

**ESPAÇO GEOGRÁFICO E COMPLEXIDADE:
MODELAÇÃO DO CRESCIMENTO DAS ÁREAS
CONSTRUÍDAS NA AGLOMERAÇÃO DE LISBOA**

Sara Alexandra Aires da Encarnação

**Tese de Doutoramento em Geografia e Planeamento Regional,
Especialidade em Novas Tecnologias em Geografia**

NOVEMBRO 2011

Tese apresentada para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Doutor em Geografia e Planeamento Regional, Especialidade em Novas Tecnologias em Geografia, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor José António Tenedório (Departamento de Geografia e Planeamento Regional, Faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade Nova de Lisboa) e co-orientação do Professor Doutor Jorge Manuel dos Santos Pacheco (Departamento de Matemática e Aplicações da Universidade do Minho)

Os trabalhos que culminaram na presente tese foram financiados pela Fundação para a Ciência e Tecnologia, através de uma bolsa individual de doutoramento (SFRH/BD/21913/2005) e decorreram no e-GEO – Centro de Estudos de Geografia e Planeamento Regional (<http://www.fcsh.unl.pt/e-geo/>), da Faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade Nova de Lisboa, no quadro do grupo de Investigação Modelação Geográfica, Cidades e Ordenamento do Território, e no CMAF – Centro de Matemática e Aplicações Fundamentais, da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, no quadro do grupo de investigação ATP – Applications of Theoretical physics (<http://www.ciul.ul.pt/~ATP/>)



[DECLARAÇÕES]

Declaro que esta tese é o resultado da minha investigação pessoal e independente. O seu conteúdo é original e todas as fontes consultadas estão devidamente mencionadas no texto, nas notas e na bibliografia.

O candidato,

Lisboa, 15 de Novembro de 2011

Declaro que esta tese se encontra em condições de ser apreciado pelo júri a designar.

O orientador,

O co-orientador,

Lisboa, 15 de Novembro de 2011

**ESPAÇO GEOGRÁFICO E COMPLEXIDADE:
MODELAÇÃO DO CRESCIMENTO DAS ÁREAS CONSTRUIDAS NA
AGLOMERAÇÃO DE LISBOA**

Sara Alexandra Aires da Encarnação

RESUMO

ABSTRACT

ESPAÇO GEOGRÁFICO E COMPLEXIDADE: MODELAÇÃO DO CRESCIMENTO DAS ÁREAS CONSTRUÍDAS NA AGLOMERAÇÃO DE LISBOA

GEOGRAPHICAL SPACE AND COMPLEXITY: MODELLING OF THE BUILT-UP AREAS IN THE LISBON AGLOMERATION

Sara Alexandra Aires da Encarnação

PALAVRAS-CHAVE: Complexidade, Não-linearidade, Leis de Escala, Fractais, Território

A reflexão apresentada procura demonstrar que a teoria da Complexidade pode trazer novas abordagens de análise e de actuação na Geografia. Assim, a análise e modelação do crescimento das áreas construídas, na aglomeração de Lisboa, entre 1960 e 2004, envolveu uma primeira fase de experimentação e análise dos dados, na qual foi possível identificar três propriedades dos sistemas complexos: a não linearidade, a auto-organização e o comportamento fractal. Numa segunda fase, foi desenvolvido um modelo de classificação de tipologias de crescimento das áreas construídas, com base na análise multi-fractal. A modelação destas tipologias permitiu lançar algumas questões, sobre a pertinência dos actuais instrumentos de planeamento territorial, face aos comportamentos esperados para os quais o modelo aponta.

KEYWORDS: Complexity, Non-linearity, Scale laws, Fractals, Territory

This thesis argues that complexity theory can bring new approaches of analysis in Geography. To this end, the analysis and modeling of the growth of built-up areas on the agglomeration of Lisbon, between 1960 and 2004, involved a first step of experimentation and data analysis, in which it was possible to identify three properties of complex systems: nonlinearity, self -organization and fractal behaviour. In a second step, we developed a model for classifying typologies of growth of the built-up environment, based on multi-fractal analysis. The modeling of these typologies allowed us to raise a few questions about the relevance of existing urban planning instruments, according to the expected behaviours suggested by the model.

O que eu quero é entender, compreender o que me rodeia. Procuo pela forma que se me impõe enquanto a norma, o paradigma ou a substância – procura esta que me prende pela imaginação, o veio do pensamento, por aquilo que deveria ser ou do que é, do que foi ou do que será.

Prendo a mim própria numa História sem fim nem começo, numa encruzilhada de pensamentos e sentimentos, sistematizados ou tentados. Prendo-me pela minha ignorância e esquecimento e, todos os dias, em todos os baços de respiro, se solta mais um pedaço daquilo que entendo sem entender, daquilo que me deve sustentar a norma ou o meu paradigma por criar e, no entanto, tudo se perde pelo caminho, perde-se o que quero entender; compreender o que vivo e me tem vivido.

E fazer cidade como tantos dizem, sem entender, é assim, não o que é cidade, mas o que é fazer. O que é não se faz, emerge, aparece e desaparece, transforma-se e aniquila, é, por não o ser, e o fazer é pulverizado sem comiseração, no absurdo. Esta é a minha cátedra, sustentar a minha dúvida em mim mesma, naquilo que sendo relativo é em si mesmo relativizado no absoluto, naquilo que não quero saber. Lá no fundo, de tudo o que é importante, nos pensamentos formados então, que me seguram, com humildade e sabedoria o de hoje, com a teimosia e arrogância necessárias o de ontem e o de amanhã; contrariando aquilo que não sei e que penso saber, mas que me é de direito perceber, sem querer saber...

Ao meu pai.

AGRADECIMENTOS

A todos os que, de uma forma ou de outra, me ajudaram, um forte obrigada.

Aos colegas do eGeo e do grupo ATP pelo apoio e companheirismo.

Ao Marcos Gaudiano pelo acompanhamento dedicado, o interesse demonstrado e a paciência para ensinar.

Ao João.

À minha família.

Aos orientadores por acreditarem, por todo o apoio e pela paciência. Ao Professor José António Tenedório, pela coragem em enfrentar e acompanhar-me num tema ainda incipiente na Geografia portuguesa. Ao Professor Jorge Manuel Pacheco, da Física, por todo o interesse demonstrado, pelo trabalho conjunto e aprendizagem que me proporcionou no seio do grupo ATP. Sem a visão multidisciplinar da ciência que ambos partilham não teria sido possível concretizar este trabalho.

Aos que desajudaram...100.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	VI
ÍNDICE DE TABELAS	X
SIGLAS E ACRÓNIMOS	XI
INTRODUÇÃO	1
1. ENQUADRAMENTO TEÓRICO: A COMPLEXIDADE COMO PARADIGMA CIENTÍFICO.....	3
1.1. Noções e Conceitos.....	3
1.2. Características de um Sistema Complexo.....	15
1.2.1. Não Linearidade e a Sensibilidade às Condições Iniciais	17
1.2.2. Emergência	24
1.2.3. Auto-organização	26
1.2.4. Evolução e Adaptação	29
1.2.5. Co-Evolução.....	33
1.2.6. Cooperação.....	35
1.2.7. Criticalidade Auto-organizada.....	37
1.2.8. Comportamento Fractal	42
1.2.9. Dependência de eventos passados.....	46
1.2.10. Síntese	49
2. EVOLUÇÃO DAS ÁREAS CONSTRUÍDAS NA AMLNORTE I: CARACTERIZAÇÃO E METODOLOGIA.....	52
2.1. Caracterização geral da evolução da ocupação do território da AMLNorte	54
2.2. Os Dados: Aquisição, tratamento, restrições e considerações	70
2.2.1. As bases de 1960 e 1990	70
2.2.2. A base de 2004	81
2.2.3. Conjugação das áreas construídas de 1960, 1990 e 2004	81
2.2.4. Base de restrições espaciais, rede viária e rodoviária	86
3. EVOLUÇÃO DAS ÁREAS CONSTRUÍDAS DA AMLNORTE II: EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS DE COMPLEXIDADE	94
3.1. A não linearidade da distribuição das áreas construídas e determinantes espaciais.....	95
3.1.1. A não linearidade na distribuição espacial das áreas construídas da AMLNorte	102
3.1.1.1. Distância-tempo ao centro de Lisboa	109
3.1.1.2. Distância-tempo ao centro do concelho mais próximo.....	114
3.1.1.3. Análise comparativa da distribuição das áreas construídas em função das distância-tempo ao centro de Lisboa e aos centros de concelhos mais próximos	117
3.1.1.4. Distância-tempo à estação de caminho-de-ferro mais próxima.....	120
3.1.1.5. Distância euclidiana à estrada mais próxima	123
3.1.1.6. Declives	125
3.2. A Hierarquia na Organização Espacial e a Auto-organização	127

3.2.1. A Hierarquia nas áreas construídas da AMLNorte	137
3.2.1.1. A Lei de Zipf aplicada às áreas construídas da AMLNorte	142
3.3. A Medida Fractal das Áreas Construídas	146
3.3.1. A fractalidade das áreas construídas da margem norte da AML	155
3.3.1.1. Comportamento multi-fractal das áreas construídas da AMLNorte	156
3.3.1.2. Modelo para uma tipologia de crescimento de áreas construídas	163
4. RESUMO, CRÍTICA DE RESULTADOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	176
BIBLIOGRAFIA E REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	180
ANEXOS.....	196
Anexo I -Topologias de polígonos por dimensão de área	197
Anexo II – Tipologia de mudança por classe de dimensão de polígonos, 1960/1990	198
Anexo III – Tipologias de mudança por classe de dimensão de polígonos, 1990/2004	200

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Características de um Sistema Complexo.....	16
Figura 2 – Evolução temporal de x com uma diferença inicial infinitesimal.....	19
Figura 3 – Mapa logístico com $r = 0,25$	20
Figura 4 – Mapas logísticos para diferentes valores de r	21
Figura 5 – Diagramas de bifurcação para o modelo logístico.....	22
Figura 6 – Constante de Feigenbaum.....	23
Figura 7 - Regras dos <i>boids</i>	24
Figura 8 – A vizinhança definida por uma distância e um ângulo	25
Figura 9 – As células de Rayleigh-Bénard.....	28
Figura 10 – A experiência de Bénard.....	29
Figura 11 – Uma paisagem adaptativa	32
Figura 12 – Modelo do Monte de Areia – Avalanches de tamanho 2.....	39
Figura 13 – Distribuição em lei de potência das avalanches do modelo do monte de areia.....	40
Figura 14 – Comprimentos aproximados de fronteiras segundo Leis Fry Richardson.....	41
Figura 15 – Curva de Koch	43
Figura 16 – Pulmão humano	44
Figura 17 – Modelo de Schelling.....	45
Figura 18 – Modelo de Schelling no Second Life	46
Figura 19 – Municípios da Área Metropolitana de Lisboa.....	55
Figura 20 – A região de Lisboa nos séculos XII e XIII	56
Figura 21 – Evolução demográfica da cidade de Lisboa	57
Figura 22 – Crescimento da mancha de construído da cidade de Lisboa, séculos XII-XX.....	57
Figura 23 – Totais de População residente, Edifícios e Alojamentos familiares clássicos na AML, margem Norte e margem Sul, 1960 - 2006.....	59
Figura 24 – Variação absoluta da População residente, do n.º de Edifícios e nº de Alojamentos familiares clássicos na AML, margem Norte e margem SUL, 1960 - 2006.....	61
Figura 25 – Relação entre a variação da População residente e a variação do n.º de Edifícios e do n.º de Alojamentos familiares clássicos na AML, margem Norte e margem Sul – 1960 – 2006.....	62
Figura 26 – Relação entre a variação do n.º de Edifícios e o n.º de Alojamentos familiares clássicos na AML, margem Norte e margem Sul, 1960 a 2006	63
Figura 27 – Tipologias de ocupação do espaço	64
Figura 28 – Modelo territorial do PDRL de 1964	67
Figura 29 – Cartas Corográficas, 1:50000, 1960, AML	71
Figura 30 – Cartas militares, 1:25000, 1990	72
Figura 31 – Parâmetros de segmentação.....	74
Figura 32 – Segmentação de imagem	74
Figura 33 – Separação de objectos utilizando Max Diff.....	75
Figura 34 – Classificação e fusão dos objectos de cor vermelha.....	76
Figura 35 – Áreas construídas, cidade de Lisboa, 1960.....	76
Figura 36 – Aplicação do <i>citiness</i> a uma área urbana.....	78

