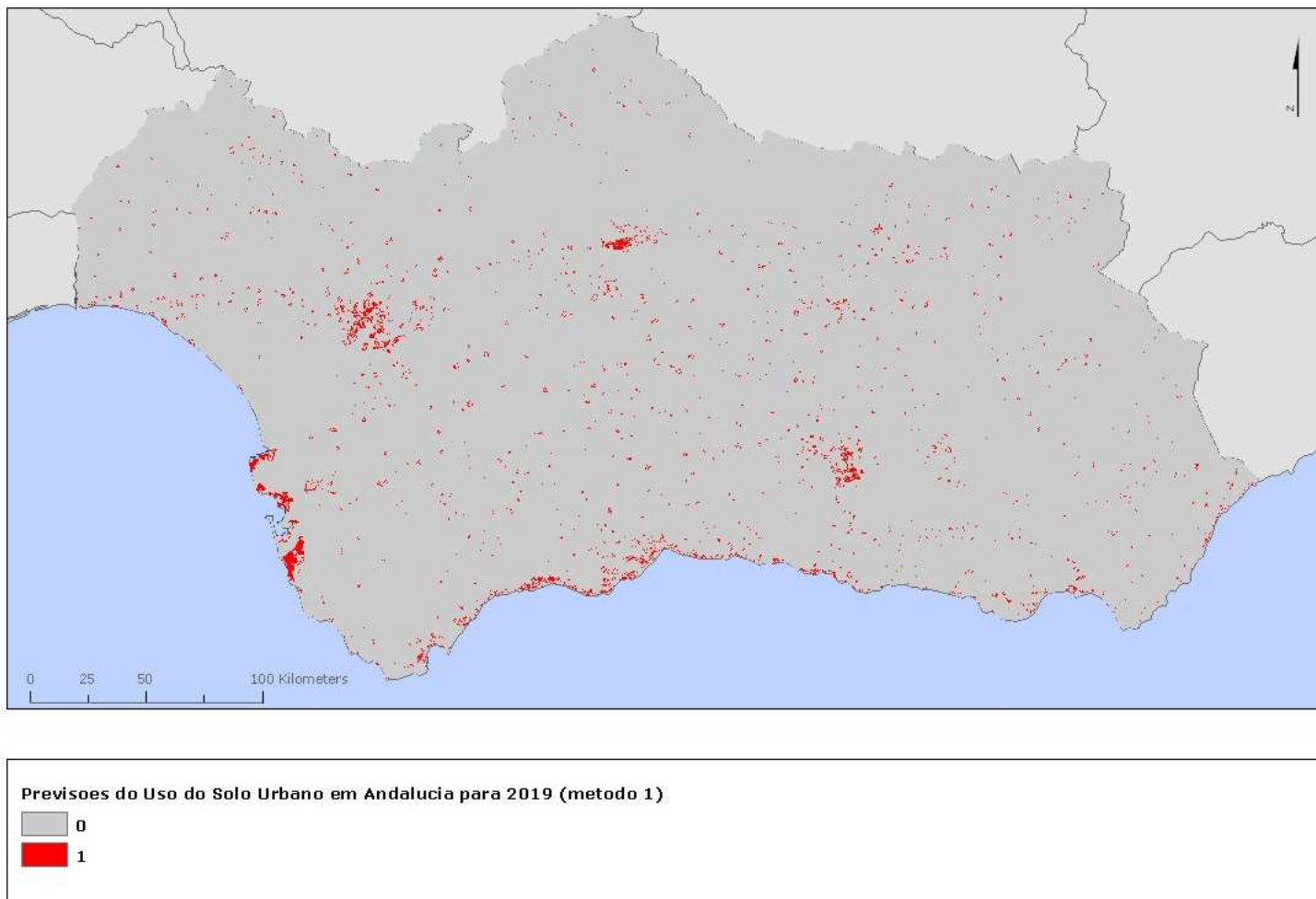


Figura 33 - Mapa de previsões de alterações do uso do solo urbano para 2019

## 5.2. Análise do padrão de crescimento urbano na cidade de Sevilha e Cádiz

Depois de obter o mapa de previsões para 2019, optou-se por fazer uma análise a duas cidades com características distintas: Sevilha e Cádiz. A cidade de Sevilha, capital de Andaluzia é uma cidade de grande dimensão e encontra-se situada no interior. A cidade de Cádiz é uma cidade costeira de média dimensão.

A figura 34 e 35 apresenta um extracto do mapa da figura 32, juntamente com o tema exclusões.

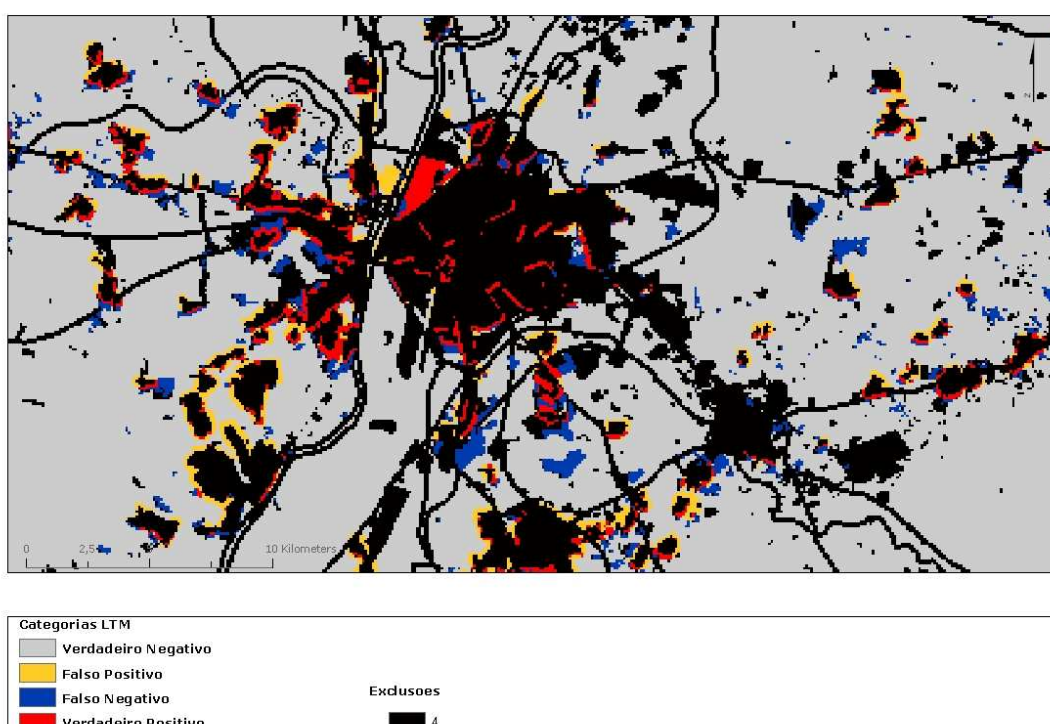


Figura 34 - Mapa de avaliação do resultado obtido a partir do LTM, Sevilha, 1987-2003

Com relação a Sevilha (figura 34), grande parte das células que foram previstas pelo modelo como urbano e que na realidade não são urbano (Falso Positivo - Laranja), estão localizadas nas periferias dos aglomerados urbanos, enquanto que as células que são urbanas e que modelo não conseguiu prever (Falso Negativo - Azul) são novos aglomerados que surgiram no período compreendido entre 1987 e 2003 e/ou são áreas que se encontram na periferia de células que foram correctamente classificadas, mas o modelo não foi capaz de detectá-las.

Relativamente às regiões que não ocorreram alterações do uso do solo observa-se que de modo geral que o modelo conseguiu detectar correctamente essas

células (Verdadeiro negativo - Cinza).

À semelhança das células que se encontram classificadas como falso positivo, as células urbanas que foram correctamente classificadas pelo LTM situam-se na periferia das zonas urbanas já existentes, o que leva a supor que a variável da proximidade às zonas urbanas tem um elevado peso na expansão de novas zonas urbanas.

No que se refere à cidade de Cádiz (figura 35), devido à sua localização geográfica numa antiga ilha de León e conectada a Península Ibérica por um estreito istmo arenoso, o desenvolvimento urbano e industrial da cidade ocorreu principalmente a expansão territorial por outros municípios da Baía de Cádiz, principalmente as zonas industriais entre Cádiz e San Fernando e Puerto real. Nos últimos anos o desenvolvimento económico tem permitido o crescimento urbano, de infraestruturas e serviços em torno da cidade de Cádiz devido a sua limitação do território e na maioria dos casos a zonas residenciais e industriais que tem concentrado como se pode observar nos municípios vizinhos.

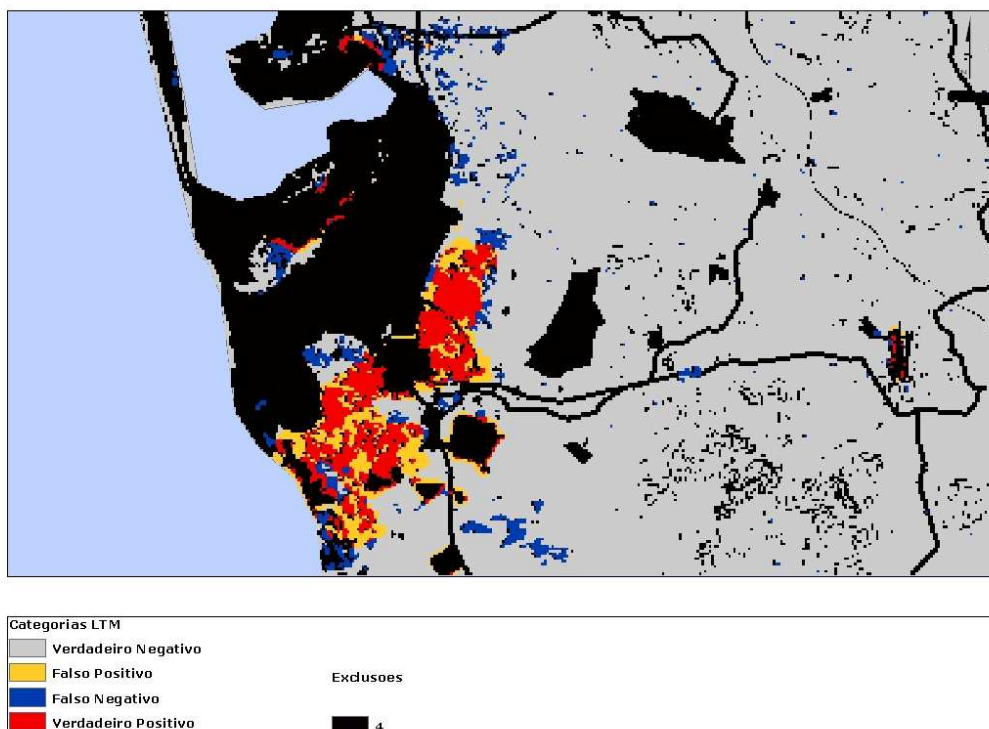


Figura 35 - Mapa de avaliação do resultado obtido a partir do LTM, Cádiz, 1987-2003

Os dados da população certificam estes movimentos já que o crescimento dos municípios vizinhos a Cádiz duplicaram de população nas ultimas décadas. Este

facto unido ao desenvolvimento de infra-estruturas viárias de ampla capacidade, ao desenvolvimento das infra-estruturas ferroviárias e os projectos comarcais de reintrodução de transvias tornam mais fácil a mobilidade. Por outro lado, a proximidade desta cidade à linha de costa à baía de Cádiz, pressupõe uma limitação ao crescimento urbano e por outro lado um aumento de valor paisagístico.

Grande parte das células que foram classificadas como urbano que na realidade não são urbano (Falso Positivo – Laranja) localizam-se na periferia das células que foram correctamente classificadas como urbano pelo LTM (Verdadeiro Positivo - Vermelho). Provavelmente o modelo não conseguiu separar correctamente as células que são urbanas das que não são urbanas, uma vez que se observa que existe uma grande mancha contínua que une as células verdadeiras positivas com as células classificadas como falsas positivas (San Fernando SE da Baía de Cádiz). Outra situação, com relação às células correctamente classificadas é que se estendem a aglomerados já existentes (situação semelhante à que ocorria em Sevilha).

Com relação às células que foram classificadas como não urbano mas que na realidade são solo urbano (Falso Negativo - Azul), estão associadas expansão de pequenos aglomerados que se encontram situados próximo da linha de costa, ou junto de infra-estruturas de transporte ou ainda novos aglomerados que surgiram entre 1987 e 2003. Neste caso o modelo não foi capaz de as localizar. Um das razões pode estar associado ao ritmo mais acelerado de expansão urbana nesta região com relação ao restante padrão desenvolvido urbano de Andaluzia.

Com relação a esta situação que ocorre tanto na cidade de Sevilha como na cidade de Cádiz, se estas zonas surgiram durante este período e o modelo não tem nenhuma indicação de um potencial foco de crescimento urbano, compreende-se facilmente porque é que não as consegue detectar. Neste caso, para ajudar o modelo a identificar estas zonas, poder-se-ia utilizar uma variável preditiva relacionada com os novos aglomerados urbanos.

Como relação às células que não são urbanas, o modelo não teve dificuldade em classificar essas células (Verdadeiro Negativo - Cinza).