Figura 37 – Etapas do processo de generalização e resultado final	79
Figura 38 – Exemplo da delimitação de uma mancha de edificado	79
Figura 39 – Processo de generalização de dados.....	80
Figura 40 – Edição da COS04	81
Figura 41 – Áreas construídas de 1960, 1990 e 2004 sem t-1	82
Figura 42 – Correção final das bases das áreas construídas.....	83
Figura 43 – Polígono com 100m2	84
Figura 44 – Pontos e rede de células	86
Figura 45 – Pontos finais corrigidos.....	87
Figura 46 – Aeroportos e Aeródromos.....	87
Figura 47 – Correção de topologia.....	88
Figura 48 – Rede de estradas, década de 60.....	88
Figura 49 – Linhas de caminho-de-ferro, estações e apeadeiros, década de 60.....	89
Figura 50 – Áreas Construídas e restrições, 1960, 1990 e 2004	90
Figura 51 – Taxa de variação das áreas construídas, por concelho	92
Figura 52 – Áreas construídas: percentagem de cada concelho relativamente ao total de área construída na AML	93
Figura 53 – Áreas construídas: percentagem relativamente à área total de cada concelho.....	93
Figura 54 – Distribuição espacial de usos do solo por áreas de distância ao CBD, Ann Arbor, 1975	98
Figura 55 – Percentagem de usos do solo por área de estação e posição relativa ao CBD	100
Figura 56 – Área de círculo equivalente à área construída de 1960, 1990 e 2004, AMLNorte.....	102
Figura 57 – Áreas de expansão constringidas pela morfologia do terreno	104
Figura 58 – Distâncias calculadas	108
Figura 59 – Áreas construídas (m2) por distância-tempo ao centro de Lisboa	109
Figura 60 – Taxa de variação das áreas construídas, por distância-tempo a Lisboa	110
Figura 61 – Área construída e sub-regiões na distância-tempo a Lisboa, 1960, 1990 e 2004	110
Figura 62 - Peso relativo das áreas construídas e taxa de ocupação por distância-tempo ao centro de Lisboa	113
Figura 63 – Alocação de células ao centro de concelho mais próximo.....	115
Figura 64 – Áreas construídas (m2) por distância-tempo ao centro do concelho mais próximo....	115
Figura 65 – Taxa de variação das áreas construídas, por distância-tempo ao centro de concelho mais próximo	116
Figura 66 – Peso relativo das áreas construídas e taxa de ocupação por distância ao centro de concelho mais próximo.....	116
Figura 67 – Percentagens acumuladas de área disponível e área construída por distância a Lisboa e aos centros de concelho, 1960, 1990 e 2004	117
Figura 68 – Percentagem acumulada de área disponível que engloba 50% da área construída de cada ano.....	119
Figura 69 – Área ocupada por áreas construídas, AMLNorte, 1960, 1990 e 2004	119
Figura 70 – Áreas construídas (m2) por distância-tempo à estação de caminho-de-ferro mais próxima, 1960, 1990 e 2004	121

Figura 71 – Taxas de variação das áreas construídas por distância-tempo à estação de caminho-de-ferro mais próxima	121
Figura 72 – Percentagens de área construída por distância concelhos.....	122
Figura 73 – Percentagem acumulada de área disponível onde se localizam os 50% das áreas construídas na distância às estações de caminho-de-ferro, 1960, 1990 e 2004	123
Figura 74 – Áreas construídas (m ²) por distância euclidiana à estrada mais próxima, 1960, 1990 e 2004.....	124
Figura 75 – Taxas de variação, peso relativo e taxas de ocupação das áreas construídas por distância euclidiana á estrada mais próxima	124
Figura 76 – Áreas construídas (m ²), por classes de declives, 1960, 1990 e 2004	126
Figura 77 – Taxas de variação de área construída por declive	127
Figura 78 – Taxa de ocupação e peso relativo de cada classe de declive	127
Figura 79 – Expoentes da Lei de Zipf	129
Figura 80 – Análise de Zipf para o sistema urbano americano, entre 1790 e 1930.....	130
Figura 81 – A lei de Zipf para o sistema urbano americano, 1790 – 2000	130
Figura 82 – Evolução do expoente alfa no sistema urbano americano, entre 1790 e 2000	131
Figura 83 – Trajectórias de dez cidades principais do sistema urbano americano, 1790 - 2000... ..	131
Figura 84 – Rank-size (log-log) para o sistema urbano português.....	133
Figura 85 – Evolução da distribuição de Zipf para as cidades de Berlim e Munique	134
Figura 86 – Evolução da Lei de Zipf para a cidade de Telavive, entre 1935 e 2000	135
Figura 87 – Áreas construídas por área (m ²), 1960, 1990 e 2004.....	137
Figura 88 – Tipologias de alteração 1960/1990.....	141
Figura 89 – Tipologias de alteração 1990/2004.....	142
Figura 90 – Distribuição de Pareto para a AMLNorte, 1960 - 2004.....	143
Figura 91 – Distribuição de Pareto para a AMLNorte, com <i>cut-off</i> 1960 - 2004.....	144
Figura 92 – Recta estimada na distribuição de Pareto para a AMLNorte, 1960 – 2004	145
Figura 93 – Áreas construídas das diferentes cidades.....	147
Figura 94 – Áreas construídas de 20 cidades nos EUA	148
Figura 95 – “Caixas” de tamanho ε no método <i>Box counting</i>	149
Figura 96 – Áreas construídas da área metropolitana de Telavive	150
Figura 97 – Evolução da dimensão fractal das subáreas em estudo em Telavive.....	151
Figura 98 – Construção de um fractal determinístico	152
Figura 99 – Fractal com factor aleatório	152
Figura 100 – Áreas construídas da área metropolitana de Telavive, 1985	153
Figura 101 – Áreas construídas da cidade de Bruxelas	154
Figura 102 – Dimensão fractal local.....	156
Figura 103 – Frequência de sub-matrizes por dimensão fractal	157
Figura 104 – Área construída por dimensão fractal.....	158
Figura 105 – Gráfico de dispersão entre a área construída e a dimensão fractal.....	159
Figura 106 – Agrupamentos de sub-matrizes em função da dimensão fractal	160
Figura 107 – Exemplo de aplicação do método do box-counting numa sub-matriz.....	161

Figura 108 – Ajuste do limite superior para diferentes valores de m	162
Figura 109 – Quantidade C , por sub-matriz	164
Figura 110 – Quantidade M , por sub-matriz.....	164
Figura 111 – Quantidade M em função de D	165
Figura 112 – Dois regimes de crescimento.....	165
Figura 113 – Curvas teóricas de C e M	166
Figura 114 – Exemplo de áreas construídas com comportamento linear	166
Figura 115 – Modelo de tipologias de crescimento de áreas construídas na AMLNorte, 1960 – 2004	167
Figura 116 – Exemplos de áreas construídas para cada tipologia.....	168
Figura 117 – Espacialização das tipologias de crescimento, AMLNorte	168
Figura 118 – Dimensão fractal média por tipo de distância.....	170
Figura 119 - Desvio padrão da Dimensão Fractal, por tipo de distância e tipologia	171
Figura 120 – Desvio padrão dos vários tipos de distância, por tipologia.....	172

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Percentagem de População Residente, 1960 – 2006	58
Tabela 2 – Taxa de variação de População residente, Edifícios e Alojamentos, 1960 – 2006.....	60
Tabela 3 – Cartas corográficas (1:50000), 1960	71
Tabela 4 – Cartas militares (1:25000), 1990.....	72
Tabela 5 – Equivalência entre escala e resolução	85
Tabela 6 – Percentagens de áreas construídas e taxas de variação, 1960, 90 e 2004.....	91
Tabela 7 – Variáveis nos diferentes casos de estudo analisados	101
Tabela 8 – Minutos de atravessamento, de cada célula, por tipologia.....	107
Tabela 9 – Crescimento por classes de distância-tempo ao centro de Lisboa	111
Tabela 10 - % total de área disponível onde se encontra 50% das áreas construídas na distância a Lisboa e na distância aos centros de concelhos mais próximos para 1960, 1990 e 2004.....	118
Tabela 11 – Percentagem de área disponível ocupada por área construída e percentagem de área construída englobado na área disponível dos 50% de distância às estações	123
Tabela 12 – Percentagem de área por classe de declive, AMLNorte	126
Tabela 13 – Resultados de alfa para diferentes continentes.....	132
Tabela 14 – Resultados do ajuste de dados à Lei de Zipf, para a cidade de Telavive	136
Tabela 15 – Peso relativo das hierarquias de áreas construídas, da AMLNorte.....	138
Tabela 16 – Tipologias de mudança, 1960/1990.....	140
Tabela 17 – Tipologias de mudança, 1990/2004.....	140
Tabela 18 – Parâmetros estimados para a distribuição de Pareto	143
Tabela 19 – Parâmetros estimados para a distribuição de Pareto, com <i>cut-off</i>	144
Tabela 20 – Dimensão fractal de diferentes cidades	146
Tabela 21 – Dimensões fractais de 20 cidades nos EUA.....	149
Tabela 22 – Dimensão fractal e padrões espaciais das áreas construídas	154
Tabela 23 – Classificação dos padrões espaciais encontrados na cidade de Bruxelas	155
Tabela 24 – Dimensão fractal da AMLNorte, 1960, 1990 e 2004.....	155
Tabela 25 – Peso relativo (%) de cada tipologia no total da AMLNorte	168
Tabela 26 – Tipologias sem alterações, entre 1960 e 2004.....	169
Tabela 27 – Tipologias com alterações, entre 1960 e 2004.....	169

SIGLAS E ACRÓNIMOS

Nota: algumas siglas e acrónimos são reconhecidos na literatura científica pela sua variante inglesa, não sendo muitas vezes traduzida. Nestes casos, na primeira referência no corpo de texto será utilizada a variante inglesa da sigla/acrónimo em questão, antecedida pela tradução portuguesa (ex: No corpo de texto será indicado: “sistemas complexos adaptativos (CAS – complex adaptive systems)” e na lista de siglas e acrónimos aparecerá “CAS – complex adaptive systems (sistemas complexos adaptativos)”).

ADN	Ácido desoxirribonucleico (em inglês: DNA, <i>deoxyribonucleic acid</i>)
AML	Área Metropolitana de Lisboa
AMLNorte	Margem Norte da Área Metropolitana de Lisboa
ATP	<i>Applications in Theoretical Physics</i>
CAS	<i>Complex Adaptive Systems</i> (Sistemas Complexos Adaptativos)
CASA	Centre for Advanced Spatial Analysis
CBD	<i>Central Business District</i>
CCDRLVT	Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo
CLC2000	<i>Corine Land Cover, 2000</i>
CNRS	<i>Centre National de la Recherche Scientifique</i>
COS	Carta de Ocupação do Solo
COS04	Carta de Ocupação do Solo de 2004
DGOTDU	Direcção-Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano
IGC	Instituto Geográfico e Cadastral (extinto)
Igeoe	Instituto Geográfico do Exército
INE	Instituto Nacional de Estatística
JIT	<i>Just-in-Time</i> (abordagem)
LUCMODEL	Modelo de alterações do Uso do Solo das aglomerações urbanas de Lisboa e Maputo
N.U.R.E.C.	Network on Urban Research in the Europeans Community
NUTS	Nomenclatura de Unidades Territoriais para fins estatísticos
PDM	Plano Director Municipal

PDRL	Plano Director de Desenvolvimento Urbanístico da Região de Lisboa
PDRL64	Anteplano Director da Região de Lisboa, 1964
PNOPT	Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território
PP	Plano de Pormenor
PRN	Plano Rodoviário Nacional
PROT	Plano Regional de Ordenamento do Território
PROTAML	Plano Regional de Ordenamento do Território da Área Metropolitana de Lisboa
PU	Planos Urbanísticos
SFI	<i>Santa Fe Institute</i>
SIGGRAPH	Special Interest Group on GRAPHics and Interactive Techniques
SOC	<i>Self-Organized Criticality</i> (criticalidade auto-organizada)
ThéMA	<i>Théoriser et Modéliser pour Aménager</i>
TSP	<i>Travelling Salesman Problem</i> (Problema do Caixeiro Viajante)
VHS	<i>Vídeo Home System</i>

INTRODUÇÃO

A presente tese constitui uma análise, também prospectiva, de um problema da Geografia Portuguesa, abordado numa perspectiva da Ciência da Complexidade. A reflexão apresentada procura demonstrar que esta perspetivação do problema pode trazer novas abordagens de análise e de actuação na Geografia. Se ao nível internacional é fácil encontrar exemplos desta tomada de rumo na Geografia, o mesmo não se pode dizer no contexto português. As alusões à problemática da complexidade em Geografia são escassas e muitas das vezes desenquadradas do contexto científico. Afirmar que um problema é complexo é dizer pouco sobre o mesmo e não é de todo o equivalente a abordá-lo no contexto da Complexidade.

Assim, procurou-se sintetizar este novo paradigma da Ciência – a Complexidade - explorando-o no âmbito da Geografia através da aplicação de alguns dos métodos e técnicas associadas ao estudo de sistemas complexos, envolvendo uma primeira fase de experimentação e análise dos dados e uma segunda fase de modelação do fenómeno em estudo. Por esta razão, alerta-se para o facto de o trabalho desenvolvido não se poder caracterizar como uma tese em modelação, utilizando antes a modelação para explorar as potencialidades deste novo paradigma, e a sua aplicação aos problemas geográficos e, complementarmente, a sua divulgação no seio da Geografia Portuguesa.

A organização da tese procura sistematizar todo o trabalho desenvolvido, quer na componente teórica, quer na componente prática, num conjunto de três grandes capítulos. O primeiro capítulo tem como objectivo central, a apresentação e síntese dos conceitos associados aos Sistemas Complexos. Os conceitos, noções e características dos sistemas complexos são apresentados com recurso a exemplos específicos provenientes de diversas disciplinas científicas (Física, Biologia, Economia, etc.), que contribuíram para o desenvolvimento e consolidação do presente paradigma.

A aplicação da teoria da Complexidade à Geografia é demonstrada através de um problema concreto, nomeadamente a análise e modelação do crescimento das áreas construídas, na aglomeração de Lisboa (aqui denominada por AMLNorte), entre 1960 e 2004. Neste sentido, o segundo capítulo apresentará uma descrição da área de estudo, centrada na problemática em questão, seguida da explanação da metodologia seguida para a aquisição da informação de base, necessária à prossecução dos objectivos. Aqui serão apresentadas e discutidas as limitações técnicas associadas à aquisição da série temporal das áreas construídas (restringida a três momentos no tempo: 1960, 1990 e 2004), a partir das cartas corográficas, à escala 1:50000, do antigo Instituto Geográfico e Cadastral, para a década de 60; das cartas militares, à escala 1:25000, do Instituto Geográfico do Exército, para 1990; e da cartografia de uso e ocupação do solo, resultante de uma classificação por foto-interpretação de orto-fotomapas de 2004, no âmbito do Projecto LUCMODEL (<http://www.fcsh.unl.pt/~egeo/?q=content/projectos-de-ambito-nacional>).

O terceiro capítulo, encontra-se estruturado em três subcapítulos principais, em cada um dos quais é apresentada uma evidência empírica de que o sistema territorial, materializado no conjunto das

áreas construídas, se apresenta como um sistema complexo, evidenciando características típicas destes sistemas, designadamente, a não-linearidade, a auto-organização e uma estrutura multi-fractal. Em cada subcapítulo é apresentada uma síntese de trabalhos desenvolvidos no seio da Geografia (sobretudo internacional), sobre cada uma das problemáticas abordadas.

No primeiro subcapítulo foi estudada a distribuição espacial das áreas construídas em função de cinco variáveis: i) distância-tempo a Lisboa, ii) distância-tempo às sedes de concelho, iii) distância-tempo às estações de caminho-de-ferro, iv) distância euclidiana às estradas e v) os declives. A utilização destas variáveis é justificada pelo facto da distância constituir, de uma forma geral, um dos principais determinantes da evolução e da espacialização das áreas construídas no território. A não-linearidade é identificada em todas as variáveis analisadas, o que revela que o critério de distância-tempo exerce, a várias escalas, uma forte capacidade de transformação do espaço, criando diferenças territoriais que não podem ser inferidas apenas por uma relação proporcional directa entre um qualquer centro e a distância-tempo que o separa do restante tecido construído.

A auto-organização, resultante de processos que se desenvolvem a todas as escalas é analisada no segundo subcapítulo. Neste, analisam-se as mudanças ocorridas no crescimento das áreas construídas, nos três momentos temporais em análise, com o objectivo de encontrar processos comuns às diferentes hierarquias ou escalas na AMLNorte. A existência de tais processos (independentes de escala) é estudada através da análise do ajuste dos dados à distribuição de Pareto e/ou Lei de Zipf, uma metodologia estatística adoptada no estudo de muitos fenómenos, quer naturais quer sociais. As distribuições encontradas permitiram analisar o espaço limitado pelo território administrativo da AMLNorte face ao número de áreas construídas e a sua dimensão.

A presença de auto-organização num dado sistema é indicadora de que o mesmo poderá apresentar um comportamento fractal. Esta possibilidade é explorada no terceiro subcapítulo através de uma análise multi-fractal (uma abordagem inovadora na Geografia) das áreas construídas da AMLNorte. A análise multi-fractal e multi-temporal permitiu o desenvolvimento de um modelo de tipificação e classificação das áreas construídas em função da sua dimensão fractal, que permite identificar e caracterizar dinâmicas de crescimento em áreas de 1km^2 , no presente caso (sendo o método inteiramente geral). Esta caracterização permitiu formular novas questões sobre a pertinência dos actuais instrumentos de planeamento territorial, face aos comportamentos esperados resultantes da presente análise multi-fractal.

O último capítulo apresenta uma crítica dos resultados bem como algumas considerações finais, em que se procurou sistematizar os resultados obtidos em função dos objectivos propostos e salientar os aspectos a melhorar, ou a desenvolver no futuro.

1. ENQUADRAMENTO TEÓRICO: A COMPLEXIDADE COMO PARADIGMA CIENTÍFICO

Anunciar a Complexidade como um novo paradigma obrigará, provavelmente, a uma maior reflexão epistemológica, ontológica e pragmática do que a que é possível aqui apresentar. Assim sendo, assume-se como um primeiro pressuposto de que a ciência da complexidade constitui já um novo paradigma científico que permitirá englobar o trabalho a desenvolver. Neste sentido, revela-se necessária a apresentação e consubstanciação das noções e conceitos subjacentes à teoria da complexidade. A exposição que se segue procurará uma primeira demonstração, necessariamente incompleta, de que a complexidade surge do curso “natural” do desenvolvimento do conhecimento e processos científicos, daqui emergindo novos problemas e sobretudo novas formas de pensar sobre problemáticas cuja discussão se encontra ainda em aberto.

Desta forma, o enquadramento teórico será dividido em dois subcapítulos: um primeiro onde se apresentam as noções e conceitos associados aos denominados Sistemas Complexos, apresentando exemplos de variadas disciplinas como a Física, Biologia e Economia, e um segundo subcapítulo onde se sintetiza o conjunto de características dos sistemas complexos.

1.1. Noções e Conceitos

O termo Complexidade encontra-se já amplamente divulgado na comunidade científica. Seria então de esperar uma definição clara desse mesmo termo. Paradoxalmente não existe, ainda hoje, uma definição geral comumente aceite (Binder, 2008:322; Gallagher e Appenzeller, 1999; Bar-Yam, 1997), e a razão para a existência de tal paradoxo reside na multiplicidade de noções que derivam de um vasto espectro de ramos científicos pelos quais são estudados sistema complexos.

O termo é simultaneamente fácil de assimilar e difícil de definir de forma precisa, dada também a natureza holística da estrutura de pensamento que encerra e a abordagem metodológica e técnica suportada na modelação. A estreita conexão entre ambas dá origem a um conjunto de definições gerais suportadas na ideia de modelo, embora possam ser generalizadas para outros contextos:

«Complexidade é a propriedade de um modelo que faz com que seja difícil encontrar uma descrição do seu comportamento global numa dada linguagem, mesmo que seja fornecida informação razoavelmente completa sobre os seus comportamentos atômicos e as suas interrelações. Esta é uma definição geral que pode ter várias interpretações em contextos diferentes.» (Coelho, 2007:2).

A definição apresentada por Coelho (2007) caracteriza a complexidade como uma propriedade de um modelo, mas de facto ela será também uma propriedade do fenómeno a modelar. E nesta perspectiva, o modelo a desenvolver deverá ser tão complexo como o sistema que pretende modelar (Cilliers, 2006; Hayek, 1964), na medida em que a “leitura” de um sistema complexo

implica não só o conhecimento das suas partes constituintes mas também das interrelações entre estas e as diferentes escalas que constituem o sistema.

Em consequência, um sistema complexo será incompressível¹, no sentido em que qualquer diminuição da sua complexidade implicará a perda de conhecimento sobre o mesmo (Richardson *et al*, 2000).

Richardson *et al* (2000) e Cilliers (2006) defendem que assumindo a noção de incompressibilidade como verdadeira (i.e. a modelação implica sempre algum grau de simplificação e por definição, um sistema complexo não pode ser reduzido às suas partes constituintes, logo, ao comprimirmos a informação sobre o sistema, sob a forma de modelo, estaremos a perder conhecimento sobre esse mesmo sistema), a mesma nega qualquer possibilidade de existência de uma perspectiva ou paradigma global e permanente (Richardson *et al*, 2000:534). Contudo, e reconhecendo que a lógica destes argumentos levanta questões ontológicas pertinentes, defende-se que a existência de incompressibilidade não invalida a modelação dos sistemas complexos. De facto, a noção de modelo implica necessariamente a simplificação da realidade (independentemente de se tratar de um sistema complexo). Contudo, a multiplicidade de modelos existentes nas diferentes áreas científicas e a sua aplicação prática (veja-se, por exemplo, os casos da medicina ou da economia) fundamentam a ideia de que a discussão ontológica sobre o problema da incompressibilidade não deve, nem pode, substituir-se à investigação e modelação de problemas concretos caracterizados nos sistemas complexos.

A prova reside na visão holística que a complexidade proporciona no estudo dos sistemas e das dinâmicas associadas. A própria ideia de sistema introduz um elemento de inseparabilidade na explicação dos fenómenos. Nestes, não existe o único em relação a si mesmo, procuram-se sim ligações, relações e interdependências entre os diferentes elementos ou corpos, a diferentes escalas, numa teia dinâmica.

No início dos anos 60, do século XX, a teoria da complexidade começa a ganhar forma em ciências como a Física (entre outras), fomentando simultaneamente um confronto com o reducionismo dominante na altura. A crítica à organização da Ciência, culmina em 1972, com o artigo *More is Different*, de Phil Anderson, publicado na revista *Science*. O artigo surgiria como resposta às ideias de Victor Weisskopf, proferidas numa palestra em 1965. Segundo este último, apenas as disciplinas que procuravam leis fundamentais deveriam ser consideradas Ciência, como a Física de partículas² e a Cosmologia³, em oposição, por exemplo, à Física da matéria condensada⁴ - área

¹ A noção de incompressibilidade advém da teoria da computação e diz-nos que um algoritmo incompressível será aquele em que a sua descrição mais pequena é ele próprio, e é nesta lógica que se baseiam os argumentos de Cilliers (2006) e Richardson *et al* (2000).

² A Física de partículas estuda os constituintes elementares da matéria e da radiação.

³ A cosmologia estuda o universo no seu todo.

⁴ A Física da matéria condensada é um campo da Física que estuda as propriedades macroscópicas da matéria, como os sólidos e os líquidos.

de especialidade de Anderson (Waldrop, 1992:81). Este direito de resposta evidenciava a “fricção” existente entre esta nova visão de Ciência (holística) e a visão reducionista dominante.

Face à exposição de Weisskopf, Anderson critica a estrutura hierárquica da Ciência, em muito organizada em função da visão reducionista do conhecimento e alertava para a necessidade de se repensar um pouco a aparente simplicidade que daí resultava, na medida em que:

«The ability to reduce everything to simple fundamental laws does not imply the ability to start from those laws and reconstruct the universe» (Anderson, 1972:393).

A realidade, e por conseguinte, a Ciência, é muito mais do que a caracterização dos seus elementos fundamentais e a razão, defende Anderson, reside no facto de que:

«At each stage entirely new laws, concepts, and generalizations are necessary, requiring inspiration and creativity to just as great a degree as in the previous one» (Anderson, 1972:393).

A intenção de se alcançar uma visão construtivista da realidade, a partir da redução de um sistema às suas partes básicas constituintes deixa assim de constituir o objectivo único de uma ciência. Quer isto dizer, por exemplo, que não é suficiente, para compreender a dinâmica de um rio, partir apenas do conhecimento das moléculas de água que o compõem.