Utilizando os resultados obtidos a partir da RNA do período compreendido entre 1987 e 2003, fez-se um teste de previsões do uso do solo urbano para 2003 – 2019, duplicando o número de células das alterações ocorridas na realidade. Para isso, o programa tomou o dobro das células com o máximo de probabilidade de alteração para urbano. A figura 36 e 37 apresenta o mapa de evolução do uso do solo urbano entre o período de 1987 e 2019 segundo os resultados obtidos do LTM para a cidade de Sevilha e Cádiz.

Na cidade de Sevilha (figura 36) é possível verificar que muita da nova área urbana é prevista que ocorra na área em volta dos núcleos já existentes. Com relação à cidade de Cádiz (figura 37), segundo a previsão do LTM para 2019 a ocupação urbana tende a ocorrer em paralelo da zona costeira. Por outro lado prevê-se que a mancha contínua ao longo da baía de Cádiz tende a estender-se para Sul /SE.

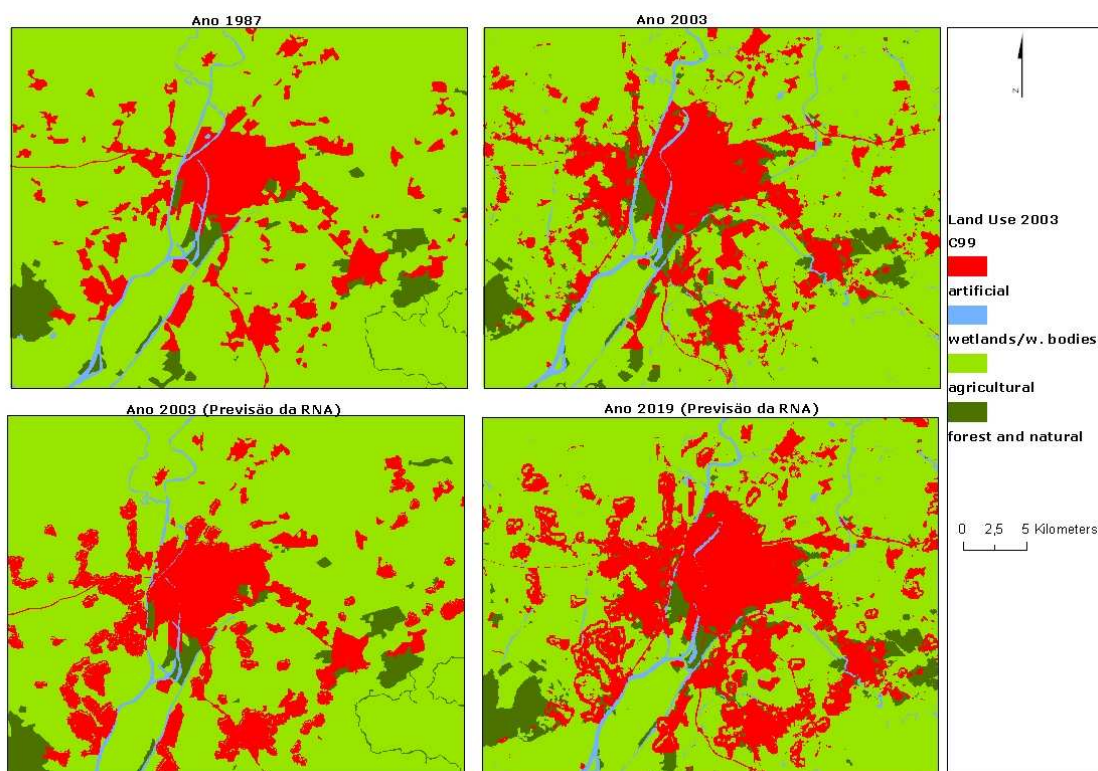


Figura 36 - Mapa de evolução do uso do solo urbano em Sevilha– 1987 a 2019

No período de estudo comprovou-se que o desenvolvimento das infra-estruturas viárias da Comunidade Autónoma tem sido acompanhado pelo desenvolvimento urbano de todos os municípios próximos a estas, por outro lado, as actividades

económicas baseadas nos transportes por estradas e o acesso às regiões industriais e o desenvolvimento económico tem fomentado por sua parte o incremento da população nestes municípios.

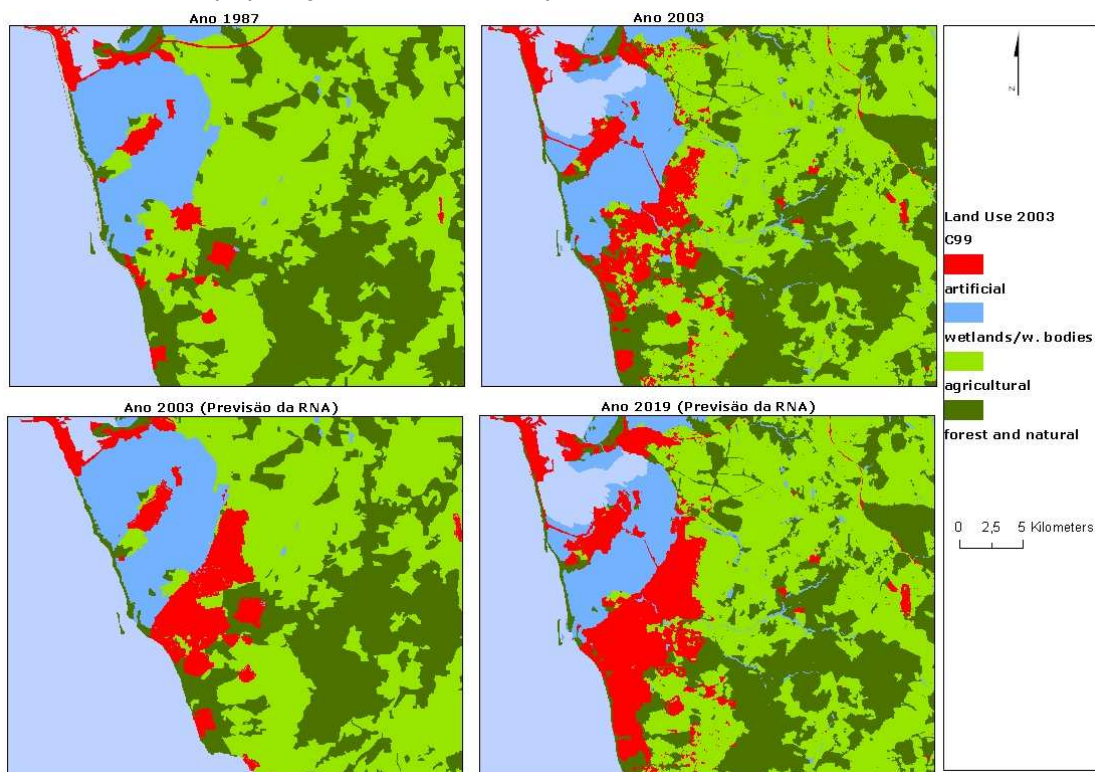


Figura 37 - Mapa de evolução do uso do solo urbano em Cádiz- 1987 a 2019

No entanto, observa-se que o modelo teve dificuldade em identificar o aparecimento de algumas zonas urbanas em volta das infra-estruturas de transportes. Os resultados para 2019 confirmam o seguimento do padrão, as zonas urbanas seguiram desenvolvendo-se em todas aquelas cidades e municípios de onde se vão reforçando as infra-estruturas de comunicação terrestre.

A alteração de hábitos sociais e o desenvolvimento da rede de transportes públicos e de vias de comunicação em volta das cidades mais importantes de Andaluzia têm levado a que a população resida num município próximo ao local de trabalho. Este padrão repete-se nas oito principais cidades da província assim como na Baía de Algecira. Ou seja, aqueles municípios mais rurais têm sofrido uma expansão urbana muito forte em detrimento das principais cidades. No caso de Sevilha, Granada, Córdoba e Cádiz são os municípios da área metropolitana que apresentam uma maior expansão urbana nos últimos anos. Outras

idades médias do sistema de cidades de Andalucia estão a gerar a mesma atracção sócio-económica que as principais cidades, neste sentido as cidades médias como Carmona, Antequera o Linares estão gerando crescimento urbano nos municípios vizinhos.

Esta projecção para o ano de 2019 pode não estar totalmente compatível com o actual padrão de desenvolvimento urbano. Na verdade, tal como já foi referido anteriormente, entre outras razões, existem algumas questões explicitamente não-espaciais que irão sempre por em causa não só as limitações deste modelo mas de todos os modelos de previsões do uso do solo.

Por outro lado, as previsões do uso do solo não podem ser vistas isoladamente, uma vez que o sistema do uso do solo envolve questões muito complexas. Nos últimos anos os modelos de previsões do uso do solo dirigem-se no sentido de fazer previsões com base em diferentes cenários plausíveis, tendo como principal questão: "*What if...?*" (Coucelis 2005 in Verburg, P. 2005). A previsão de uma só situação futura é demasiado arriscada e possivelmente descartável. Ou seja, hoje em dia a preocupação da modelação LUCG gira em torno dos actores, no sentido de apontar possíveis direcções, prever o impacto de opções políticas, entre outros.

Uma vez que Andaluzia não dispõe de cenários do uso do solo, seria uma árdua tarefa, ou até mesmo impossível para este estudo construir cenários plausíveis e aceitáveis. Neste sentido, a experiência de prever o futuro uso do solo urbano de Andaluzia, foi simplesmente a título experimental, sem ter em conta os diferentes cenários de expansão do uso do solo urbano.

### **5.3. Desempenho do Modelo**

De um total de 8.685.912 células que não ocorreram alteração do uso do solo urbano entre 1987 e 2003, a RNA previu 7.641.075 células com uma probabilidade de alteração para urbano com 0.0, ou seja, cerca de 87.97%. Relativamente às 56932 células que alteraram para urbano, a RNA previu com máximo de probabilidade de alterar para urbano, cerca de 109 (0.2%) células que apresentam a probabilidade igual ou superior a 0.9.

Ou seja, das 56932 células grande maioria encontra-se abaixo da probabilidade 0.9, o que significa que do total de células que o modelo tomou do mapa de probabilidade de alterações (figura 38), existe uma elevada percentagem de

probabilidade de 0,2 (41,5%) e de 0,3 (33,1%), ou seja, poder-se-á concluir que o modelo não conseguiu separar correctamente as células que alteraram das que não alteram. Outra informação que podemos obter deste gráfico é que o limite de passagem de urbano para não urbano segundo a RNA situa-se na probabilidade de 0.2.

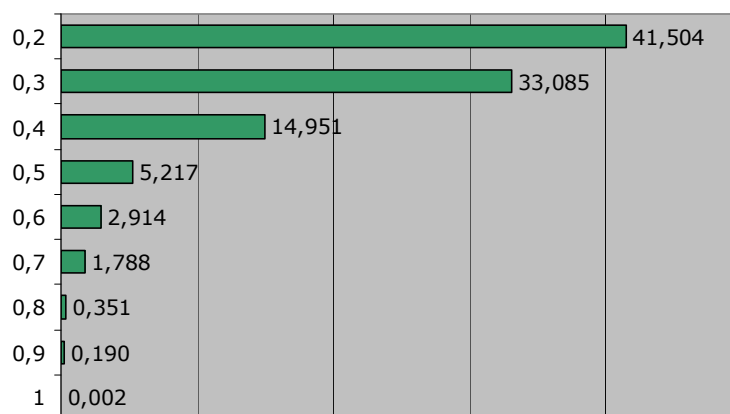


Figura 38 - Gráfico de percentagem das probabilidades de alteração do uso do solo urbano

Podemos também verificar que a nossa rede teve mais dificuldade em aprender as características que levam a mudança do que aquelas onde não ocorre nenhuma mudança, uma vez que do total das células que se mantiveram iguais durante o período de 1987 e 2003, a RNA conseguiu detectar que 87,97% dessas células como células inalteráveis (0.0).

Para elevar o limite crítico a uma probabilidade superior Pijanowski et al. (2001) apresenta duas soluções: obter mais informação sobre as alterações do uso do solo, e/ou obter mais conhecimento de aspectos não espaciais específicos da região em estudo. Mais informação sobre as alterações, poderia anunciar que pode ser necessário criar um modelo de uma área maior para que se disponibilize um número suficiente de células sofram a transição. Por outro lado, poderia ser útil procurar um intervalo de tempo mais adequado entre as alterações do uso do solo do ano base e o ano de referência, de modo a abastecer a rede neuronal com os locais que mudou o suficiente.

Sobre esta ultima questão Segundo Ivan Turok e Vlad Mykhnenko (2007), estudaram as características de algumas cidades da Europa entre 1960-2005, revelando que existe uma grande diversidade situações, tais como, cidades que se verificou um forte crescimento urbano ao longo das ultimas décadas,

idades que sofreram um forte declínio e voltaram a revigorar. No entanto a visão geral, o crescimento das cidades tem vindo a desacelerar nas ultimas décadas e que nos últimos anos houve uma recuperação (Turok e Mykhnenko, 2007).

Neste sentido, tanto a escolha do período de análise como a recolha da informação deve ser cuidadosamente analisada apoiando-se no passado histórico do crescimento das cidades, analisando as características das cidades isoladamente porque provavelmente não apresentam o mesmo trajecto de crescimento.