Retomando o alerta de Anderson (1972) importa frisar que um sistema complexo é aquele em que o comportamento à escala macroscópica resulta da parafernália de interações a uma escala microscópica, o que não significa que o objectivo seja reconstruir todo o sistema em todo o seu *continuum* de escalas. A complexidade matemática daí decorrente, assim como a quantidade de informação a tratar, seriam de tal ordem que a real compreensão do sistema seria pouco ou nada objectiva, e portanto de utilidade duvidosa. A grande questão coloca-se, então, em perceber como relacionar, não só a escala micro e a escala macro, mas também procurar identificar e analisar as propriedades emergentes dos sistemas complexos em diferentes escalas. É esta emergência de propriedades a uma macro-escala superior, resultantes da parafernália de interações à micro-escala subjacente que justifica a frase recorrentemente usada em sistemas complexos, em que se afirma que “*o todo é superior à soma das partes*”. Desta forma, defende-se que não existe uma oposição entre o conceito de incompressibilidade e o de modelação de um sistema complexo. Deverá sim existir uma clara noção das escalas espaciais e temporais envolvidas. Interessa, portanto, compreender as propriedades emergentes nas diferentes escalas e reportar aquilo que é próprio destas.

As células de um organismo, os ecossistemas ou os sistemas económicos são exemplos de sistemas complexos. O conhecimento de todos os seus respectivos detalhes será muito difícil dada

a plethora de escalas envolvidas⁵. É neste sentido que Stuart Kauffman afirma que a complexidade poderá fornecer os meios para a descoberta de leis que expliquem a ordem dos sistemas:

«After all, what we are after here is not necessarily detailed description, but explanation. We can never hope to predict the exact branchings of the tree of life, but we can uncover powerful laws that predict and explain their general shape. I hope for such laws. I even dare to hope that we can begin to sketch some of them now. For want of a better general phrase, I call these efforts a search for a theory of emergence.» (Kauffman, 1996:14)

Quer o conjunto de trabalhos desenvolvidos na abordagem dos sistemas complexos, quer as questões epistemológicas e ontológicas que daqui derivam têm observado um crescendo ao longo das últimas décadas. Este crescendo conheceu um dos seus marcos em 1999 com a publicação do número especial da revista *Science* dedicada aos sistemas complexos, como constatou Roger Lewin (2004), no prefácio da segunda edição do livro *Complexidade - A Vida no Limiar do Caos*⁶. Segundo este autor, a grande vantagem na Ciência da complexidade reside na possibilidade de estendermos o conhecimento para além dos limites do reducionismo (Lewin, 2004:14). A abordagem revela uma forte presença da dinâmica, do não estático, do fluido e das certezas condicionadas. A formação de uma teia de relações, de uma rede subjacente à formação e evolução de um sistema complexo sugere-nos, directa ou indirectamente, a necessidade de uma maior interdisciplinaridade e intradisciplinaridade.

A principal vantagem reside na possibilidade do cruzamento de saberes entre as ciências exactas e as ciências sociais. O cruzamento entre disciplinas é, de facto, um dos grandes pilares dos estudos em complexidade. O uso de ferramentas da Matemática e da Física, por exemplo, possibilitam a utilização de uma linguagem comum - um substrato comum, quer entre as ciências exactas quer entre as ciências sociais, na tentativa de descobrir fenómenos emergentes nos sistemas específicos a cada domínio.

O supracitado número especial da revista *Science* (1999) marca, em definitivo esta viragem. Os diferentes artigos apresentados percorrem uma série de disciplinas científicas, desde a Física, passando pela Biologia e um último artigo sobre complexidade e a Economia. A crítica ao reducionismo é, desde logo, patente no título do artigo de introdução: *Beyond Reductionism* dos editores Gallagher e Appenzeller (1999). Os mesmos apontam como principal objectivo deste número especial a apresentação da aplicabilidade dos estudos em complexidade, num conjunto diverso de áreas científicas e definem-na como:

⁵ Não obstante, nada impede que se descubram leis que governam alguns dos comportamentos aparentemente imprevisíveis.

⁶ Versão portuguesa: 2004; primeira edição: 1992, segunda edição: 1999.

«*Being anxious to move beyond the semantic debate, we have taken a "complex system" to be one whose properties are not fully explained by an understanding of its component parts.*» (Gallagher e Appenzeller, 1999:79).

O que, no entanto, esta definição genérica não inclui é a ocorrência frequente de uma forte não linearidade de comportamentos, resultando na emergência de um todo com características não previsíveis – sobretudo a longo prazo, onde as estruturas encontradas parecem apenas traduzir uma desconcertante aleatoriedade.

O escrutínio desta aparente desordem é, no entender de Service (1999), a grande força da formação de grupos transdisciplinares no contexto da complexidade. No artigo⁷ que publica no número especial da *Science* dá como exemplo o caso da Biologia:

«*No longer content to inventory cell's molecular parts, biologists are teaming up with physicists and engineers to study how these parts work together*» (Service, 1999:80).

No mesmo artigo, as duas entrevistas que Service (1999) conduz a Marvin Cassman e a John Doyle⁸ articulam-se numa mesma ideia comum, i.e., que em Biologia se gerou uma imensa quantidade de informação sobre os eventos moleculares que ocorrem nas células. A multidisciplinaridade permitirá agora (leia-se, à data do artigo) entender de que forma se integram e interligam os eventos e entidades dos sistemas biológicos.

No último artigo do número especial da *Science*, W. Brian Arthur⁹ escreve sobre *Complexity and the Economy*. Arthur começou por desenvolver as suas ideias sobre o princípio dos *increasing returns*, isto é, como a acumulação de pequenas mudanças no sistema pode determinar significativas alterações no comportamento global do mesmo, no tempo; por oposição ao princípio da estabilidade do mercado, aceite na doutrina económica, no qual, com o tempo, as pequenas mudanças acabariam por se extinguir podendo ser negligenciado o seu impacto no sistema (princípio de *diminishing returns*):

«*Elements and the patterns they respond to vary from one context to another. But the elements adapt to the world – the aggregate pattern – they co-create. Time enters naturally here via the processes of adjustment and change: As the elements react, the aggregate changes; as the aggregate changes, elements react anew. Barring the reaching of some asymptotic state or equilibrium, complex systems are systems in process that constantly evolve and unfold over time.*» (Arthur, 1999:107).

⁷ [Complex systems: exploring the Systems of Life](#). *Science*, 1999.

⁸ O primeiro como director do *National Institute of General Medical Services* (NIGMS) e o segundo do *California Institute of Technology*.

⁹ Acerca de Brian Arthur é particularmente importante referir a importância que teve a leitura do livro *Complexity – the emerging science at the edge of order and chaos* de Mitchell Waldrop (1992). Waldrop, centrado-se no percurso científico de Brian Arthur permite ao leitor a introdução à Ciência da complexidade, conhecimento de outras figuras significativas nesta área e acompanhar também a história da formação do *Santa Fé Institute* (o centro de pesquisa em complexidade, mundialmente conhecido).

Um sistema complexo será então aquele em que, da dinâmica dos seus constituintes (a uma escala micro) poderá resultar, pelo processo de adaptação, uma auto-organização (i.e. não existe, regra geral, uma entidade central reguladora), originando um comportamento colectivo emergente (a uma escala macro). Desta forma, a acumulação no tempo de pequenas adaptações, mutações ou mudanças (que ocorrem à escala micro) poderá alterar, radicalmente e de forma não previsível, o comportamento do todo (à escala macro). O contexto onde os constituintes do sistema se inserem determinará também as interdependências entre estes mesmos componentes.

Em *A Complexidade, Vertigens e Promessas*, Réda Benkirane (2002) organiza uma compilação de 18 entrevistas direccionadas a investigadores de renome no campo da complexidade, abrangendo diversas áreas, desde as ciências exactas às ciências sociais. No prefácio, o autor procura sintetizar a problemática em volta da definição de complexidade:

«Todas elas, em graus diferentes, exprimem uma relação entre o todo e as partes de um sistema, mais exactamente o facto de que o conhecimento das partes não é suficiente para explicar o funcionamento do todo. A etimologia da palavra, que provém do latim complexus, «tecido em conjunto», sugere o entrelaçamento das partes ou dos componentes de base de um sistema físico ou biológico. A fórmula consagrada da complexidade postula que «o todo é mais do que a soma das partes» (Benkirane, 2002:13).

Na primeira entrevista, Benkirane questiona Edgar Morin¹⁰ sobre os dois grandes princípios organizadores do pensamento, que o mesmo introduziu na sua obra *O Método*¹¹, nomeadamente o princípio de simplicidade e o princípio de complexidade. Morin explica que o primeiro, o da simplicidade, *«fundamenta-se na separação dos diferentes domínios de conhecimento. Neste caso, os diferentes objectos do conhecimento estão separados do seu contexto (...)*» (Benkirane, 2002:25). Morin refere que, numa primeira fase, a simplificação pratica a disjunção do conhecimento e de seguida a redução, alertando para o facto de que na simplificação se esquece que o *«todo tem qualidades que não se encontram nas partes»*. Adoptando uma perspectiva reducionista podemos considerar determinada componente como um sistema autónomo, e independente do seu contexto, na medida em que essa simplificação facilita a investigação da sua estrutura interna. Contudo, estes mesmos sistemas são encontrados num contexto, determinante dos primeiros ou até mesmo determinado por eles. Nesta medida, retirar as componentes do seu contexto é conhecer apenas uma parte da dinâmica do sistema.

Morin fala também de forma lata sobre complexidade, isto é, na sua existência e aplicabilidade nos quotidianos da Ciência, do indivíduo e da sociedade. Sugere a explicação da contradição, no

¹⁰ Sociólogo e epistemólogo francês, autor de cerca de quarenta obras escritas sobre complexidade (cf. Benkirane, 2002:20).

¹¹ Obra principal de Edgar Morin escrita em 6 volumes entre 1977 e 2004, sobre o pensamento complexo: 1977, "O Método I. A natureza da natureza"; 1980, "O Método II. A vida da vida"; 1986, "O Método III. O Conhecimento do conhecimento"; 1991, "O Método IV. As ideias: Sua natureza, vida, habitat e organização"; 2001, "O Método V. A humanidade da humanidade: A identidade humana"; 2004, "O Método VI. A Ética".

espírito da complexidade. Retira-lhe a negatividade inerente, quando a mesma é enquadrada no determinismo, revelando a necessidade de existirem contradições, ou seja, que a vida e o sistema no qual o ser humano se inclui e do qual é dependente, transforma e constrói, vive de contradições, de antagonismos que não se excluem mutuamente mas que coexistem e às quais deve a complexidade dar respostas, procurando entendê-las.

Seguindo a mesma linha de pensamento com que conduziu a entrevista a Edgar Morin, Benkirane retoma, na entrevista com Ilya Prigogine¹² a questão sobre a busca de uma teoria do todo, à qual Prigogine responde:

«(...) não é desrazoável pensar que existe, de certa forma, uma dialéctica entre as diferentes forças da natureza. E, mais uma vez, chegamos à constatação que o mundo é um mundo de não-equilíbrio, termodinâmico, evolutivo, que é muito difícil conciliar com a visão estática de uma teoria única.» (Benkirane 2002:45).

Prigogine defende uma natureza probabilística, não linear e não determinista, a qual podemos conhecer mas condicionados por uma probabilidade de ocorrência no decurso do tempo. Reconhecendo a não linearidade da natureza, aumentamos a nossa racionalidade sobre a mesma. Este confronto com os limites do pensamento clássico, na tentativa de prever e controlar a natureza, ao invés de criar uma profunda crise na Ciência tem, pelo contrário, fomentado novos paradigmas de actuação, dos quais são exemplos os estudos de climatologia, dos mercados financeiros, entre outros.

Actualmente encaram-se as contradições encontradas na natureza, os aparentes paradoxos e os comportamentos fora do equilíbrio, como informação e propriedades fundamentais do entendimento da realidade, para as quais devem ser desenvolvidas ferramentas adequadas à sua análise, como por exemplo a modelação, que a evolução tecnológica possibilitou.

As ideias qualitativas de descrição de Complexidade são de alguma forma intuitivas. Facilmente se constrói uma imagem de um conjunto elevado de elementos em constante interacção entre si, da qual resulta um comportamento colectivo que não pode ser descrito apenas pelo comportamento individual desses mesmos elementos. Mas como passar para uma medida de complexidade, i.e., como quantificá-la, e estabelecer formas de comparação e qualificação entre sistemas? Será possível falar-se em *grau de complexidade*? John Barrow (astrofísico), numa das entrevistas de Benkirane, reflecte sobre esta problemática:

«Estamos sempre à procura de uma definição de complexidade... Porém, até agora, o que sobressai é que um determinado fenómeno é mais complexo do que outro. Poderíamos talvez ver a complexidade como uma ausência de simetria. Uma outra

¹² Edgar Morin iniciou as suas reflexões no pensamento complexo após ter conhecido a escola de Ilya Prigogine (prémio Nobel da química em 1977). Uma das obras principais de Ilya Prigogine dá o título à entrevista: *O fim das Certezas. Tempo, caos e as leis da natureza*, 1996.

forma de abordar a questão seria ter em conta o número de interconexões possíveis de um sistema. Podíamos igualmente definir a complexidade em termos de possibilidade de resolução (tractability) pelo cálculo; resolver por exemplo o “problema do caixeiro-viajante” seria muito complicado devido ao tempo que seria necessário para que o computador o pudesse analisar e resolver» (Benkirane, 2002:261).

Na mesma ordem de ideias, Bar-Yam (1997:5) caracteriza a complexidade como uma medida da dificuldade intrínseca em atingir a compreensão desejada. Mas como medi-la?

A problemática da quantificação da complexidade remonta ao trabalho desenvolvido por Ludwig Boltzmann, no final do século XIX, com a formulação da segunda lei da termodinâmica, na qual a entropia de um sistema fechado será sempre crescente. A entropia é de natureza probabilística e é a medida das diferentes configurações dos micro-estados que se materializam no mesmo macro-estado (Érdi, 2008:46). A entropia pode ser entendida como uma medida da desordem de um sistema. Ora, a partir da segunda lei da termodinâmica sabemos que esta tem de ser crescente, então significa que existe mudança com o decorrer do tempo e que o sistema irá aumentar o seu grau de “desordem”.

Partindo do conceito de entropia, Claude Shannon, no final da primeira metade do século XX, desenvolve as bases para a Teoria da Informação. Shannon usa a entropia como medida da informação contida numa mensagem, i.e., quanto maior a entropia maior será a riqueza da informação. Contudo, diz também que quanto maior a riqueza da informação, menor será o grau de previsibilidade dessa mesma informação – maior o seu grau de aleatoriedade (Gell-Mann, 1995). Esta implicação levanta algumas considerações, dada a natureza de alguns sistemas complexos – Cilliers (1998) (referindo Katz e Dorfman, 1992:167¹³), dá como exemplo a estrutura intrincada da cognição humana já que esta não pode ser encarada como uma estrutura aleatória.

Nos anos 60, 70 e 80, Gregory Chaitin¹⁴ desenvolve a teoria de informação algorítmica (na verdade, esta teoria resulta dos trabalhos de Chaitin, Andrei Kolmogorov¹⁵ e Ray Solomonoff¹⁶). Aqui a aleatoriedade é interpretada não em forma de imprevisibilidade mas sim em termos de incompressibilidade (Cilliers, 1998:9), ou seja, uma sequência de números será aleatória se o mais pequeno algoritmo que a consegue computar tiver o mesmo número de bits de informação que a própria sequência (Chaitin, 1975:48¹⁷, citado por Cilliers, 1998:9). Chega-se assim a uma medida de complexidade, i.e., a complexidade de uma série é igual ao tamanho do programa mínimo necessário para produzir essa mesma série (Chaitin, 1975: 48, citado por Cilliers, 1998:9). A distinção entre simplicidade e complexidade é apresentada por F. A. Hayek pelo número mínimo

¹³ Katz, B. F.; Dorfman, M. H. (1992) The neural dynamics of conversational coherence. In A. Clark; R. Lutz (eds.), *Connectionism in Context*. London, Springer-Verlag, pp. 167-181.

¹⁴ Página pessoal de Gregory Chaitin: <http://www.cs.umaine.edu/~chaitin/>

¹⁵ Página dedicada a Andrei Kolmogorov: <http://www.kolmogorov.com/>

¹⁶ Página pessoal de Ray Solomonoff: <http://world.std.com/~rjs/ray.html>

¹⁷ Chaitin, G. L. J. (1975) *Randomness and mathematical proof*. *Scientific American*, May, pp. 47-52.

de elementos que um instante de um padrão terá que conter de forma a exibir todos os atributos característicos da classe de padrões em questão (Hayek, 1964:335).

Na mesma ordem de ideias Bar-Yam (1997) defende que uma das possibilidades de medir a complexidade será a quantidade de informação necessária para descrever o sistema, sendo esta dependente do nível de detalhe requerido e da escala de observação. Assim, partindo de um sistema com N estados (Ω), em que cada estado é descrito de forma binária (por exemplo, activo ou não activo), o número de bits de informação (I) necessários para o descrever será (Bar-Yam, 1997:6):

$$I = \log 2(\Omega) \quad (1)$$

O número de estados representativos tem de ter o mesmo número de estados do sistema, pelo que, em N bits necessários para descrever o sistema, temos na sua forma binária 2^N estados possíveis, então:

$$\Omega = 2^N \quad (2)$$

Pelo que se depreende que N é igual a I , em (1).

Chaitin, em entrevista a Benkirane (2002), fala das implicações destas descobertas para a mudança de paradigma na Ciência, resultante do conhecimento adquirido sobre os limites da Matemática, nomeadamente sobre a presença do acaso na Matemática e a impossibilidade de se provarem determinados teoremas. Refere mesmo que as descobertas de Alan Turing sobre os limites do raciocínio matemático (impossibilidade de uma teoria Matemática do todo¹⁸) possibilitaram, simultaneamente, o avanço da algoritmia e da computação, campos do conhecimento determinantes ao estudo dos sistemas complexos (Benkirane, 2002:248).

Com o decorrer do tempo assistiu-se à multiplicação de estudos em sistemas complexos por inúmeras áreas científicas. Os diferentes problemas e métodos de trabalho deram também origem a diferentes tipos de complexidade com os quais se procura estudar diferentes problemas, o que dificulta muitas vezes a clareza e a organização de termos e conceitos. Num artigo de síntese Manson (2001) distingue três tipos de complexidade, nomeadamente:

- a) Complexidade Algorítmica – resulta da teoria da complexidade matemática e da teoria da informação (cf. p. 10 e 11). Refere-se ao esforço necessário para a solução de um problema, como por exemplo, problemas de optimização, sendo o problema do caixeiro-

¹⁸ Trabalho inicialmente desenvolvido por Kurt Gödel, em 1931, sobre a consistência da matemática e que deu origem ao Teorema da Incompletude - existem sempre algumas proposições verdadeiras que não podem ser provadas. Turing, no final dos anos 30, desenvolve o Teorema da Indecidibilidade e demonstra no artigo de 1936 (*On Computable Numbers, With an Application to the Entscheidungsproblem*, nos *Proceedings of the London Mathematical Society, Series 2, Volume 42*) que não é possível provar computacionalmente se um enunciado é verdadeiro ou falso. Mais informações no arquivo digital sobre Alan Turing: <http://www.turingarchive.org/>

viajante (conhecido por TSP – *traveling salesman problem*) um dos exemplos clássicos. O problema foi formulado nos anos 30¹⁹, do século XX, e tem como objectivo encontrar o percurso mais curto, ou com o menor custo, entre um conjunto de cidades, sendo que cada cidade pode ser visitada apenas uma única vez;

- b) Complexidade Determinista – diz respeito às teorias do caos e da catástrofe, sendo que a primeira procura a ordem subjacente aos sistemas com regime caótico. A teoria da catástrofe estuda sistemas que experimentam alterações bruscas e significativas devido a pequenas alterações em algumas características. Os dois tipos de sistemas apresentam características como a sensibilidade às condições iniciais, que importam ao estudo dos sistemas complexos;
- c) Complexidade Agregada – procura entender de que forma é que o comportamento agregado dos componentes dá origem a sistemas complexos. Utiliza uma visão holística dos sistemas de forma a entender as suas dinâmicas e evolução. A quantidade de informação envolvida na análise deste tipo de complexidade implica o desenvolvimento de ferramentas tecnológicas como as envolvidas na simulação e modelação.

Partindo dos três tipos de complexidade, Manson (2001) argumenta que para o estudos dos sistemas sociais e espaciais a Complexidade Agregada é a mais promissora, uma vez que muitos dos fenómenos estudados não podem, por exemplo, ser traduzidos em linguagem matemática, como por exemplo a cultura, como exigiria a Complexidade Determinista.

Em resposta a Manson (2001), Reitsma (2003) argumenta que não existem diferentes tipos de complexidade, mas sim diferentes teorias da definição de complexidade. Segundo Reitsma, a forma como Manson apresenta os dois primeiros tipos de complexidade falha em explicar como é que os sistemas poderão ser explicados pelas características das suas partes de uma forma não reducionista. Reitsma entende também que a Complexidade Agregada de Manson não é um tipo de complexidade mas sim a descrição da estrutura e comportamento de um sistema complexo (Reitsma, 2003:14). Apresenta ainda a sua própria categorização dos tipos de complexidade em sete grupos (não mutuamente exclusivos), nomeadamente:

- 1) Complexidade Determinista – refere-se ao que Manson (2001) denomina como Complexidade Algorítmica, i.e., o comprimento do programa mais pequeno que determinará um computador universal a escrever a *string* de *bits* e depois parar (Gell-Mann, 1995:16, citado por Reitsma, 2003:15). Reitsma defende que neste tipo a complexidade é equacionada como aleatória, o que nos remete para o trabalho de Chaitin em que a noção de aleatoriedade é reinterpretada, questionando-nos sobre o argumento de Reitsma;

¹⁹ Na verdade, não se conhece exactamente as origens exactas do termo, embora se identifique o matemático Karl Menger como um dos primeiros autores, que no início dos anos 30 do século XX, publicou sobre este problema, ao qual chamou de Problema do Mensageiro (*Botenproblem*) (Punnen, 2004). Em <http://www.tsp.gatech.edu/index.html> é possível encontrar informação variada sobre este problema (sítio da internet desenvolvido pela *School of Industrial and Systems Engineering*, da *Georgia Institute of Technology*).

- 2) Complexidade Estatística – diz respeito a medidas estatísticas do grau de estrutura ou padrão presentes num sistema complexo;
- 3) Transição de Fase – considera que a complexidade máxima é definida na transição entre a ordem e o caos, usualmente conhecida como *Edge of Chaos* na variada literatura sobre complexidade e que resultou dos trabalhos de Christopher Langton²⁰, Stuart Kauffman²¹, entre outros;
- 4) Derivadas do Caos – traduzem-se por medidas como o expoente de Lyapunov ou a dimensão fractal que resultam da teoria do caos. A partir do expoente de Lyapunov é possível calcular a sensibilidade das condições iniciais da trajectória do sistema e especificamente a taxa a que as trajectórias divergem no tempo. A dimensão fractal de um objecto permite estudar a sua irregularidade e o seu comportamento a diferentes escalas;
- 5) Conectividade – a complexidade é medida pelo número de conexões existentes entre os componentes do sistema, assim, quando maior o número de conexões ou interacções, maior será a complexidade do sistema (Kauffman, 1995, citado por Reitsma, 2003:15);
- 6) Variabilidade dos Sistemas – quando o aumento de complexidade resulta do aumento da variabilidade do sistema, i.e., por exemplo, variabilidade espacial ou com a mudança de escala;
- 7) Complexidade relativa e subjectiva – a complexidade é o resultado da percepção humana aquando da observação dos sistemas. É portanto, dependente do observador;

Por sua vez Manson (2003) contrapõe afirmando que a classificação de Reitsma (2003) é demasiado específica e orientada pela escola de pensamento do Santa Fe Institute (SFI)²², sofrendo sobretudo de uma visão estreita no que diz respeito ao papel da teoria e modelos na produção de conhecimento e que os mesmo não podem advir apenas dos campos da Biologia, Física e Matemática, como são exemplo os 13 autores referidos por Reitsma, num total de 15 (Manson, 2003; 18). Segundo o autor, seis dos sete tipos de complexidade apresentados referem-se apenas a medidas de complexidade, o que implica a adopção de uma concepção epistemológica limitada sobre complexidade (Manson, 2003:18). Por implicação, e segundo a visão de Reitsma, a complexidade é encarada como propriedade (*Complexity-as-property*), e como tal, o

²⁰ Informático de formação é um dos fundadores do campo de investigação em Vida Artificial e contribuiu para o desenvolvimento da computação, por exemplo em autómatos celulares. Algumas das suas publicações mais significativas são: Langton, C. (1984) *Self-reproduction in cellular automata*. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, Volume 10, Issues 1-2, pp. 135-144. Langton, C. (ed.) (1989) *Artificial Life*. Addison-Wesley Publishing Company, Reading, p. 352.

²¹ Biólogo de formação, desenvolve a sua investigação em Biologia evolutiva sobretudo do estudo da origem da vida na Terra. Publicou inúmeras obras entre as quais se destacam *At Home in the Universe: The search for the laws of self-organization and complexity*, Oxford University Press, New York, 1995, p. 321 e *The Origins of Order. Self-organization and selection in evolution*, Oxford University Press, New York, 1993, p. 709.