No caso prático de Andaluzia, observa-se que o modelo obteve melhores resultados a prever as alterações do uso do solo urbano utilizando como ano de base 1987 do que o ano 1995, isto significa que provavelmente entre 1995 e 2003 não ocorreram alterações suficientes para que RNA aprendesse essas alterações.

Aprender sobre as alterações nunca será 100% completa, uma vez que a urbanização tem elementos imprevisíveis e provavelmente tem aspectos não espaciais. Por exemplo, jovens agricultores que se "reconverteram" a outras actividades de serviços e poderá ter relação com o crescimento urbano.

A mudança de estilo de vida está produzindo um movimento da população das cidades às zonas mais rurais e mais próximas à natureza. O desenvolvimento de novos aglomerados e novas infra-estruturas têm facilitado os movimentos da população, gerando o crescimento urbano nas zonas que anteriormente estavam em recessão.

As classes do uso do solo urbano foram agrupadas de forma a incluir todas as classes que normalmente crescem ao mesmo ritmo, tais como o tecido urbano, urbanizações residenciais e urbanizações agrícolas / residenciais. No entanto, poderia fazer sentido analisar estas classes separadamente, visto que podem existir factores específicos que determinem diferentes comportamentos de cada uma dessas classes.

O tamanho do pixel utilizado no modelo pode influenciar os resultados afectando o nível de concordância. O tamanho pixel utilizado para o modelo foi de 100x100m, no entanto os dados originais foram obtidos a partir de 50x50m. Ao aumentar a resolução espacial poderia obter melhores resultados.

## 6. CONCLUSÕES

Neste estudo utilizou-se um modelo LUCC para prever as alterações do uso do solo urbano para a região de Andaluzia. Este modelo utiliza tecnologias como SIG e RNA e técnicas geoestatística para prever as alterações do uso do solo. Para a RNA construiu-se diversos modelos para tentar verificar se a inclusão de mais variáveis ao modelo base poderia melhorar o desempenho do modelo. Por outro lado, fez-se a experiência de aplicar as diferentes combinações de variáveis utilizando dois anos base distintos: 1987 e 1995.

A melhor prova obtida incluía todas as variáveis utilizadas para o ano de 1987: PCM de 33% de um Kappa de 0.32. Apesar da fraca concordância optou-se por realizar uma prova de previsões do futuro uso do solo urbano de Andaluzia para o ano 2019.

Com relação do modelo LTM, grande parte dos erros do modelo pode dever-se à falta de outras forças motoras como variáveis relacionadas com a economia regional e local, o preço do uso do solo, outras variáveis demográficas e outras características da paisagem como o declive ou os pontos de maior visibilidade. Uma vez que o modelo evidenciou alguma dificuldade em identificar o aparecimento/expansão de algumas zonas urbanas em volta das infra-estruturas de transportes dever-se-ia talvez repensar uma forma de delimitar mais a influencia destas variáveis de forma a representar um peso maior na decisão da localização das zonas urbana. Deste modo, seria conveniente procurar utilizar mais variáveis que poderão ter influência na alteração do uso do solo urbano. Para além destas variáveis poderia ser útil aumentar o período de análise para que as alterações do uso do solo fossem mais visíveis e com relação aos novos aglomerados deveriam ser identificadas com dados adicionais.

No que se refere às projecções do uso do solo urbano em Andaluzia o cenário desenvolvido tem como objectivo apresentar e alertar para uma situação máxima de expansão. No entanto, é fundamental elevar o grau de precisão e fidelidade dos resultados. Para isso é dever-se-á recorrer a cenários futuros que representem diferentes linhas de desenvolvimento. O objectivo último não é produzir uma única situação, mas construir várias hipóteses de desenvolvimento de forma a orientar e visualizar o impacto de opções políticas, reduzindo as incertezas.

O grande problema da modelação LUCC continua a ser representar a complexidade do uso do solo. Actualmente, uma classe de modelos que tem revelado ser excelentes ferramentas para reflectir os comportamentos complexos são os modelos Multi-Agent System – MAS. Segundo Parker et al, estes modelos são particularmente bem adaptados a complexidade representando convenientemente as interacções sob condições heterogéneas e para modelação descentralizada (Parker et al. 2003). Por um lado a aproximação deste tipo de modelos baseia-se em modelos celulares para representar a paisagem em estudo, recorrendo a um conjunto de técnicas de modelação espacial como autómatos celulares, modelos de difusão espacial e modelos *Markov*. Por outro lado, estes modelos representam a tomada de decisão do homem e as interacções (Berger et al. 2001). Neste sentido, no seguimento deste estudo poderia ser interessante utilizar um modelo MAS/LUCC para estudar as alterações do solo urbano e talvez comparar os resultados obtidos.

---

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCAMO, J., 2001, *Scenarios as tools for international environmental assessments', Experts' corner reports - Prospects and Scenarios No 5*. European Environment Agency, Copenhagen.
- ALLEN, J. e LU, K., 2003, Modeling and prediction of future urban growth in the Charleston region of South Carolina: a GIS-based integrated approach. *Conservation Ecology* vol. **8**, nº 2, pp. 20, [versão electrónica] (URL: <http://www.consecol.org/vol8/iss2/art2/>, consulta em 05-05-2008).
- ALEXANDRIDIS, K. S/data, *Calculation of the Kappa Coefficient for Binary Land Use Change in GIS Maps*, LTM Tutorial, (URL: <http://ltm.agriculture.purdue.edu/ltm.htm>, consulta em 01-08-2008).
- ALONSO W. 1964. Location and land use in *Statistical methods for analysing the spatial dimension of changes in land use and farming systems*, , editado por Lesschen, P.; Verburg, P.; Staal, S.J., Lucc report series no. 7. ILRI, Wageningen University, pp.1-81.
- AUDRIAC, I., 2005, Information technology and urban form: Challenges to smart growth. *International Regional Science Review* 28(2), pp.119-145.
- BAÇAO, F., 2006, *Manual de DataMining*, [apontamentos da disciplina] Instituto superior de Estatística e Gestão de Informação, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- BAKER, W. L., 1989, A review of models in landscape change in Multi-agents Systems for the Simulation of Land-use and Land-Cover Change. *Annals of the Association of American Geographers*, editado por Parker, D. et al., Vol.93 No.2, pp.314-337, (URL: [www.citeulike.org/user/Bc91](http://www.citeulike.org/user/Bc91) - 81k, consultado em 22-08-2008).
- BATTY, M. 1976. Urban Modeling: Algorithms, Calibrations, Predictions in Analysis of Land Use Change: Theoretical and Modeling Approaches, in Loveridge S. (ed) *The Web Book of Regional Science* West Virginia University, Morgantown. Editado por Briassoulis, H. 2000, [versão electrónica] (URL: <http://www.rri.wvu.edu/WebBook/Briassoulis/contents.htm>, consultado em 13-03-2008).
- BRESSON, G; MADRE, J.; PIROTTE, A., 2004, Is urban sprawl stimulated by economic growth? A hierarchical Bayes estimation on the largest metropolitan areas in France. *Communication à la 10 World Conference on Transport Research*, Istambul, Turquia, pp.1-23.
- BREGT, A.K.; ZEEUW, C.J., 2001, Agriculture, forestry and nature: Trends and development across Europe In *Land use simulation for Europe*, editado por J. Stillwell & H. Scholten. - Dordrecht: Kluwer, 2001 - p. 37 - 44.
- BRIASSOULIS, H., 2000, Analysis of Land Use Change: Theoretical and Modeling Approaches, in Loveridge S. (ed) *The Web Book of Regional Science* West Virginia University, Morgantown, [versão electrónica] (URL: <http://www.rri.wvu.edu/WebBook/Briassoulis/contents.htm>, consultado em



- 13-03-2008).
- BUURMAN, J. 2001, A spatial exploratory model for rural land prices. In *Proceedings of 5th AGILE Conference on Geographic Information Science, Palma* (Balearic Islands Spain), pp. 1-4.
- CAMPBELL, J. B., 1996, Introduction to remote sensing, in *Classificação supervisionada de imagens SAR do SIVAM pré-filtradas*, editado por Maximo, O; Fernandes, D., Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, INPE, pp.16-21.
- CASTELLA, J.-C., KAM, S.P., QUANG, D.D., VERBURG, P.H., HOANH, C.T., 2006, Combining top-down and bottom-up modelling approaches of Land Use/Cover Change to support public policies: Application to sustainable management of natural resources in northern Vietnam in *Integrated Assessment of the land system: The future of land use*, editado por Kasper; Verburg, e Veldkamp, Land Use Policy 24 (2007), pp. 517–520.
- CABRAL, P., 2006, *Étude de la Croissance Urbaine per Tetedetection, SIG et Modelisation – le cas es Concelhos de Sintra et Cascais (Portugal)*. Thèse de Doctorat, ISEGI-UNL, Lisboa. [versão electrónica] (URL: [http://www.isegi.unl.pt/docentes/pcabral/docs/PhD\\_30oct06\\_pcabral.pdf](http://www.isegi.unl.pt/docentes/pcabral/docs/PhD_30oct06_pcabral.pdf), consultado em 01-05-2008).
- CMAA, 2006<sup>a</sup>, *Consejería de Medio Ambiente en Andalucía. Informe 2006*. [Versão electrónica], pp. 5-349 (URL: [http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/web/menuitem.a5664a214f73c3df81d8899661525ea0/?vgnnextoid=b79be905dca13110VgnVCM100000624e50aRCRD&vgnnextchannel=3efe560fc1b03110VgnVCM1000000624e50aRCRD&lr=lang\\_es](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/web/menuitem.a5664a214f73c3df81d8899661525ea0/?vgnnextoid=b79be905dca13110VgnVCM100000624e50aRCRD&vgnnextchannel=3efe560fc1b03110VgnVCM1000000624e50aRCRD&lr=lang_es) , consulta em 05-05-2008).
- CMAA, 2006<sup>b</sup>, *Metodología Para la elaboración de una cartografía de vegetación y usos del suelo a escala 1:25.000 de Andalucía*. [CD-ROM], Junta de Andalucía, Sevilla, pp.1-20.
- CMAA, 2006<sup>c</sup>, *El Clima en Andalucía*. Junta de Andalucía, Sevilla. [versão electrónica] (URL: <http://www.juntadeAndaluzia.es/medioambiente/site/web/>, consulta em 27-05-2008).
- CMAA, 2006<sup>e</sup>, *Fondos Europeus y Medio Ambiente en Andalucía – Buenas Prácticas*, Junta de Andalucía, Sevilla.
- CMAA, 2006<sup>f</sup>, *[Cartografía de vegetación y usos del suelo a escala 1:25.000 de Andalucía]*, Escala 1:25.000, [CD-ROM] Junta de Andalucía, Sevilla.
- CMAA, 2008, *[Mapa Topográfico de Andalucía]*, escala 1:25000, [CD-ROM], Junta de Andalucía.
- COPT, 2006<sup>a</sup>, *[Red infra-estructuras de Andalucía]* Junta de Andalucía, Sevilla [CD-ROM].
- COPT, 2006<sup>b</sup>, *Obras Publicas y Transportes. Ordenacion del Territorio*; Junta de Andalucía (URL: [http://www.juntadeAndaluzia.es/obraspublicasytransportes/www/jsp/estatica.jsp?pma=1&ct=11&e=ordenacion\\_territorio/index.html](http://www.juntadeAndaluzia.es/obraspublicasytransportes/www/jsp/estatica.jsp?pma=1&ct=11&e=ordenacion_territorio/index.html), consulta em 05-05-2008).
- COPT, 2008, *Obras Publicas y Transportes: Junta de Andalucía – Ordenacion del*

## Bibliografia

- Territorio: POTA (URL: [http://www.Andaluziajunta.es/segundamodernizacion/archivos/documentos/POTA\\_sintesis.pdf](http://www.Andaluziajunta.es/segundamodernizacion/archivos/documentos/POTA_sintesis.pdf), consulta em 05-05-2008).
- CES, 2006, *Informe sobre a situação Socio-economica de Andaluzia de 2006*. Junta de Andaluzia, Sevilha.
- CHESHIRE, P. et al., 1988 – Urban Problems and Regional Policy in the European Community in *Cidades Médias – Contributos para a sua definição*, editado por Costa, E., Finisterra, XXXVII, 74. pp.1-28.
- CHOMITZ, K. M., e D. A. GRAY, 1996, Roads, land use, and deforestation: A spatial model applied to Belize in Multi-agents Systems for the Simulation of Land-use and Land-Cover Change. *Annals of the Association of American Geographers*, editado por PARKER, D. et al., 2003, Vol.93 No.2, pp.314-337, (URL: [www.citeulike.org/user/Bc91](http://www.citeulike.org/user/Bc91) - 81k, consultado em 22-08-2008).
- DIEBOLD, F.X., 1998, *Elements of forecasting, Cincinnati: South-Western College Publishing*, Cincinnati, Ohio.
- EEA, 2005, *The European Environment, State and Outlook 2005*, Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities.
- EEA, 2006, *Urban Sprawl in Europe – The Ignored Challenge*, Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities.
- EEA, 2007, *The Pan-European Environment: glimpses into an uncertain future*. Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities.
- EEA, *S/data, Modelling tools for the 2010 State of the Environment and Outlook Report*, Copenhagen K Denmark.
- EEA, 2008<sup>a</sup>, Página da Agência Europeia do Meio Ambiente, Environmental Terminology and Discovery Service (ETDS) [definição de desenvolvimento sustentável] (URL: [http://glossary.eea.europa.eu/terminology/concept\\_html?term=sustainable%20development](http://glossary.eea.europa.eu/terminology/concept_html?term=sustainable%20development), consultado em 08-10-2008).
- EEA, 2008<sup>b</sup>, Página da Agência Europeia do Meio Ambiente, Environmental Terminology and Discovery Service (ETDS) [definição de cenário] (URL: [http://glossary.eea.europa.eu/terminology/concept\\_html?term=scenario](http://glossary.eea.europa.eu/terminology/concept_html?term=scenario), consultado em 08-07-2008).
- EPA, 2000, *Projecting Land-Use Change A Summary of Models for Assessing the Effects of Community Growth and Change on Land-Use Patterns*, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Washington.
- EASTMAN, R. 1999. Guide to GIS and image processing, in Multi-agents Systems for the Simulation of Land-use and Land-Cover Change. *Annals of the Association of American Geographers*, editado por PARKER, D. et al., 2003, Vol.93 No.2, pp.314-337, (URL: [www.citeulike.org/user/Bc91](http://www.citeulike.org/user/Bc91) - 81k, consultado em 22-08-2008).
- FERBER, J., 1994, Kenetique des systemes multiagents a une science de l'interaction *Revue .Internationale de systemique*, Vol. 8, n°1, pp. 13-27.
- GPL, 2005, *Science Plan and Implementation Strategy* (URL: [www.igbp.net](http://www.igbp.net),

- 
- consultado em 23-02-2008).
- GPL, 2007, pagina do Global Land Project, (URL: [www.igbp.net](http://www.igbp.net), consultado em 23-02-2008).
- GEOGHEGAN, J., L. WAINGER, e N. BOCKSTAEL, 1997, Spatial landscape indices in a Hedonic framework: An ecological economics analysis using GIS in Multi-agents Systems for the Simulation of Land-use and Land-Cover Change. *Annals of the Association of American Geographers*, editado por PARKER, D. et al., 2003, Vol.93 No.2, pp.314-337, (URL: [www.citeulike.org/user/Bc91](http://www.citeulike.org/user/Bc91) - 81k, consultado em 22-08-2008).
- GEOGHEGAN, J., L. J. PRITCHARD, Y. OGNEVA-HIMMELBERGER, R. RO CHOWDURY, S. SANDERSON, AND B. L. TURNER II, 1998, Socializing the pixel' and pixelizing the social in landuse/ cover change, in Multi-agents Systems for the Simulation of Land-use and Land-Cover Change. *Annals of the Association of American Geographers*, editado por PARKER, D. et al., 2003, Vol.93 No.2, pp.314-337, (URL: [www.citeulike.org/user/Bc91](http://www.citeulike.org/user/Bc91) - 81k, consultado em 22-08-2008).
- GHEORGHE, A. & HENRICHS, T., 2007, *Europe's environment in an age of transition*. In: Gheorghe, A., Stanners, D., Henrichs, T. & Kristensen, P. (Eds): *Europe's Environment - The Fourth Assessment*. European Environment Agency - State of the environment report, 1/2007, 20-51.
- GILBERT, N. e K. G. TROITZSCH. 1999. Simulation for the social scientist in Multi-agents Systems for the Simulation of Land-use and Land-Cover Change. *Annals of the Association of American Geographers*, editado por Parker, D. et al., 2003, Vol.93 No.2, pp.314-337, [versao electrónica] (URL: [www.citeulike.org/user/Bc91](http://www.citeulike.org/user/Bc91) - 81k, consultado em 22-08-2008).
- HABERL, H., WACKERNAGEL, M., WRBKA, T., 2004, *Land use and sustainability indicators. An introduction*. Land Use Policy 21, 193-198.
- HALL, C. A. S., H. TIAN, Y. QI, G. PONTIUS, e J. CORNELL, 1995, Modelling spatial and temporal patterns of tropical land-use change in Multi-agents Systems for the Simulation of Land-use and Land-Cover Change. *Annals of the Association of American Geographers*, editado por Parker, D. et al., 2003, Vol.93 No.2, pp.314-337, [versao electrónica] (URL: [www.citeulike.org/user/Bc91](http://www.citeulike.org/user/Bc91) - 81k, consultado em 22-08-2008).
- HILDENBRAND, A., 1996, Política de ordenación del territorio en Europa, in Turismo y Ordenación del Territorio, *QPE- Revista Electronica*, editado por Tabales, A., 7 May - Ag. 2004, [versao electrónica] (URL: <http://www.uv.es/poleco>, consultado em 08-06-2008).
- HINTON, G. AND SEIJNOWSKI, T. 1998. *Unsupervised Learning and Map Formation: Foundations of Neural Computation*, Massachusetts Institute of Technology, MIT Press Publisher.
- IGBP, 2008, página de International Geosphere-Biosphere Programme (URL: <http://www.igbp.kva.se/>, consultado em 02-06-2008).
- ICA, 2008, [Cartografia de cursos de agua e outras superficies de agua], Instituto Cartográfico de Andalucía, [CD-ROM]
- ICIS, 2008, página do International Centre for Integrated assessment & Sustainable development, (URL: <http://www.icis.unimaas.nl/>, consultado

---

em 18-01-2008).

- ICSU, 2008, Página de International Council for Science (URL: <http://www.icsu.org/index.php>, consultado em 18-01-2008).
- IHDP, 2008, página de International Human Dimensions Program on Global Environmental Change (URL: <http://www.ihdp.unu.edu/>, consultado em 18-01-2008).
- ISSC, 2008, página de International Social Science Council (ISSC) (URL: <http://www.unesco.org/ngo/issc/>, consultado em 01-08-2008)
- USA, 2008, página de National Science Foundation (USA), (URL: <http://www.nsf.gov/>, consultado em 20-01-2008).
- INE, 2008, *Cifras de población y Censos demográficos* (URL: [http://www.ine.es/inebmenu/mnu\\_cifraspop.htm](http://www.ine.es/inebmenu/mnu_cifraspop.htm), consulta em 01-06-2008).
- ISSAEV, B., NIJKAMP, P., RIETVELD, p. e SNICKARS, F., 1982, Multiregional Economic Modeling in Loveridge S. (ed) *The Web Book of Regional Science* West Virginia University, Morgantown. Editado por Briassoulis, H. 2000, [versão electrónica] (URL: <http://www.rri.wvu.edu/WebBook/Briassoulis/contents.htm>, consultado em 13-03-2008).
- JANSSEN, M. A., e W. JAGER, 2000, The human actor inecological economic models, in in Multi-agents Systems for the Simulation of Land-use and Land-Cover Change. *Annals of the Association of American Geographers*, editado por Parker, D. et al., 2003, Vol.93 No.2, pp.314-337, [versão electrónica] (URL: [www.citeulike.org/user/Bc91](http://www.citeulike.org/user/Bc91) - 81k, consultado em 22-08-2008).
- JRC/EC, 2008, página de Joint Research Center da Comissao Europeia (URL: <http://ec.europa.eu/dgs/jrc/index.cfm>, consultado em 19-03-2008).
- KELMELIS, J. E ROWLAND, F., 1994, Data Collections Useful for Analysis of Land-Use/ Cover Change in Changes in land use and land cover - A global perspective editado por Meyer, W., Turner, B., Cambridge University Press, Cambridge. pp. 149-168.
- KENNETH, C. L. e SCHNEIDER S. H., 1987, *Forecasting in the Social and Natual Sciences*, Publishing Company, Holland.
- KOK, KASPER; VERBURG, PETER H e VELDKAMP, TOM, 2007, Integrated Assessment of the land system: The future of land use. *Land Use Policy* 24, pp. 517-520.
- KRUGMAN P. 1999. The role of geography in development In *Statistical methods for analysing the spatial dimension of changes in land use and farming systems* LUCR report series no. 7. ILRI, editado por Lesschen, P.;Verburg, P.; Staal, S.J., 2005, Wageningen University.
- LAMBIN, E.F., ROUNSEVELL, M., GEIST, H., 2000, Are current agricultural land use models able to predict changes in land use intensity? [versão electrónica] *Agric. Ecosyst. Environ.* 1653, 1-11.
- LEGGETT, C. G., e N. E. BOCKSTAEL. 2000. Evidence of the effects of water quality on residential land prices, in Multi-agents Systems for the Simulation of Land-use and Land-Cover Change. *Annals of the*

## Bibliografia

- Association of American Geographers*, editado por PARKER, D. et al., 2003, Vol.93 No.2, pp.314-337, (URL: [www.citeulike.org/user/Bc91](http://www.citeulike.org/user/Bc91) - 81k, consultado em 22-08-2008).
- LEVIN, SIMON A., MARK A. HARWELL, JOHN R. KELLY e KENNETH D. KIMBALL, 1989. *Ecotoxicology: Problems and Approaches*. In: *Ecotoxicology: Problems and Approaches*. Simon A. Levin et al., Editor. Springer-Verlag, New York, NY. (ERL,GB X711), Pp. 3-7.
- SIMON A. LEVIN, 1992, The Problem of Pattern and Scale in Ecology: The Robert H. MacArthur Award Lecture. *Ecology*: Vol. 73, No. 6, pp. 1943-1967.
- LESSCHEN, P.; VERBURG, P.; STAAL, S.J., 2005, *Statistical methods for analysing the spatial dimension of changes in land use and farming systems*. LUC report series no. 7. ILRI & Wageningen University, pp.1-81.
- LIU, W., SETO, K. AND SUN, Z., 2005, Urbanization prediction with an ART-MMAP neural network based spatiotemporal data mining method, *In Proceeding of the 3rd International Symposium Remote Sensing and Data Fusion Over Urban Areas (URBAN 2005)* (URL: [http://www.isprs.org/commission8/workshop\\_urban/liu.pdf](http://www.isprs.org/commission8/workshop_urban/liu.pdf), consultado em 05-03-2008).
- LI, X. E YEH, A., 2002, Neural-network-based cellular automata for simulating multiple land use changes using GIS, [versao electrónica] *International Journal of Geographical Information Science*, Volume 16, Number 4, 1 June 2002, pp. 323-343(21) (URL: <http://dx.doi.org/10.1080/13658810210137004>, consultado em 1-02-2008).
- LTM Web-site, Pagina do Land Transformation Model, 2007, (URL: <http://ltm.agriculture.purdue.edu/ltm.htm>, consultado em 2007).
- LUC International Project Office, 2002. *Agent-Based Models of Land-Use and Land-Cover Change* – LUC Report n.º 6, Office Anthropological Center for Training and Research on Global Environmental Change, Indiana University [versao electrónica] (URL: [http://www.globallandproject.org/Documents/LUC\\_No\\_6.pdf](http://www.globallandproject.org/Documents/LUC_No_6.pdf)).
- LUDEKE, A. K., MAGGIO, R. e REID, L., 1990, An analysis of anthropogenic deforestation using logistic regression and GIS in Multi-agents Systems for the Simulation of Land-use and Land-Cover Change. *Annals of the Association of American Geographers*, editado por Parker, D. et al., [versao electronica], Vol.93 No.2, pp. 314-337, (URL: [www.citeulike.org/user/Bc91](http://www.citeulike.org/user/Bc91) - 81k, consultado em 22-08-2008).
- MARCEAU, D., 1999, The scale issue in social and natural sciences. *Canadian Journal of Remote Sens.*, Vol. 25, No. 4, pp. 347-356.
- MEDALUS, 2005, MEDALUS III- Project 3: Module 9: Topic 9.1: GIS based socio-economic modelling, (URL: <http://www.geog.leeds.ac.uk/people/a.turner/projects/medalus3/home.htm>, consultado em 26-02-2008).
- MAXIMO, O; FERNANDES, D., 2005, *Classificação supervisionada de imagens SAR do SIVAM pré-filtradas*, Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, INPE, pp. 16-21,.