²² O Santa Fe Institute (SFI) foi fundado nos EUA, em 1984 (<http://www.santafe.edu>). Na origem da formação do SFI estiveram nomes de renome da comunidade científica (incluindo prémios Nobel), como George Cowan (Químico), Pete Carruthers (Físico), Stirling Colgate (Físico), Nick Metropolis (Informática), David Pines (Física), Murray Gell-Mann (Física), Philip Anderson (Físico), entre outros. Este conjunto de cientistas procurava a sedimentação de uma ideia de “emergência de síntese” (Waldrop, 1992:87) na Ciência. As primeiras actividades do grupo passaram, então, pela organização de workshops multidisciplinares com o objectivo de encontrarem uma linguagem comum às várias áreas científicas e concretizarem os primeiros fundamentos de conjunto que os interligavam. É hoje uma das principais referências mundiais de centros transdisciplinares no estudo dos sistemas complexos naturais, artificiais e sociais e da Ciência da complexidade em geral.

único objectivo da Ciência da complexidade será medi-la. Manson chama a atenção para este ponto já que a autora falha em reconhecer que a complexidade existe largamente em teorias e modelos da realidade em oposição à realidade em si mesma (Manson, 2003:18).

O estudo da complexidade deve ser sempre estruturado no contexto da dualidade teoria-modelo de cada área de aplicação ou disciplina científica, de acordo com Manson (2003:19):

«Every theory and model makes different assumptions about system characteristics such as system components, interaction, equilibrium, change, system boundaries, self-organization, adaptation, and learning (Rapport, 1991; Manson, 2001, p. 409). These characteristics determine the very substance and nature of what is considered complex and how it is measured. Complexity-as-property is therefore meaningless outside the context of a given theory or model and its assumptions, construction, and goals. »

A nossa aceção de complexidade enquadra-se no sentido de Manson (2001 e 2003). A multiplicação de estudos, directa ou indirectamente ligados à teoria da complexidade, em variadas áreas disciplinares dá origem, necessariamente, à transposição de conceitos mas também ao desenvolvimento de novos conceitos. A profusão de termos, conceitos, métodos e metodologias, muitas vezes sobrepostos, tem tido como resultado um aumento da dificuldade de organização e estruturação do pensamento inerentes à disciplina. Também por esta razão, Manson procurou sintetizar, de uma forma geral, os grandes grupos de tipos de complexidade que usualmente se encontram na bibliografia. Parece também claro que a presente dissertação se enquadra sobretudo na Complexidade Agregada, embora, como não o podia deixar de ser, não será possível ter em conta a teoria, métodos e descobertas quer da Complexidade Algorítmica quer da Complexidade Determinista. Afinal, atingir o conhecimento das componentes do sistema de uma forma não reducionista (Manson, 2001) implica que não se poderá excluir à partida, não só outros tipos de Complexidade mas também todo o conhecimento de âmbito reducionista até hoje desenvolvido e que nos possibilitou um conhecimento sem precedentes sobre as componentes do sistema global, desde a partícula elementar aos sistemas solares. Interessa-nos agora perceber como todas estas entidades interagem entre si, dando origem a formas e processos evolutivos de onde resultam propriedades emergentes.

Do conjunto de ideias exposto fica patente a dificuldade em definir complexidade, mas percebe-se também que existe um conjunto de características comuns aos sistemas complexos que nos oferecem um substrato comum de comunicação e a partir do qual se tem desenvolvido a teoria da complexidade. Este deve ser entendido como um conjunto de princípios gerais de orientação por entre um campo muito vasto de fenómenos (Ashby, 1962).

1.2. Características de um Sistema Complexo

Cilliers (1998) considera existirem duas capacidades fundamentais dos sistemas complexos, nomeadamente: i) a capacidade de armazenar informação sobre o meio para uso futuro e ii) a capacidade de adaptação da sua estrutura, quando tal é necessário, dadas as mudanças que ocorrem num meio dinâmico. O autor discute a primeira capacidade através do processo de *representação distribuída*²³ e a segunda pelo processo de *auto-organização*.

«Meaning is conferred not by a one-to-one correspondence of a symbol with some external concept or object, but by the relationships between the structural components of the system itself. This does not deny a casual relationship between the outside and inside of the system. It does, however, deny that the structure of the system is determined by the outside. Meaning is the result of a process, and this process is dialectical – involving elements from inside and outside – as well as historical, in the sense that previous states of the system are vitally important. The process takes place in an active, open and complex system. » (Cilliers, 1998:11)

A noção de uma dependência histórica na evolução dos sistemas pode, por vezes, desempenhar um papel importante no estudo dos sistemas complexos, estabelecendo a ligação com a capacidade do sistema em armazenar informação (a que se refere Cilliers (1998)). Esta dependência histórica pode dar origem a de um retardamento (*lag*) na resposta do sistema a determinados acontecimentos, sendo que este retardamento pode apresentar diferentes escalas de tempo (micro-segundos, anos ou biliões de anos, por exemplo), de acordo com o fenómeno em questão. No entanto, são hoje conhecidos muitos sistemas manifestamente complexos em que a memória, mesmo não estando presente nas interações entre os indivíduos, desempenha um papel determinante na evolução da população como um todo – é o caso de processos como a evolução somática do cancro, as dinâmicas populacionais associadas a ecossistemas em interacção, ou mesmo o crescimento de cidades ou regiões urbanas, cuja complexidade é manifesta.

A segunda capacidade (que, como é óbvio, só é aqui distinta da primeira num esforço de classificação) introduz-nos a noção de dinâmica para a qual cabe descobrir o conjunto de mecanismos que promovem a auto-organização e permitem aos sistemas complexos adquirirem e adaptarem a sua estrutura interna numa base evolucionista (Cilliers, 1998:10).

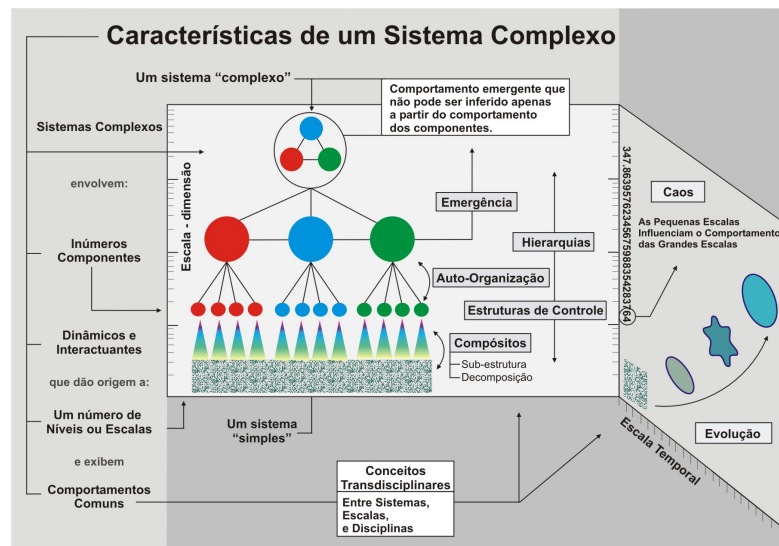
Mas como identificar um sistema complexo e como o distinguir de outro tipo de sistema como por exemplo um sistema complicado?

²³ O autor diferencia a noção de representação da noção de representação distribuída. A primeira confere uma correspondência de um-para-um entre os elementos do sistema e causas externas específicas. Pelo contrário, na representação distribuída o significado dos objectos é atribuído pelas relações com outros elementos.

De uma forma geral, um sistema complicado pode ser decomposto e reconstruído a partir das suas partes, um sistema complexo não. O primeiro é muitas vezes o resultado do somatório das suas componentes – a interligação das mesmas é directa e causal na construção do sistema como um todo. Um exemplo clássico de um sistema complicado é a construção de um automóvel. Cada peça tem um papel específico e a função do todo é predeterminada.

Por seu lado, um sistema complexo é também um todo composto por partes, mas algo de fundamental o distingue de um sistema complicado – a esquematização e síntese das características de um sistema complexo alude a este facto (Figura 1).

Figura 1 – Características de um Sistema Complexo



Adaptação de: http://necsi.net/projects/mclemens/cs_char.gif

As partes (entidades, elementos) do sistema interagem entre si e podem ser consideradas sistemas complexos. Daqui resultam estruturas hierárquicas com dinâmicas próprias, embora a distinção entre o micro, meso ou macro não seja necessariamente rígida e bem demarcada. Tome-se, como exemplo, a seguinte construção hierárquica: o ser humano pode ser decomposto em diferentes subsistemas também eles considerados complexos (ex. sistema circulatório, imunitário, etc.) – o indivíduo é então o todo de um sistema complexo a diferentes escalas. A interacção entre diferentes indivíduos perfaz uma comunidade e o conjunto destas, uma sociedade. Entenda-se, portanto, que a demarcação de limites inferiores e superiores (e intermédios) resulta sobretudo de uma conveniência metodológica de estruturação do conhecimento, e não da realidade em si mesma – nesta não existem degraus demarcados mas sim uma espécie de *continuum* de escalas no tempo e no espaço.

O sistema “simples” representado na figura anterior (Figura 1) pode ser interpretado de acordo com o âmbito de cada estudo. A abordagem reducionista permitiu a produção de um extenso e rico corpo científico sobre as entidades que formam inúmeros sistemas. Actualmente é, ainda, contínua

a busca por novas entidades, como é o caso da busca pelo bóson de Higgs²⁴ (partícula elementar) na Física ou as descobertas no campo da Genética como a sequenciação do genoma humano²⁵.

Mas o que interessa aos estudos em complexidade são as propriedades globais dos sistemas. Por exemplo, a temperatura não é uma propriedade intrínseca das partículas, é antes um reflexo à escala macro do seu grau de agitação (energia cinética) à escala micro²⁶. De igual forma, o conhecimento atómico de cada neurónio do cérebro humano nada nos diz sobre a consciência humana²⁷ – sendo esta presumivelmente uma propriedade global emergente. Como surgem então as propriedades do todo que não existem nas escalas inferiores?

1.2.1. Não Linearidade e a Sensibilidade às Condições Iniciais

Um sistema complexo é, primeiro que tudo, um sistema dinâmico, dinâmica essa que pode resultar, regra geral, da interacção entre as suas componentes. Imaginemos, que podemos descrever o estado de um sistema num dado momento inicial a que chamamos, por exemplo, t_0 e voltar a descrever o mesmo sistema numa dado momento²⁸ posterior, chamemos-lhe t_1 . Interessamos, por exemplo, estudar a trajectória do sistema entre os dois momentos temporais. Neste sentido, um sistema dinâmico poderá ser descrito por um conjunto de equações cujas soluções descrevem a evolução, em função do tempo, do estado do sistema (Boccaro, 2004:1). Mas que tipo de dinâmicas estão envolvidas num sistema complexo?

O tipo de dinâmica mais simples e que expressa a relação entre duas variáveis - a variável y (dependente) que descreve o efeito e a variável x (independente) que descreve a causa - é a relação funcional causa-efeito $y = f(x)$. Nesta, a evolução da variável dependente (y) será proporcional à evolução da variável independente (x). Se esta relação for linear, a função toma a forma $y = a + bx$ (a e b supostamente conhecidas e independentes de x , em que b estabelece a proporção da evolução de y , em função do aumento de uma unidade de x). Significa assim que, conhecendo o valor de x , em dado momento, é possível conhecer o valor de y . Por outro lado, a relação linear significa que, se x for a soma de duas componentes, x_1 e x_2 , também y se pode escrever como a soma de duas componentes, y_1 e y_2 , que satisfazem a mesma relação

²⁴ Para uma introdução sobre este tema, dirigida a um público alargado, consultar: <http://www.exploratorium.edu/origins/cern/ideas/higgs.html>

²⁵ Páginas de internet dedicadas ao Projecto do Genoma Humano: http://www.ornl.gov/sci/techresources/Human_Genome/home.shtml e <http://www.genome.gov/10001772>

²⁶ O Departamento de Física da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa disponibiliza recursos de introdução à Física, dirigido a um público lato, em <http://cftc.cii.fc.ul.pt/PRISMA/>

²⁷ Página da internet dedicada ao estudo multidisciplinar da consciência em: <http://www.mindbodysymposium.com/Human-Consciousness-Project/human-consciousness-project.html>

²⁸ Neste ponto não é relevante especificar a métrica de tempo utilizada. Porém no estudo de qualquer sistema dinâmico, é importante não esquecer a existência de diferentes escalas temporais a aplicar a cada fenómeno.

linear. O todo pode ser inferido a partir do comportamento das suas partes dada a existência do princípio de sobreposição²⁹.