## Bibliografia

- MERTENS, B., E E. F. LAMBIN, 1997, Spatial modelling of deforestation in southern Cameroon in Multi-agents Systems for the Simulation of Land-use and Land-Cover Change. *Annals of the Association of American Geographers*, editado por Parker, D. et al., [versao electrónica] Vol.93 No.2, pp.314-337, (URL: [www.citeulike.org/user/Bc91](http://www.citeulike.org/user/Bc91) - 81k, consultado em 22-08-2008).
- MONTES, J., 2000, *Que no sean los trenes el viaje a ninguna parte*. Forum por el tren Vía de la Plata. (URL: <http://www.nodo50.org/plataformaferrocarril/viadelaplata/>, consultado em 06-08-2008).
- NAVEH, Z., AND LIEBERMANN, A.,1994, Landscape ecology, theory and application in *Negotiated frontiers in Sudano-Sahelian landscapes: implications for natural resource management strategies*, editado por Wardell, A.;Reenberg, A.; Olsen, H.; Harpoth, R.,SEREIN Occasional Paper Number 16. Institute of Geography, University of Copenhagen, Copenhagen, Denmark.
- OPENSHAW, S., 1999, "Geographical data mining: key design issues". GeoComputation'99: *in Proceedings Fourth International Conference on GeoComputation, Mary Washington College, Fredericksburg, Virginia, USA, 25-28 July 1999*. [versao electrónica] (URL: [http://www.geocomputation.org/1999/051/gc\\_051.htm](http://www.geocomputation.org/1999/051/gc_051.htm), consultado em 03-05-2008)
- OPENSHAW, S.; OPENSHAW, C., 1997, *Artificial Intelligence in Geography West Sussex – England*.
- OVERMARS, K.P., VERBURG, P.H., VELDKAMP, A., 2006. Comparison of a deductive and an inductive approach to specify land suitability in a spatially explicit land use model in *Integrated Assessment of the land system: The future of land use*, editado por Kasper; Verburg, e Veldkamp, 2007, *Land Use Policy* 24, pp. 517–520.
- PARKER, D., MANSON, S., JANSSEN, M., HOFFMANN, M. e DEADMAN, P., 2003, Multi-agents Systems for the Simulation of Land-use and Land-Cover Change. *Annals of the Association of American Geographers*, Vol.93 No.2, pp.314-337, (URL: [www.citeulike.org/user/Bc91](http://www.citeulike.org/user/Bc91) - 81k, consultado em 22-08-2008).
- PARKER, D., 2008, Class Web Site: *Land-Use Modeling Techniques and Applications*, George Mason University (URL: [http://mason.gmu.edu/~dparker3/lumta\\_04/lumta.html](http://mason.gmu.edu/~dparker3/lumta_04/lumta.html), consultado em 26-08-2008).
- PIJANOWSKI, B., 1995, *Land Transformation Model* (Versao 2.0) [Software] (Purdue University), (URL: <http://ltm.agriculture.purdue.edu/ltm.htm>).
- PIJANOWSKI, B.; HYNDMAN. D.; SHELLITO, B., 2001, The Application of the land transformation, groundwater flow and solute transport models for Michigan's grand traverse bay watershed, *National American Planning Association Meeting, New Orleans, Louisiana*, [versao eletrônica] pp. 1-12. (URL: [http://ltm.agriculture.purdue.edu/Pijanowski\\_et\\_al\\_2001\\_APA.pdf](http://ltm.agriculture.purdue.edu/Pijanowski_et_al_2001_APA.pdf), consultado em 04-03-2008)

## Bibliografia

- PIJANOWSKI, B.; SHELLITO, B.; PITHADIA, S.; ALEXANDRIDIS, K., 2002 (a), Forecasting and assessing the impact of urban sprawl in coastal watersheds along eastern Lake Michigan. *Lakes & Reservoirs: Research and Management*, Volume 7, Number 3, September 2002, pp. 271-285.
- PIJANOWSKI, BRYAN C.; BROWN, DANIEL G.; SHELLITO, BRADLEY A.; MANIK, GAURAV A., 2002 (b), Using neural networks and GIS to forecast land use changes: a Land Transformation Model. *Computers, Environment and Urban Systems*, 26(6), pp. 553-575.
- PIJANOWSKI, et al, 2005, Calibrating a neural network-based urban change model for two metropolitan areas of the Upper Midwest of the United States, *International Journal of Geographical Information Science* Vol. 19, No. 2, February, pp. 197-215.
- PIJANOWSKI, B.K.; ALEXANDRIDIS, K.; AND MULLER, D., 2006, Modelling urbanization patterns in two diverse regions of the world. *Journal of Land Use Science* (1), pp. 83-108.
- PONTIUS, G.; BOERSMA, W.; CASTELLA, J.; CLARKE, K.; NIJS, T.; DIETZEL, C.; ZENGQIANG, D.; FOTSING, E.; GOLDSTEIN, N.; KOK, K.; KOOMEN, E.; LIPPITT, C.; MCCONNELL, W.; PIJANOWSKI, B.; PITHADIA, S.; MOHD SOOD, A.; SWEENEY, S.; TRUNG, T.; VELDKAMP, T.; E VERBURG, P., 2007, Comparing the input, output, and validation maps for several models of land change. *Clark University, Springer Ann Reg Sci* (2008) 42:11-37.
- RODRIGUE, J.P., CLAUDE, C. E SLACK, B., 2006, *The Geography of Transport Systems*. New York: Routledge, Dept. of Economics & Geography, Hofstra University, pp.248 [versao electronica] (URL: <http://people.hofstra.edu/geotrans/index.html>, consultado em 12-08-2008)
- SHELLITO, BRADLEY A.; PIJANOWSKI, BRYAN C., 2003, Using Neural Nets to Model the Spatial Distribution of Seasonal Homes. *Cartography and Geographic Information Systems* 30 (3):281-290.
- SOUTHWORTH, F. 1995. A technical review of urban land use-transportation models as tools for evaluating vehicle travel reduction strategies in Modeling and prediction of future urban growth in the Charleston region of South Carolina: a GIS-based integrated approach editado por Allen, e Lu, *Conservation Ecology* vol. 8, nº 2, pp. 1-20 (URL: <http://www.consecol.org/vol8/iss2/art2/>, consulta em 05-05-2008).
- SOUSA, S.; CAEIRO, S.; PAINHO, M., 2002, Assessment of map similarity of categorical maps using kappa statistics, in *proceeding of ESIG 2002 Tagus Park, Oeiras: Associação de Utilizadores de Informação geográfica*.
- SKLAR, F. H., AND R. COSTANZA. 1991. The development of dynamic spatial models for landscape ecology: A review and prognosis in Multi-agents Systems for the Simulation of Land-use and Land-Cover Change. *Annals of the Association of American Geographers*, editado por Parker, D. et al., [versao electrónica], Vol.93 No.2, pp.314-337, (URL: [www.citeulike.org/user/Bc91](http://www.citeulike.org/user/Bc91) - 81k, consultado em 22-08-2008).
- STAHL, K. 1986. Theories of Urban Business Location. In Handbook of Regional and Urban Economics in Loveridge S. (ed) *The Web Book of Regional Science* West Virginia University, Morgantown. Editado por Briassoulis, H. [versao electrónica], (URL:

## Bibliografia

- <http://www.rri.wvu.edu/WebBook/Briassoulis/contents.htm>, consultado em 13-03-2008).
- STILLWELL, J.e SCHOLTEN, H., 2001, *Simulating Europe's Land Use in the Twenty First Century*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- TABALES, A., 2004, Turismo y Ordenación del Territorio, *QPE- Revista Electronica*, 7 May – Ag. 2004 [versao electrónica], pp. 1-13. (URL: <http://www.uv.es/poleco>, consultado em 08-06-2008).
- TANG, Z.; ENGEL, B.A.; PIJANOWSKI B.C., LIM K.J, 2005, Forecasting land use change and its environmental impact at a watershed scale. *Journal of Environmental Management*. Pp. 35-45.
- THEKKUDAN, T., 2008, Calibration of an Artificial Neural Network for Predicting Development in Montgomery County, Virginia: 1992 – 2001 Master Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia.
- LITWIN. N., 2005. A New Airport at Pickering: A Needs Assessment. Response to the Pickering Airport Draft Plan Report in *proceedings to For Transport 2000 Ontario, March, Ontario*, pp. 1-5.
- TUROK, I. E MYKHENKO, V., 2007, The trajectories of European cities, 1960–2005, *Elvesier, Cities*, Vol. 24, No. 3, pp. 165–182.
- TURNER, B.L. II, SKOLE, D., SANDERSON, S., FISCHER, G., FRESCO, L., LEEMANS, R., 1995, *Land-use and land-cover change*. Science/Research plan, IGBP report no. 35, HDP Report no. 7, 132 pp.
- VALKERING, P.; AMELUNG, B.; BRUGGE, V.; ROTMANS J., 2005, Puzzle-solving for policy in *Proceedings of the EU Advanced Summer Course in Integrated Assessment methodology International Centre for Integrated assessment and Sustainable development (ICIS)*, Netherlands, pp.61-73.
- VELDKAMP, A; LAMBIN; E., 2001, Predicting land use change, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 85, pp. 1–6.
- VELDKAMP, A.; VERBURG, P.H., 2004, Modelling land use change and environmental impact. *Journal of Environmental Management* 72, pp. 1–3.
- VERBURG, PETER H.; CHEN, YOUQI, 2000, Multiscale Characterization of Land-Use Patterns in China. *Ecosystems* (2000) 3: 369–385, Beijing , China.
- VERBURG, P.H., VELDKAMP, A., 2005, Introduction to the special issue on spatial modeling to explore land use dynamics. *International Journal of Geographical Information Science* 19, 99–102.
- VERBURG, P., 2006, Simulating feedbacks in land use and land cover change models. *Landscape Ecology* **21**(8): 1171-1183.
- VERBURG, P.H., KOK, K., PONTIUS JR., R.G., VELDKAMP, A., 2006 (b), *Modelling land use and land cover change*. In: *Land-Use and Land-Cover Change. Local Processes and Global Impacts, Global Change—The IGBP Series*, editado por Lambin, E.F., Geist, H.J., Springer, Dordrecht Chapter 5
- WARDELL, A.; Reenberg, A.; Olsen, H.; Harpoth, R., 2003. Negotiated frontiers in Sudano-Sahelian landscapes Implication for natural resource management strategies. *Africa Today* 52.4 pp. 109-129.
- WASSMER, ROBERT W. e MARLON BOARNET, 2002, The Benefits of Growth, Washington, *Urban Land Institute*, pp. 1-28 [versao electronica]



Bibliografia

---

(URL:<http://www.csus.edu/indiv/w/wassmerr/benefitsofgrowth.pdf>, consultado em 70-23-2008)

- WEGENER, M. 1994. Operational urban models: state of the art. In Modeling and prediction of future urban growth in the Charleston region of South Carolina: a GIS-based integrated approach editado por Allen, e Lu, [versao electronica], *Conservation Ecology* vol. 8, nº 2, pp. 20 (URL: <http://www.consecol.org/vol8/iss2/art2/>, consulta em 05-05-2008).
- WILSON, A.G. 1974. Urban and Regional Models in Geography and Planning in. Analysis of Land Use Change: Theoretical and Modeling Approaches, in Loveridge S. (ed) *The Web Book of Regional Science* West Virginia University, Morgantown. Editado por Briassoulis, H. 2000, (URL: <http://www.rri.wvu.edu/WebBook/Briassoulis/contents.htm>, consultado em 13-03-2008).
- WU, J.E. e S. CHO, 2006, The Effect of Local Regulations on Urban Development in the Western United States, *Regional Science and Urban Economics* 37:69-86.

## **ANEXOS**

## 1. Exemplos de alguns programas que envolvem o desenvolvimento de cenários do uso do solo

	PRELUDE	FORESCENE	MEDALUS III	Gigatopolis	LTM	DSM	Euroscanner	SENSOR
<b>ORGANIZATION</b>	PIrospective Environmental analysis of Land Use Development in Europe - European Environmental Agency	Development of a Forecasting Framework and Scenarios to Support the EU Sustainable Development Strategy - ForeScene is coordinated by the Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy.	Mediterranean Desertification and Land Use – Center for Computational Geography from University Leeds	Urban and Land Cover Modeling - Geography Department; UCSEB, Keith Clarke	Michigan State, University, Brian Pijanowski	Central Massachusetts Regional Planning Commission	Integrative activity of project 'Simulating Europe in the 21st century' (Similar) carried out by: RIVM, VU Amsterdam, Alterra and Geodan-IT, Dutch Central Planning Bureau - Scenarios	Sustainability Impact Assessment: Tools for Environmental, Social and Economic Effects of Multifunctional Land Use in European Regions - European Commission, DG Research, Directorate I: Environment
<b>TOPIC AREA</b>	Land use; Urban land; Grassland; Cropland; Cropland for biofuels; Abandoned land	Agriculture; Industry/Economy; Infrastructure/Land Use	Land Use	Urban Land	Urban Land	Urban Land; Residential area; Industry and services; Commercial area	Urban Land; Agriculture; Natural Landscape; Water	Various land use sectors: Agriculture, Forestry, Tourism, Nature protection, Transport,
<b>MODEL</b>	Metronamica - at Regional Level Louvain-la-neuve at European level		SPS - Synoptic Prediction System - Rede Neuronal	SLEUTH - Slope, Land use, Exclusion, Urban Extent, Transportation, e Hillshade - Automato Celular	LTM - Land Transformation Model - Rede Neuronal	DSM - Regional Development Suitability Model - Allocation Model	Fuimtescanner - Allocation Model	Sustainability Impact Assessment Tools - SIAT
<b>SCALE</b>	Regional Europe	Europe	Europe	Regional; Global	Regional	Regional	Regional Nacional Europe	Local, Regional, European, Global
<b>TIME</b>	30 years ahead	2015-2030	40 to 80 years ahead	2025	2010 - 2020	2020	2020	2015 and 2025
<b>DRIVING FORCES</b>	20 driving forces were clustered into five main categories: Environmental Concerns; Environmental awareness; Climate Change; Renewable Energy; Solidarity and equity; Health; Human behaviour; Social equity; Quality life; Governance and intervention: Policy Intervention; Subsidiarity; Agricultural optimisation; Agricultural intensity; Self-sufficiency; International Trade; Technology and innovation: Technology growth. Additional importante driving forces: Settlement density, Population growth, Ageing society, immigration, Internal migration, Economic growth, Daily mobility	17 driving forces were clustered into five main categories: Economic Development; Production Partners; Consumption Partners; Demography; Natural System;	15 driving forces: Distance to; Built up areas; Airport; Parks; River and canals; Towns by size; Location of; Built up areas; Place names; Density of; Communication networks; Various roads; Railways; Height above sea level; Night-time lights; RIVM's population; Climatic Data; Soils Data; Biomass Data; Land Use Data	6 driving forces: Slope, Land use, Exclusion, Urban Extent, Transportation, Hillshade	10 driving forces: Distance from residential streets; Distance to Urban; Quality view; Distance from highways; Distance from lakes; Distance from rivers; Distance from roads; Distance from lakeshore; Exclusion zone	12 driving forces: Constraints; Developed Land; Hydrologic Features; Permanently Protected Open Space; Public Protection Zones; Factors; Proximity to municipal water system; Municipal water system capacity; Municipal sewer system capacity; Proximity to major roadways; Proximity to intersections & Interchanges; Proximity to cities outside of the region; Travel Time to Worcester; Municipal population; School quality; Income; Degree of slope	driving forces: Land use change detection; Proximity and concentration of existing built-up areas; Proximity and location of employment; Distance to infrastructure; Physical terrain factors; etc.	The drivers chosen are: Population growth in the EU-25; Participation rate in the labour force, for the same area; Economic growth in the world outside the EU-25; The world oil price; Expenditure on research & development in the EU-25; Policies; Culture, i.e. values and patterns of behaviour.
<b>SCENARIO</b>	Great Escape - Europe contrast; Clustered Networks - Europe of innovation; Engaged Society - Europe of harmony; Lettuce Surprise U - Europe of innovation; Big Crisis - Europe of cohesion	Scenario Competitiveness; Scenario Rural Viability; Scenario Environment;			Non-Sprawl Scenario; Sprawl Scenario	Standard Development Model; Compact Development Model	Europe divided; Coordination Europe; Competitiveness Europe	Reference scenario; The low-growth scenario; The high-growth scenario

## 2. Exemplos de modelos LUCC: autores, classificação do modelo quanto à técnica, descrição, exemplo de aplicações do modelo, disponibilidade.

	<b>Autores</b>	<b>Classificação</b>	<b>Descrição</b>	<b>Ex. de Aplicações do Modelo</b>	<b>Disponibilidade</b>
<b>CLUE</b> - Conversation of Land Use and its Effects;	Veldkamp and Fresco, 1996; Verburg et al., 1999	Regressão Estatística	O CLUE foi desenvolvido para simular as alterações do uso do solo usando empiricamente as relações quantificadas entre os usos do solo e as forças motoras em combinação com modelação dinâmica da competição entre os diferentes usos do solo. Dos dados históricos o CLUE explora possíveis alterações do uso do solo num futuro próximo baseado em cenários de desenvolvimento com um horizonte de 20 anos.	.SENSOR; .EURORURALIS; .NITRO-EUROPE; .SCENAR 2020; .LUMOS- Pro;	O Dyna-CLUE é uma versão experimental e contem as funções bases do modelo. A versão completa está disponível sem suporte técnico.
<b>CLUE-S</b> - Conversation of Land Use and its Effects at Small Regional Extent;		Autómatos Celulares			
<b>Land Use Scanner ou Ruimtescanner (LUMOS)</b>	-Netherlands Environmental Assesment Agency -Vrije Universitei Amsterdam Object Vision (OV)	Regressão Estatística	O Land Use Scanner utiliza a configuração do uso do solo actual (sectores e factores de atractividade) como ponto de partida para calcular as alterações do uso do solo baseado em cenários.	GESO .NL later .Ruimtelijke Beelden Land Use Allocation in Zuid-Holland (MNP / Provincie Zuid-Holland, 2005) .Validatie Ruimtescanner (MNP / VU, 2005)	O Land Use Scanner (Student Edition, version 5.06) pode ser adquirido da pagina oficial de Object Vision BV. sob uma licença GNU-GPL
<b>Land Transformation Model</b>	- Bryan C. Pijanowski, et al. 1997	Máquina de Aprendizagem Redes Neuronais Artificiais	O LTM é um modelo de previsões do uso do solo como também é uma ferramenta para examinar os aspectos espaciais e temporais das forças motoras que influenciam as alterações do uso do solo.	- EPA STAR Biological Classification Program .Climaté-Land Interaction Project (CLIP) in East Africa - NASA Upper Upper Midwest Regional Earth Science	O LTM está disponível na pagina oficial do LTM sob licença publica GNU

Continua na página seguinte.

Continuação da página anterior.

	<b>Autores</b>	<b>Classificação</b>	<b>Descrição</b>	<b>Ex. de Aplicações do Modelo</b>	<b>Disponibilidade</b>
<b>Environmental Explorer (LOV)</b>	- Netherlands Environmental Assessment Agency - Research Institute for Knowledge Systems (RIKS)	Regressão Estatística (opcional)  Autómatos Celulares	O Environmental Explorer (LOV) é um modelo de dinâmica espacial, que modela de uma forma integrada o uso do solo e indicadores sociais, económicos e ecológicos O principal objectivo deste modelo é explorar o futuro desenvolvimento combinando desenvolvimentos.	- Lumos	BabyLOV software, é uma versão simplificada do LOV e pode ser adquirido da site oficial de projecto LUMOS
<b>SLEUTH</b>	Keith C. Clarke Department of Geography University of California – Santa Barbara	Regressão Estatística Autómatos Celulares Máquina de Aprendizagem	O modelo SLEUTH projecta a expansão urbana e examina quais as novas áreas que são consumidas em volta do solo e o impacto provocado o meio-ambiente.	- NASA Land Cover Land Use Change Program	O SLEUTH pode ser adquirido a partir da pagina oficial de National Center for Geographic Information and Analysis.
<b>GEOMOD</b>	Grupo de investigação de SUNY College of Environmental Science and Forestry	Regressão Estatística (Opcional) Autómatos Celulares (Opcional)	O GEOMOD é um modelo do uso do solo que prever o ritmo e os padrões espaciais baseado nas alterações do passado, extrapolando para o futuro. Pode ser usado para análise qualquer tipo de conversão do uso do solo.	- Climaté, Community and Biodiversity Project Design Standards	Este modelo está integrado num modulo do software IDRISI.
<b>CORMAS Common-Pool Resources Multi-Agent System</b>	CIRAD – “Centre de Cooperation Internationale en Recherche Agronomique Pour le Developpement”	MAS Multi-agentes	Cormas foi desenvolvido para modelar da dinâmica do uso do solo orientado em torno de representações de interações entre os agentes e o uso dos recursos naturais renováveis.		O Cormas é um software livre. Pode ser adquirido na pagina oficial do CIRAD.

Continuação na página seguinte.

Continuação da pagina anterior.

	<b>Autores</b>	<b>Classificação</b>	<b>Descrição</b>	<b>Ex. de Aplicações do Modelo</b>	<b>Disponibilidade</b>
<b>Land-Use Change Analysis System (LUCAS)</b>	Michael W. Berry, Richard O. Flamm, Brett C. Hazen, Rhonda M. MacIntyre e Karen S. Minser University of Tennessee		LUCAS é uma aplicação espacialmente desenhada para integrar informações actuais e futuras para fornecer um ambiente de modelação multidisciplinar para abordar questões relativas com o uso do solo e os seus impactos, aplicando métodos de gestão adaptativa, a fim de abordar questões relativas à gestão da paisagem e a avaliação de impactos. O output inclui uma serie temporal de projecções do uso do solo por um tempo específico estipulado pelo utilizador.	"Man and the Biosphere (MAB)" program	O LUCAS é uma aplicação de domínio público.
<b>METRONAMICA /Moland</b>	O Metronamica foi desenvolvido pela empresa RIKS (Research Institute for Knowledge Systems, Ltd) e Roger White (Memorial University)	Autómatos Celulares	O METRONAMICA é um modelo de sistema de suporte à decisão que foi desenvolvido para modelar e simular a dinâmica do uso do solo com elevada resolução geográfica. O primeiro objectivo do Metronamica é modelar os efeitos/impactos das opções políticas no ambiente sócio-económico e físico. O MOLAND é uma ferramenta mista (autómato celular é ligado a uma modelo dinâmico integrado) que resultou do aperfeiçoamento do METRONAMICA, no entanto mais focado na análise da expansão urbana à escala regional.	METRONAMICA – PRELUDE MOLAND – Projecto Monitoring Land Use/ Cover Dynamics (JRC)	O METRONAMICA é um software comercial

### 3. Legenda do Mapa de Usos e Coberturas vegetais do uso do solo de Andaluzia

(CLAVES: COD\_J código jerárquico; COD\_UC: código cartográfico o de la base de datos digital)

COD_J	DENOMINACION	COD_UC
<b>1.</b>	<b>SUPERFICIES EDIFICADAS E INFRAESTRUCTURAS</b>	
<b>1.1.</b>	<b>ZONAS URBANAS</b>	
1.1.1.	TEJIDO URBANO	111
1.1.2.	URBANIZACIONES	
1.1.2.1.	URBANIZACIONES RESIDENCIALES	115
1.1.2.2.	URBANIZACIONES AGRICOLA / RESIDENCIALES	117
<b>1.2.</b>	<b>ZONAS INDUSTRIALES Y COMERCIALES E INFRAESTRUCTURAS TECNICAS</b>	
1.2.1.	ZONAS INDUSTRIALES Y COMERCIALES	121
1.2.2.	INFRAESTRUCTURAS DE COMUNICACIONES	
1.2.2.1.	AUTOVIAS, AUTOPISTAS Y ENLACES VIARIOS	131
1.2.2.2.	COMPLEJOS FERROVIARIOS	133
1.2.2.3.	ZONAS PORTUARIAS	135
1.2.2.4.	AEROPUERTOS	137
1.2.3.	OTRAS INFRAESTRUCTURAS TECNICAS	141
<b>1.3.</b>	<b>ZONAS MINERAS, VERTEDEROS Y AREAS EN CONSTRUCCION</b>	
1.3.1.	ZONAS MINERAS	151
1.3.2.	ESCOMBRERAS Y VERTEDEROS	153
1.3.3.	ZONAS EN CONSTRUCCION	155
1.3.4.	BALSAS DE ALPECHIN	157
<b>1.4.</b>	<b>ZONAS VERDES Y ESPACIOS DE OCIO</b>	
1.4.1.	ZONAS VERDES URBANAS	191
1.4.2.	EQUIPAMIENTO DEPORTIVO Y RECREATIVO	193
<b>2.</b>	<b>ZONAS HUMEDAS Y SUPERFICIES DE AGUA</b>	
<b>2.1.</b>	<b>ZONAS HUMEDAS Y SUPERFICIES DE AGUA LITORALES</b>	
2.1.1.	MARISMAS	
2.1.1.1.	MARISMA COLONIZADA POR VEGETACION	
2.1.1.1.1.	MARISMA MAREAL CON VEGETACION	211
2.1.1.1.2.	MARISMA NO MAREAL CON VEGETACION	215
2.1.1.2.	MARISMA RECIENTE SIN VEGETACION	217
2.1.2.	SALINAS Y PARQUES DE CULTIVOS ACUATICOS	
2.1.2.1.	SALINAS TRADICIONALES	221
2.1.2.2.	SALINAS INDUST. Y PARQUES DE CULTIVOS	225
2.1.3.	ALBUFERAS	231
2.1.4.	ESTUARIOS Y CANALES DE MAREA	241
2.1.5.	MARES Y OCEANOS	291
<b>2.2.</b>	<b>ZONAS HUMEDAS Y SUPERFICIES DE AGUA CONTINENTALES</b>	
2.2.1.	RIOS Y CAUCES	
2.2.1.1.	RIOS Y CAUCES NAT.:LAMINA DE AGUA	311
2.2.1.2.	RIOS Y CAUCES NATURALES: VEGETACION RIPARIA	
2.2.1.2.1.	RIOS Y CAUCES NAT.:BOSQUE GALERIA	315
2.2.1.2.2.	RIOS Y CAUCES NAT.:OTRAS FORM. RIPARIAS	317
2.2.2.	CANALES ARTIFICIALES	321

Continuação na pagina seguinte.

## Anexos

Continuação da pagina anterior.