Bem diferente é o comportamento de um sistema complexo, simultaneamente subtil e dramático! As interações e interdependências entre as componentes traduzem-se, se existirem, por comportamentos não lineares (Goldstein, 1999; Holland, 1998, citados em McDaniel e Driebe, 2005:6), pelo que os efeitos não são proporcionais às causas. Ou seja, e dependendo do fenómeno em causa, grandes inputs podem produzir pequenos resultados e um pequeno input, no momento certo, pode produzir resultados dramáticos (Guastello e Liebovitch, 2009:1).

A problemática expressa no parágrafo anterior exemplifica o que, no quadro da complexidade, se designa por sensibilidade às condições iniciais. As primeiras referências a esta questão datam do final do século XIX com Jacques Hadamard. Pierre Duhem, em 1906, e Henri Poincaré, em 1908, com a publicação do *Ciência e Método* (Ruelle, 1994:58) dão continuidade ao trabalho de Hadamard.

Henri Poincaré³⁰ desenvolve o estudo da dinâmica não linear a partir do problema dos três corpos, formando as bases daquilo que mais tarde viria a ser intitulado de caos determinista. O problema dos três corpos pode ser explicado da seguinte forma: enquanto que de acordo com as leis de Newton, é possível determinar as órbitas planetárias, desde que o sistema englobe não mais que dois corpos, por exemplo a Terra e o Sol, quando se inclui a Lua, deixa de ser possível encontrar soluções analíticas. Ou seja, a introdução no sistema de um terceiro corpo (neste caso, a Lua, bem mais pequeno e menos massivo que os outros dois) provocará (pequenas) perturbações na relação de equilíbrio que existia entre os dois corpos (conforme estabelecido pela Lei de Newton, em que a atracção entre os dois corpos é inversamente proporcional ao quadrado da distância). Essas pequenas perturbações vão-se acumulando no tempo, provocando alterações significativas nas trajectórias a longo prazo, não sendo possíveis de pré-determinar.

A falha em prever os estados futuros por dependência das condições iniciais resulta da impossibilidade de uma caracterização completa e absoluta dos sistemas, dependendo também da forma como o observador influencia o processo de medida. O caso paradigmático deve-se aos trabalhos de Lorenz.

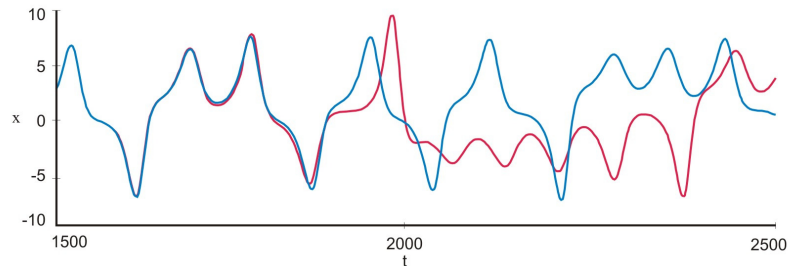
Em 1962 Edward Lorenz tentava modelar um sistema com três variáveis relacionadas com o tempo, nomeadamente o movimento de convecção (x), diferença de temperatura (y) e a distorção do perfil da temperatura (z) (Flake, 1998:168). Lorenz corre o modelo duas vezes e conclui que, apesar de ter introduzido as mesmas condições iniciais, as duas trajectórias divergiam significativamente. Mas na verdade, o autor ao introduzir os valores iniciais na segunda vez que

²⁹ Princípio da sobreposição (*principle of superposition*) - Este princípio diz que o resultado final de duas variáveis independentes é a soma dos resultados individuais de cada uma das variáveis.

³⁰ H.J. Poincaré. Sur de problème des trois corps et les équations de la dynamique. *Acta Mathematica*, 13, 1 – 270, 1890. H.J. Poincaré. *Les méthodes nouvelles de la mécanique celeste*, Vols 1-3. Gauthiers-Villars, Paris, 1892, 1893, 1899.

corre o modelo tinha eliminado algumas casas decimais. A diferença residual entre as duas condições de partida não eram aparentemente muito significativas, mas acabaram por ter um papel determinante na evolução do sistema (Figura 2).

Figura 2 – Evolução temporal de x com uma diferença inicial infinitesimal



Adaptado de: Flake, 1998:169

As descobertas de Lorenz deram origem ao conhecido efeito borboleta (Gleick, 1994:33-58), em que o seu bater de asas pode dar origem a um tornado no outro lado do mundo, uma eficaz metáfora sobre a importância das condições iniciais e das possíveis consequências de pequenas alterações ou perturbações do sistema.

O caos determinista caracteriza-se precisamente por uma forte sensibilidade às condições iniciais. Não deixa, no entanto, de ser um regime determinista, uma vez que é possível conhecer as leis que regem as dinâmicas associadas. O que a *Teoria do Caos* nos diz é que a determinação dos estados futuros dos sistemas só é viável em pequenas porções de tempo.

«The point is that change is the result of perturbation beyond a boundary and there is a radical regime change. The difference in the controlling parameters may in incremental terms be small. The outcome effect is enormous». (Byrne, 1998:23)

Porém, um sistema caótico não é sinónimo de um sistema complexo, embora ambos sejam imprevisíveis a médio/longo prazo. Se nos sistemas caóticos a imprevisibilidade se deve sobretudo à sensibilidade às condições iniciais (que são, não obstante, passíveis de ser descritas por meio de equações matemáticas), já nos sistemas complexos a imprevisibilidade esconde propriedades mais profundas que exploramos de seguida. Também um sistema com comportamento caótico pode resultar de muito poucas entidades, como no caso do problema dos três corpos demonstrado por Poincaré, enquanto que um sistema complexo resulta, regra geral, de um grande número de componentes.

Um exemplo de dinâmica não linear e que aponta para as diferenças entre um regime caótico e um regime complexo é dado pelo mapa logístico. Este representa um modelo de crescimento populacional e é construído a partir da seguinte equação³¹:

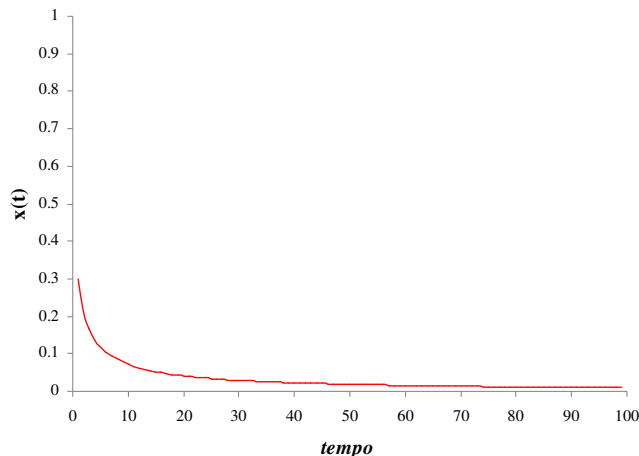
$$x_{t+1} = 4rx_t(1 - x_t) \quad (3)$$

Onde r é o parâmetro que representa a taxa de reprodução da população e x_t o total de população no momento t . Ambos os parâmetros variam entre 0 e 1.

O estudo deste modelo permite entender de que forma é que a partir de modelos matemáticos muito simples podemos obter dinâmicas bastante complexas (May, 1976). A formulação deste modelo diz-nos sucintamente que o total de população em dado momento é função do total de população passada.

Para testar o modelo escolhemos um valor constante de $r = 0,25$ e um valor inicial de população de $x_0 = 0,3$. Deixando a equação iterar no tempo obtém-se a seguinte dinâmica (Figura 3):

Figura 3 – Mapa logístico com $r = 0,25$



Verifica-se que a população entra rapidamente em extinção. Repetindo a iteração do modelo, mantendo o mesmo valor de r e apenas modificando a população inicial, constatar-se-á que independentemente do valor inicial da população, quando $r \leq 0,25$ a população entrará sempre em extinção.

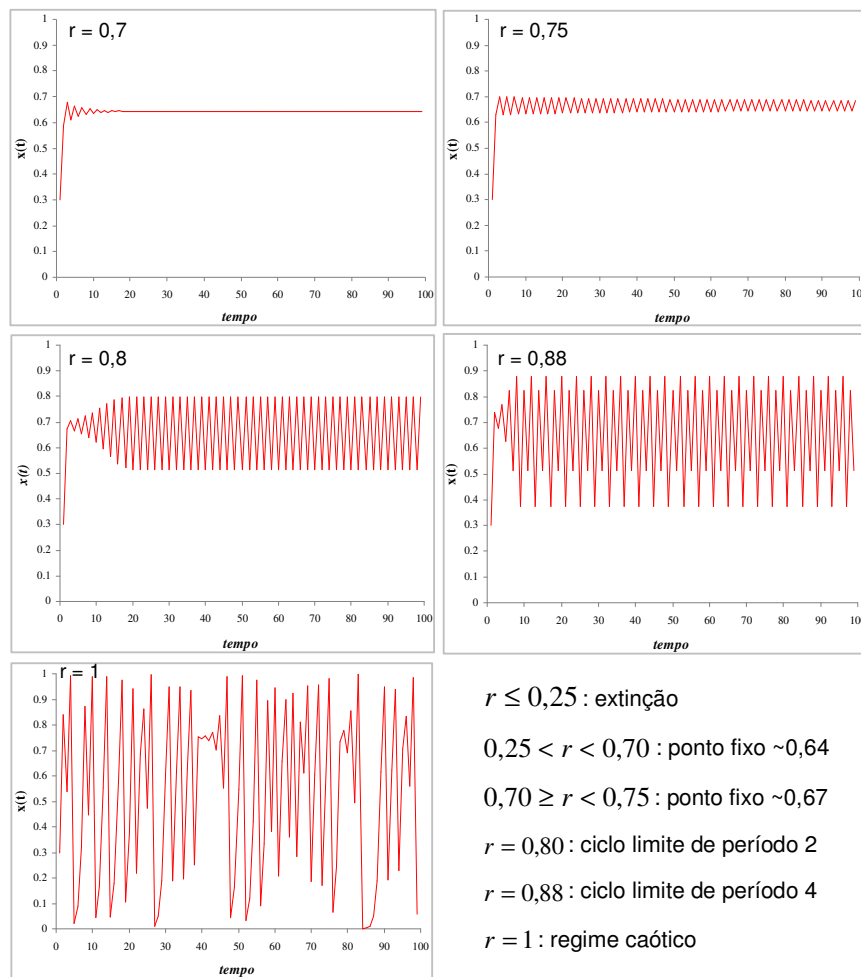
Para entender esta questão basta-nos interpretar a equação (3)³². Ou seja, a parte da equação $4rx_t$ diz-nos que quanto maior for x_t maior será o valor final de $4rx_t$. Dito de outra forma, o

³¹ Seguimos aqui a apresentação de Flake (1998), o qual acrescenta o termo 4, para que r varie entre 0 e 1 e não entre 0 e 4 como na sua forma original: $x_{t+1} = rx_t(1 - x_t)$.

³² A partir da exposição em Flake (1998).

acumular no tempo de pequenos aumentos da população levará a uma população cada vez maior. A esta dinâmica dá-se o nome de *feedback* positivo (realimentação positiva)³³. Em oposição temos $(1 - x_t)$, que se pode traduzir como um *feedback* negativo, e que pode ser entendido como à medida que x_t aumenta, menor será $(1 - x_t)$ ³⁴. Assim, a equação resulta de uma conjugação de “forças” entre os dois produtos, que se traduz numa interacção de ambos na solução da dinâmica do sistema. Parece, no entanto, claro que a taxa de reprodução da população (r) actua como um forte determinante na dinâmica do sistema e, assim sendo, interessa-nos descobrir o que acontece ao sistema quando r varia. Estudámos então r para os seguintes valores: 0,70; 0,75; 0,8; 0,88 e 1, mantendo a população inicial em $x_0 = 0,3$ (Figura 4):

Figura 4 – Mapas logísticos para diferentes valores de r



Dadas as interacções entre os termos que compõem este modelo simples de crescimento populacional, é fácil verificar que a não linearidade do fenómeno pode alterar drasticamente o comportamento do sistema, fazendo-o variar entre a extinção e o comportamento caótico,

³³ Palavra inglesa (s.m.) registada nos dicionários de Língua Portuguesa.