2.2.3.	LAGUNAS CONTINENTALES	331
2.2.4.	EMBALSES Y BALSAS	
2.2.4.1.	EMBALSES	341
2.2.4.2.	BALSAS DE RIEGO Y GANADERAS	345
<b>3.</b>	<b>TERRITORIOS AGRICOLAS</b>	
<b>3.1.</b>	<b>AREAS AGRICOLAS HOMOGENEAS</b>	
3.1.1.	AREAS AGRICOLAS HOMOGENEAS EN SECANO	
3.1.1.1.	CULTIVOS HERBACEOS EN SECANO	411
3.1.1.2.	CULTIVOS LEÑOSOS EN SECANO	
3.1.1.2.1.	OLIVAR	415
3.1.1.2.2.	VIÑEDO	417
3.1.1.2.3.	OTROS CULTIVOS LEÑOSOS EN SECANO	419
3.1.2.	AREAS AGRICOLAS HOMOGENEAS EN REGADIO	
3.1.2.1.	CULTIVOS HERBACEOS EN REGADIO	
3.1.2.1.1.	REGADOS	
3.1.2.1.1.1.	ARROZALES	421
3.1.2.1.1.2.	CULTIVOS FORZADOS BAJO PLASTICO	423
3.1.2.1.1.3.	OTROS CULTIVOS HERBACEOS REGADOS	425
3.1.2.1.2.	REGADOS Y NO REGADOS	427
3.1.2.1.3.	NO REGADOS	429
3.1.2.2.	CULTIVOS LEÑOSOS EN REGADIO	
3.1.2.2.1.	PARCIALMENTE REGADOS O NO REGADOS	430
3.1.2.2.2.	REGADOS	
3.1.2.2.2.1.	CITRICOS	431
3.1.2.2.2.2.	OLIVOS	433
3.1.2.2.2.3.	FRUTALES TROPICALES	435
3.1.2.2.2.4.	OTROS CULTIVOS LEÑOSOS EN REGADIO	439
<b>3.2.</b>	<b>AREAS AGRICOLAS HETEROGENEAS</b>	
3.2.1.	AREAS AGRICOLAS HETEROGENEAS EN SECANO	
3.2.1.1.	CULTIVOS HERBACEOS Y LEÑOSOS EN SECANO	441
3.2.1.2.	ASOCIACIONES Y MOSAICOS DE CULTIVOS LEÑOSOS EN SECANO	
3.2.1.2.1.	OLIVAR-VIÑEDO	445
3.2.1.2.2.	OTRAS ASOCIACIONES Y MOSAICOS DE CULTIVOS LEÑOSOS EN SECANO	449
3.2.2.	AREAS AGRICOLAS HETEROGENEAS EN REGADIO	
3.2.2.1.	CULTIVOS HERBACEOS Y LEÑOSOS EN REGADIO	
3.2.2.1.1.	REGADOS	451
3.2.2.1.2.	PARCIALMENTE REGADOS	455
3.2.2.1.3.	NO REGADOS	457
3.2.2.2.	MOSAICO DE LEÑOSOS EN REGADIO	459
3.2.3.	MOSAICOS DE SECANOS Y REGADIOS	
3.2.3.1.	CON CULTIVOS HERBACEOS	461
3.2.3.2.	CON CULTIVOS HERBACEOS Y LEÑOSOS	465
3.2.3.3.	CON CULTIVOS LEÑOSOS	469
3.2.4.	MOSAICOS DE CULTIVOS CON VEGETACION NATURAL	
3.2.4.1.	CULTIVOS HERBACEOS Y PASTIZALES	471
3.2.4.2.	CULTIVOS HERBACEOS Y VEGETACION NATURAL LEÑOSA	473
3.2.4.3.	CULTIVOS LEÑOSOS Y PASTIZALES	475

Continuação na pagina seguinte



## Anexos

Continuação da pagina anterior

3.2.4.4.	CULTIVOS LEÑOSOS Y VEGETACION NATURAL LEÑOSA	477
3.2.4.5.	OTROS MOSAICOS DE CULTIVOS Y VEGETACION NATURAL	479
3.2.4.6.1.	OLIVAR ABANDONADO	481
4.	ÁREAS FORESTALES Y NATURALES	
4.1	ZONAS FORESTALES Y NATURALES ARBOLADAS	
4.1.1	FORMACIONES ARBOLADAS DENSAS	
4.1.1.1	FOR. ARBOL. DENSA: QUERCINEAS	510
4.1.1.2.	FOR. ARBOL. DENSA: CONIFERAS	520
4.1.1.3.	FOR. ARBOL. DENSA: EUCALIPTOS	530
4.1.1.4.	FOR. ARBOL. DENSA: OTRAS FRONDOSAS	540
4.1.1.5.	FOR. ARBOL. DENSA: QUERCINEAS+CONIFERAS	550
4.1.1.6.	FOR. ARBOL. DENSA: QUERCINEAS+EUCALIPTOS	560
4.1.1.7.	FOR. ARBOL. DENSA: CONIFERAS+EUCALIPTOS	570
4.1.1.8.	FOR. ARBOL. DENSA: OTRAS MEZCLAS	580
4.1.2.	FORMACIONES DE MATORRAL DENSO CON ARBOLADO	
4.1.2.1	MATORRAL DENSO ARBOLADO: QUERCINEAS	
4.1.2.1.1	MATORRAL DENSO ARBOLADO: QUERCINEAS DENSAS	611
4.1.2.1.2	MATORRAL DENSO ARBOLADO: QUERCINEAS DISPERSAS	615
4.1.2.2	MATORRAL DENSO ARBOLADO: CONIFERAS	
4.1.2.2.1	MATORRAL DENSO ARBOLADO: CONIFERAS DENSAS	621
4.1.2.2.2	MATORRAL DENSO ARBOLADO: CONIFERAS DISPERSAS	625
4.1.2.3	MATORRAL DENSO ARBOLADO: EUCALIPTOS	630
4.1.2.4	MATORRAL DENSO ARBOLADO: OTRAS FRONDOSAS	640
4.1.2.5	MATORRAL DENSO ARBOLADO: QUERCINEAS+CONIFERAS	650
4.1.2.6	MATORRAL DENSO ARBOLADO: QUERCINEAS+EUCALIPTOS	660
4.1.2.7	MATORRAL DENSO ARBOLADO: CONIFERAS+EUCALIPTOS	670
4.1.2.8	MATORRAL DENSO ARBOLADO: OTRAS MEZCLAS	680
4.1.3	FORMACIONES DE MATORRAL DISPERSO CON ARBOLADO	
4.1.3.1	MATORRAL DISPERSO CON QUERCINEAS	
4.1.3.1.1	MATORRAL DISP. ARBOLADO: QUERCINEAS. DENSO	711
4.1.3.1.2	MATORRAL DISP. ARBOLADO: QUERCINEAS. DISPERSO	715
4.1.3.2	MATORRAL DISPERSO CON CONIFERAS	
4.1.3.2.1	MATORRAL DISP. ARBOLADO: CONIFERAS. DENSO	721
4.1.3.2.2	MATORRAL DISP. ARBOLADO: CONIFERAS. DISPERSO	725
4.1.3.3	MATORRAL DISP. ARBOLADO: EUCALIPTOS	730
4.1.3.4	MATORRAL DISP. ARBOLADO: OTRAS FRONDOSAS	740
4.1.3.5	MATORRAL DISP. ARBOLADO: QUERCINEAS+CONIFERAS	750
4.1.3.6	MATORRAL DISP. ARBOLADO: QUERCINEAS+EUCALIPTOS	760
4.1.3.7	MATORRAL DISP. ARBOLADO: CONIFERAS+EUCALIPTOS	770
4.1.3.8	MATORRAL DISP. ARBOLADO: OTRAS MEZCLAS	780
4.1.4	FORMACIONES DE PASTIZAL CON ARBOLADO	
4.1.4.1	PASTIZAL CON QUERCINEAS	
4.1.4.1.1	PASTIZAL ARBOLADO: QUERCINEAS. DENSO	811
4.1.4.1.2	PASTIZAL ARBOLADO: QUERCINEAS. DISPERSO	815
4.1.4.2	PASTIZAL CON CONIFERAS	
4.1.4.2.1	PASTIZAL ARBOLADO: CONIFERAS. DENSO	821
4.1.4.2.2	PASTIZAL ARBOLADO: CONIFERAS. DISPERSO	825
4.1.4.3	PASTIZAL ARBOLADO: EUCALIPTOS	830

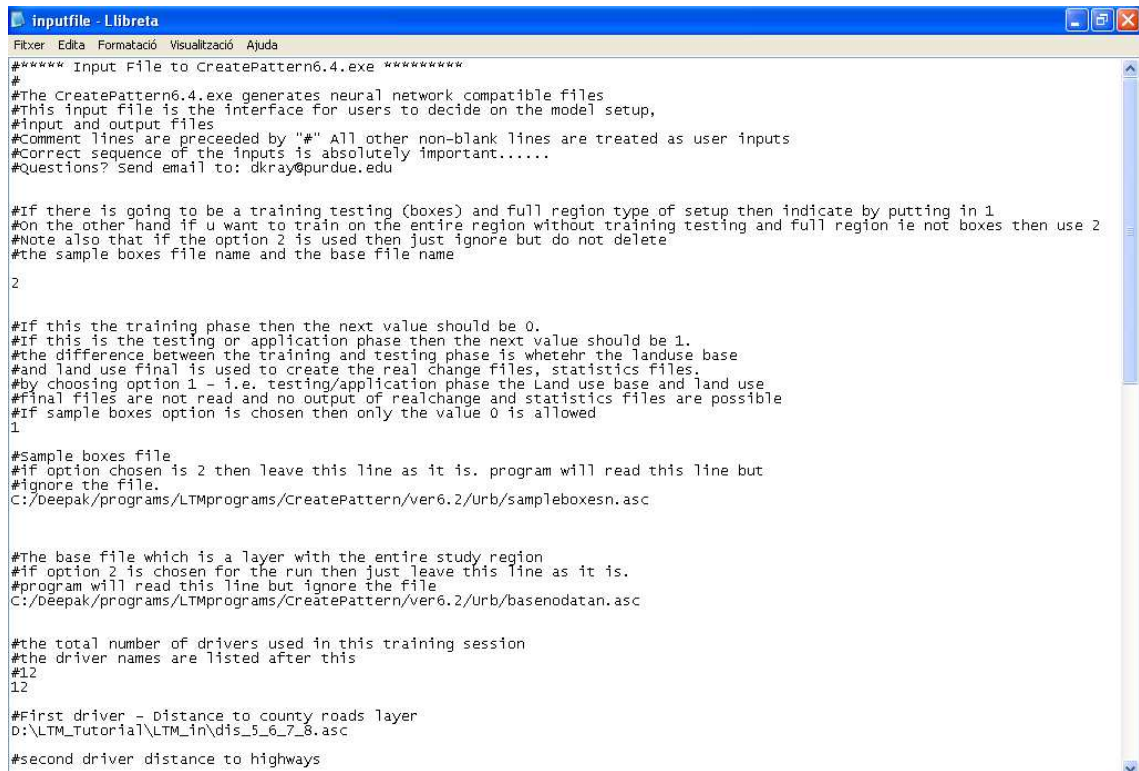
Continuação na página seguinte.

## Anexos

Continuação da pagina anterior.

4.1.4.4	PASTIZAL ARBOLADO: OTRAS FRONDOSAS	840
4.1.4.5	PASTIZAL ARBOLADO: QUERCINEAS+CONIFERAS	850
4.1.4.6	PASTIZAL ARBOLADO: QUERCINEAS+EUCALIPTOS	860
4.1.4.7	PASTIZAL ARBOLADO: CONIFERAS+EUCALIPTOS	870
4.1.4.8	PASTIZAL ARBOLADO: OTRAS MEZCLAS	880
4.1.5	CULTIVOS HERBACEOS CON ARBOLADO DE QUERCINEAS	
4.1.5.1	CULTIVO HERBACEO ARBOLADO: QUERCINEAS. DENSO	891
4.1.5.2	CULTIVO HERBACEO ARBOLADO: QUERCINEAS. DISPERSO	895
4.1.6	TALAS Y PLANTACIONES FORESTALES RECIENTES	901
4.2	MATORRAL SIN ARBOLADO	
4.2.1	MATORRAL DENSO	911
4.2.2	MATORRAL DISPERSO	
4.2.2.1	MATORRAL DISPERSO CON PASTIZAL	915
4.2.2.2	MATORRAL DISPERSO CON PASTO Y ROCA O SUELO	917
4.3	PASTIZALES NO ARBOLADOS	
4.3.1	PASTIZAL CONTINUO	921
4.3.2	PASTIZAL CON CLAROS (ROCA, SUELO)	925
4.4	ESPACIOS ABIERTOS CON POCA O SIN VEGETACION	
4.4.1	PLAYAS, DUNAS Y ARENALES	931
4.4.2	ROQUEDOS Y SUELO DESNUDO	932
4.4.3	AREAS CON FUERTES PROCESOS EROSIVOS	933
4.4.4	ZONAS INCENDIADAS	934
4.4.5	ZONAS SIN VEGETACION POR ROTURACION	935

## 4. Informação necessária para a RNA - Inputfile.txt



```
inputfile - Llibreta
Fitxer Edita Formatació Visualització Ajuda
***** Input File to CreatePattern6.4.exe *****
#
#The CreatePattern6.4.exe generates neural network compatible files
#This input file is the interface for users to decide on the model setup,
#input and output files
#Comment lines are preceeded by "#" All other non-blank lines are treated as user inputs
#Correct sequence of the inputs is absolutely important.....
#Questions? Send email to: dkray@purdue.edu

#If there is going to be a training testing (boxes) and full region type of setup then indicate by putting in 1
#On the other hand if u want to train on the entire region without training testing and full region ie not boxes then use 2
#Note also that if the option 2 is used then just ignore but do not delete
#the sample boxes file name and the base file name
2

#If this the training phase then the next value should be 0.
#If this is the testing or application phase then the next value should be 1.
#the difference between the training and testing phase is whetebr the landuse base
#and land use final is used to create the real change files, statistics files,
#by choosing option 1 - i.e. testing/application phase the Land use base and land use
#Final files are not read and no output of realchange and statistics files are possible
#If sample boxes option is chosen then only the value 0 is allowed
1

#Sample boxes file
#if option chosen is 2 then leave this line as it is. program will read this line but
#ignore the file.
C:/Deepak/programs/LTMprograms/CreatePattern/ver6.2/urb/sampleboxesn.asc

#The base file which is a layer with the entire study region
#if option 2 is chosen for the run then just leave this line as it is.
#program will read this line but ignore the file
C:/Deepak/programs/LTMprograms/CreatePattern/ver6.2/urb/basenodatan.asc

#the total number of drivers used in this training session
#the driver names are listed after this
#12
12

#First driver - Distance to county roads layer
D:\LTM_tutorial\LTM_in\dis_5_6_7_8.asc

#second driver distance to highways
```

## 5. Comando para criar estrutura da rede, padrão dos dados input e para treinar a rede

### A) Comando para criar a estrutura da rede

```
Microsoft Windows XP [Versión 5.1.2600]
(C) Copyright 1985-2001 Microsoft Corp.

d:\Documents and Settings\barbosa>cd D:\LTM_Tutorial\LTM_in
D:\LTM_Tutorial\LTM_in>Createnet

Usage createnetf <noofinputs> <noofhidden> <noofoutputs> <name of netfile to create>
D:\LTM_Tutorial\LTM_in>Createnet 9 9 1 ltm.net
```

### B) Comando para criar o padrão dos dados input (uso do solo, variáveis e zonas excluídas)

```
Microsoft Windows XP [Versión 5.1.2600]
(C) Copyright 1985-2001 Microsoft Corp.

D:\LTM_Tutorial\LTM_in>Createpattern.6.5 inputfile.txt v

Chosen training over the full region with a skip factor

Chosen the testing/Full application
Will not read land use base and land use final
No output of real change and statistics file possible

# of input drivers:12
Number of Input Drivers:12
Driver Name[1]:D:\LTM_Tutorial\LTM_in\dis_5_6_7_8.asc Rows:2871 Columns:5116
Driver Name[2]:D:\LTM_Tutorial\LTM_in\auto_ant_90.asc Rows:2871 Columns:5116
Driver Name[3]:D:\LTM_Tutorial\LTM_in\coast_line.asc Rows:2871 Columns:5116
Driver Name[4]:D:\LTM_Tutorial\LTM_in\water_line.asc Rows:2871 Columns:5116
Driver Name[5]:D:\LTM_Tutorial\LTM_in\dist_urb_1987.asc Rows:2871 Columns:5116
Driver Name[6]:D:\LTM_Tutorial\LTM_in\dis_rec_87.asc Rows:2871 Columns:5116
Driver Name[7]:D:\LTM_Tutorial\LTM_in\dis_nc_87.asc Rows:2871 Columns:5116
Driver Name[8]:D:\LTM_Tutorial\LTM_in\dis_aero_87.asc Rows:2871 Columns:5116
Driver Name[9]:D:\LTM_Tutorial\LTM_in\dis_ferro_87.asc Rows:2871 Columns:5116
Driver Name[10]:D:\LTM_Tutorial\LTM_in\dens_pop_x.asc Rows:2871 Columns:5116
```

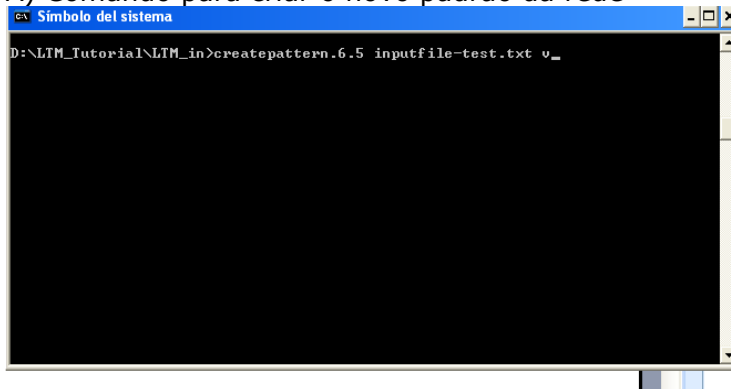
### C) Comando para treinar a rede

```
Microsoft Windows XP [Versión 5.1.2600]
(C) Copyright 1985-2001 Microsoft Corp.

D:\LTM_Tutorial\LTM_in>Batchman -q -f train.bat > traincycles.csv
```

## 6. Comandos da fase de teste

### A) Comando para criar o novo padrão da rede

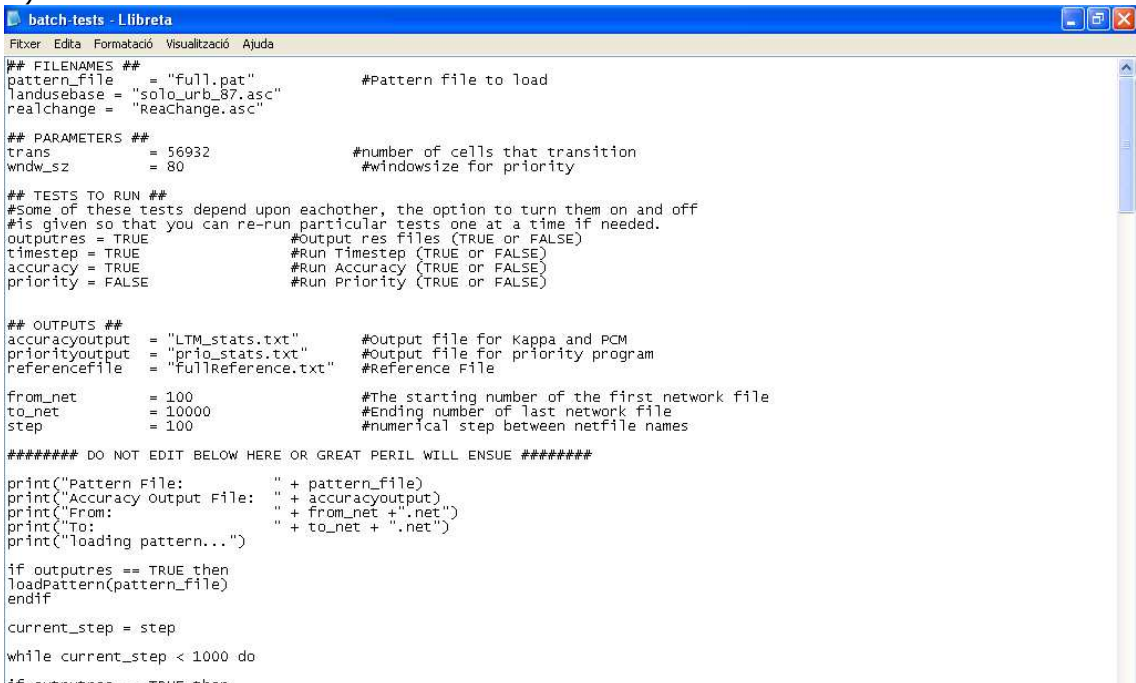


```

Simbolo del sistema
D:\LTM_Tutorial\LTM_in>createpattern.6.5 inputfile-test.txt v_

```

### B) Editar o batch-tests.bat



```

batch-tests - Llibreta
Filtre Editar Formatació Visualització Ajuda
## FILENAMES ##
pattern_file = "full.pat"           #Pattern file to load
landusebase = "solo_urb_87.asc"
realchange = "ReaChange.asc"

## PARAMETERS ##
trans = 56932                       #number of cells that transition
wndw_sz = 80                        #window size for priority

## TESTS TO RUN ##
#Some of these tests depend upon eachother, the option to turn them on and off
#is given so that you can re-run particular tests one at a time if needed.
outputres = TRUE                    #Output res files (TRUE or FALSE)
timestep = TRUE                     #Run Timestep (TRUE or FALSE)
accuracy = TRUE                     #Run Accuracy (TRUE or FALSE)
priority = FALSE                    #Run Priority (TRUE or FALSE)

## OUTPUTS ##
accuracyoutput = "LTM_stats.txt"    #Output file for Kappa and PCM
priorityoutput = "prio_stats.txt"   #Output file for priority program
referencefile = "fullReference.txt" #Reference File

from_net = 100                      #The starting number of the first network file
to_net = 10000                      #Ending number of last network file
step = 100                          #numerical step between netfile names

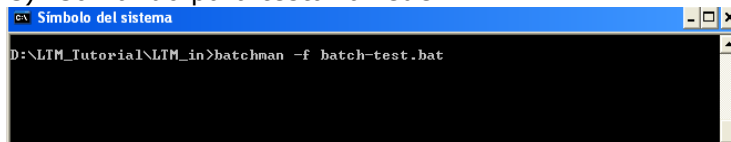
##### DO NOT EDIT BELOW HERE OR GREAT PERIL WILL ENSUE #####
print("Pattern File: " + pattern_file)
print("Accuracy output File: " + accuracyoutput)
print("From: " + from_net + ".net")
print("To: " + to_net + ".net")
print("Loading pattern...")

if outputres == TRUE then
loadPattern(pattern_file)
endif

current_step = step
while current_step < 1000 do
if outputres == TRUE then

```

### C) Comando para testar a rede

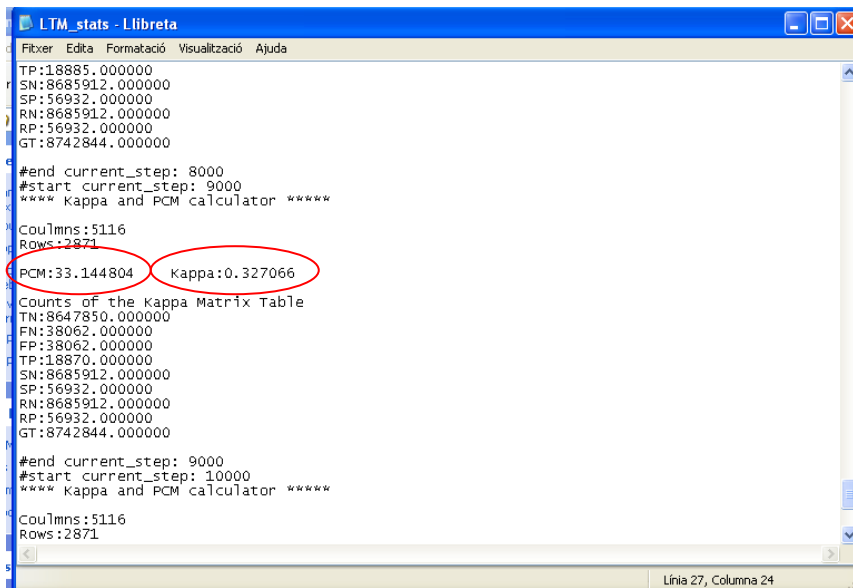


```

Simbolo del sistema
D:\LTM_Tutorial\LTM_in>batchman -f batch-test.bat

```

## 7. LTM Stats – Resultados do PCM e coeficiente de Kappa

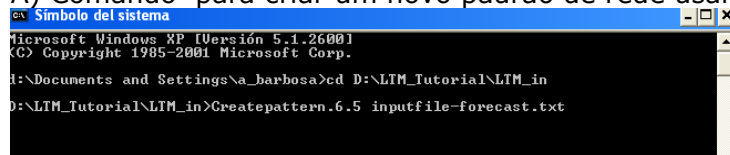


```
LTM_stats - Llibreta
Fitxer  Edita  Formatació  Visualització  Ajuda
TP:18885.000000
SN:8685912.000000
SP:56932.000000
RN:8685912.000000
RP:56932.000000
GT:8742844.000000
#end current_step: 8000
#start current_step: 9000
**** Kappa and PCM calculator ****
Columns:5116
Rows:2871
PCM:33.144804  Kappa:0.327066
Counts of the Kappa Matrix Table
TN:8647850.000000
FN:38062.000000
FP:38062.000000
TP:18870.000000
SN:8685912.000000
SP:56932.000000
RN:8685912.000000
RP:56932.000000
GT:8742844.000000
#end current_step: 9000
#start current_step: 10000
**** Kappa and PCM calculator ****
Columns:5116
Rows:2871
Línia 27, Columna 24
```

## 8. Comandos para obter as previsões do uso do solo

---

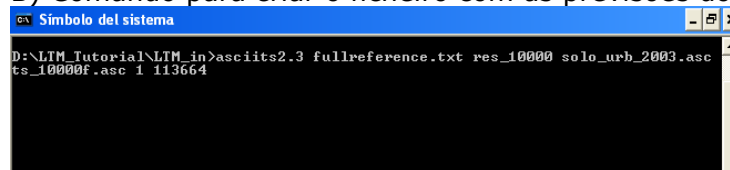
A) Comando para criar um novo padrão de rede usando o Inputfile-Forecast.txt



```
Microsoft Windows XP [Versión 5.1.2600]
(C) Copyright 1985-2001 Microsoft Corp.

D:\Documents and Settings\barbosa>cd D:\LTM_Tutorial\LTM_in
D:\LTM_Tutorial\LTM_in>Createpattern.6.5 inputfile-forecast.txt
```

B) Comando para criar o ficheiro com as previsões do uso do solo urbano



```
D:\LTM_Tutorial\LTM_in>asciits2.3 fullreference.txt res_10000 solo_urb_2003.asc
ts_10000f.asc 1 113664
```