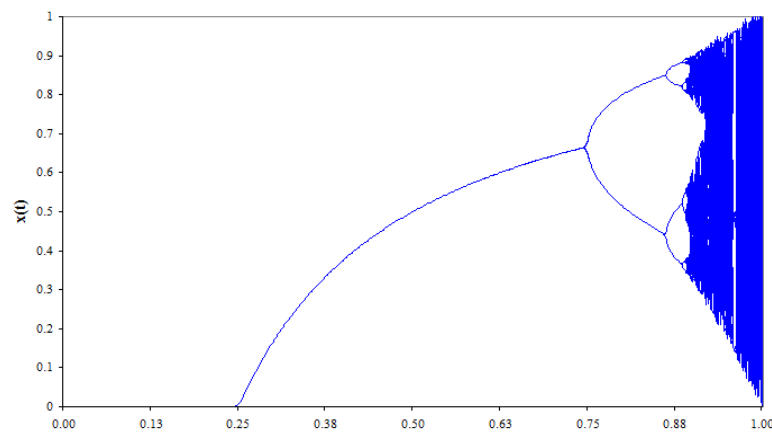
³⁴ Relembremos que x varia entre 0 e 1.

passando por estádios intermédios de regularidade, quer a um nível maior de estabilidade com a ocorrência dos denominados pontos fixos, quer num padrão repetitivo entre dois valores. A partir de 0,75, sensivelmente, o sistema entra em ciclos limite de amplitudes cada vez maiores (é o caso de 0,80 com período 2 e de 0,88 já com período 4).

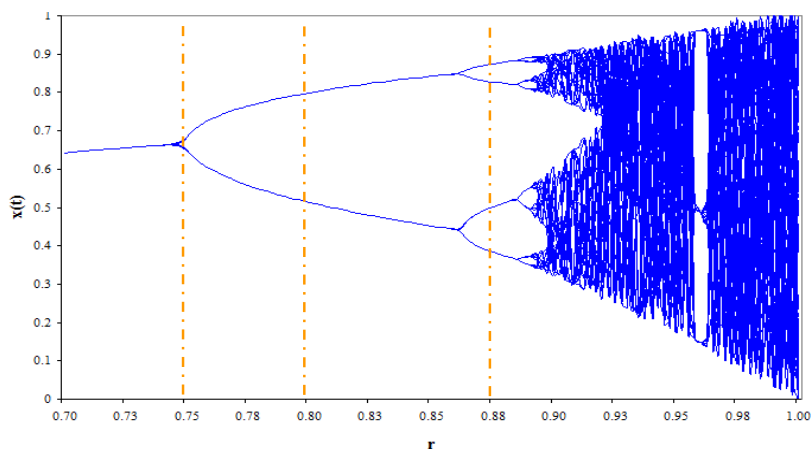
Os pontos onde ocorre uma mudança de ponto fixo para um ciclo limite, por exemplo em 0,70, são designados por pontos de bifurcação (Flake, 1998:148). A partir de 0,70, o valor de r do próximo ponto de bifurcação (onde por exemplo se passa de um período de 2 para 4) será cada vez menor. À medida que r se aproxima de 1 teremos um número cada vez maior de bifurcações com períodos de 4, 8, 16, etc. (Figura 5).

Figura 5 – Diagramas de bifurcação para o modelo logístico

a) Diagrama de bifurcação para r entre 0 e 1



b) Diagrama de bifurcação para r entre 0,7 e 1 (a laranja as simulação apresentadas na figura anterior)



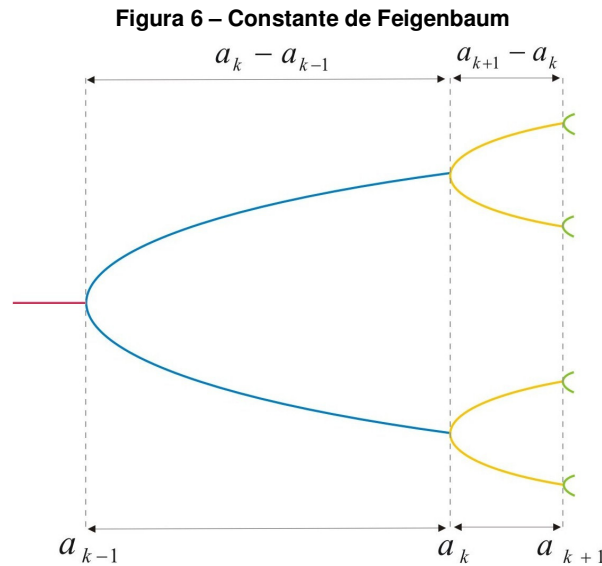
Na Figura 5a podemos ver os pontos de bifurcação do modelo de crescimento populacional. No eixo dos x temos a taxa de reprodução (r) e em y o resultado da equação (3). Assim, com valores inferiores a 0,25 a população irá convergir para zero, independentemente do valor inicial da população. Entre 0,25 e 0,75 encontramos os pontos fixos supracitados, embora com valores crescentes de população. A partir de 0,75 assiste-se ao primeiro ponto de bifurcação, onde a

função entra num regime cíclico de período 2 (i.e. varia entre dois valores). Aproximadamente aos 0,89 assiste-se a uma nova bifurcação, agora com período 4.

Na Figura 5b apresenta-se apenas a parte do diagrama onde r varia entre 0,7 e 1. As linhas verticais, a laranja tracejadas, identificam os valores de r anteriormente simulados e apresentados na Figura 4.

A progressão de pontos de bifurcação para este tipo de modelos apresenta uma regularidade interessante, quantificada pela constante de *Feigenbaum* (Flake, 1998; Boccara, 2004), dada pelo rácio entre dois pontos de bifurcação sucessivos e é calculada por (Figura 6):

$$d_k = \frac{a_k - a_{k-1}}{a_{k+1} - a_k} \quad (4)$$



Adaptado de: Flake, 1998:150

A constante tende assim para 4,669202..., o que significa ser possível conhecer a taxa de bifurcação de um sistema mesmo com regime caótico. Assim, existindo uma constante invariável, como a de *Feigenbaum*, será que isto significa que os sistemas caóticos não são afinal tão imprevisíveis? E qual a diferença entre um sistema caótico determinista, como o que acabamos de exemplificar, e um sistema complexo de carácter estocástico, naquilo que diz respeito à evolução dos sistemas, entendendo evolução não numa perspectiva mecanicista, mas sim numa lógica evolucionária?

1.2.2. Emergência

A Emergência é a propriedade dos sistemas complexos que sintetiza a ideia de que o colectivo não corresponde apenas ao conjunto das subunidades que o integram, possuindo características próprias e distintas. O todo é assim uma estrutura emergente, resultado das inúmeras e intrincadas interacções entre os elementos nas escalas inferiores. Paradoxalmente, estes comportamentos complexos resultam, muitas das vezes, de regras bastante simples.

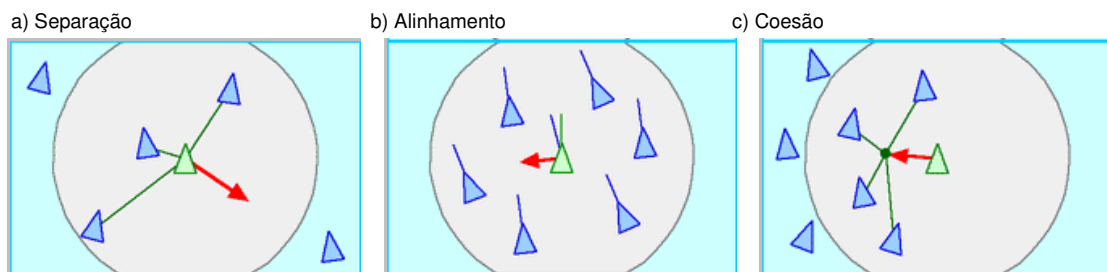
Em 1987, na XIV conferência da SIGGRAPH³⁵, Craig Reynolds³⁶ apresenta um modelo que procurava capturar o essencial do comportamento exibido pelas aves na formação de bandos, ou de um rebanho ou de cardumes de peixes (Waldrop, 1992:241; Flake, 1998:271).

«A flock exhibits many contrasts. It is made up of discrete birds yet overall motion seems fluid; it is simple in concept yet is so visually complex, it seems randomly arrayed and yet is magnificently synchronized. Perhaps most puzzling is the strong impression of intentional, centralized control» (Reynolds, 1987:25).

No modelo, cada ave é representada por um objecto geométrico, genericamente denominado por *boïd*. O comportamento de cada *boïd* será influenciado, quer pelo seu estado interno (por exemplo, a orientação e a capacidade de voo), quer pelo estado do sistema, a si externo (por exemplo, a presença de obstáculos). O seu comportamento é determinado pelo seguinte conjunto de regras (Reynolds, 1987):

1. Separação – mudar de direcção para evitar as outras aves vizinhas e impedindo também a diminuição do espaço disponível (Figura 7a);
2. Alinhamento – mudar de direcção de forma a seguir a orientação média dos vizinhos locais (Figura 7b);
3. Coesão – mudar de direcção para perto da posição média dos vizinhos locais (Figura 7c).

Figura 7 - Regras dos boïds



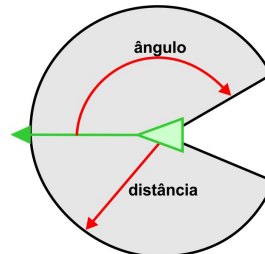
Fonte: <http://www.red3d.com/cwr/boids/>

³⁵ SIGGRAPH (Special Interest Group on GRAPHics and Interactive Techniques) <http://www.siggraph.org/conference/>

³⁶ Página da internet desenvolvida por Craig Reynolds <http://www.red3d.com/cwr/boids/>

Cada *boïd* utiliza as três regras na sua vizinhança, sendo esta definida por uma distância e um ângulo (Figura 8). Ou seja, cada indivíduo age de acordo com a informação local que possui e não tem conhecimento do comportamento de todo o bando.

Figura 8 – A vizinhança definida por uma distância e um ângulo



Adaptado de: <http://www.red3d.com/cwr/boids/>

A este modelo podem ser acrescentadas outras regras e outras entidades, como por exemplo permitir que os *boïds* se movam lateralmente caso um outro *boïd* bloqueie a sua visão (Flake, 1998:271); ou incluir predadores (Michael LaLena³⁷).

Com este exemplo interessa sobretudo perceber que, sistemas que exibem comportamentos bastante complexos são muitas vezes o resultado de regras simples, e sobretudo que o comportamento agregado dos indivíduos não necessita de nenhuma força ou entidade centralizadora que determine a organização destes sistemas.

O modelo desenvolvido por Craig Reynolds permite compreender como o movimento coordenado, visualmente complexo, emerge a partir da interação dos elementos, que se adaptam às mudanças nos elementos do grupo onde se inserem. Apesar da complexidade resultante, Reynolds demonstrou que com um conjunto de regras simples era possível simular este tipo de comportamento. O sucesso do modelo de Reynolds é demonstrado pela adaptação do seu modelo a diferentes casos de movimento coordenado. Por exemplo, Rosen (2003) utiliza a teoria do *flocking behaviour*, suportada no modelo desenvolvido por Reynolds, para modelar a evolução cooperativa das interações humanas através da comunicação, dando ênfase à optimização da distância entre membros do grupo, o estabelecimento de liderança e a coordenação com a direcção de outros indivíduos (Rosen, 2003).

Do modelo anterior vimos como padrões complexos emergem das interações em escalas inferiores. Estas interações entre componentes com propriedades intrínsecas que lhes conferem forma e função produzem dinâmicas com ordem e estrutura que nem sempre compreendemos.

Significa isto que terão de existir um ou mais mecanismos que permitam a emergência destas propriedades a diferentes escalas. De uma forma geral, o resultado da acção destes mecanismos é denominado de *auto-organização*.

³⁷ Página da internet desenvolvida por Michael LaLena onde é possível encontrar informação sobre inteligência artificial, código fonte para alguns programas e utilizar o simulador do modelo de Reynolds. <http://www.lalena.com/AI/Flock/>

1.2.3. Auto-organização

Por auto-organização entende-se o processo de organização dos sistemas que não obedece a um comando central que determine *a priori* os estados e comportamentos a diferentes escalas hierárquicas e temporais do sistema. Relembrando o exemplo anterior, a auto-organização é reconhecida nas acções que cada indivíduo estabelece em função da informação local que dispõe (no exemplo seria a distância) e reajusta a sua trajectória em cada momento. Do comportamento agregado de todos os indivíduos emerge então o comportamento do bando que parece funcionar com uma entidade em si mesma.

A relação entre auto-organização e emergência fica clara na seguinte afirmação de Waldrop (1992:11):

«(...) groups of agents seeking mutual accommodation and self-consistency somehow manage to transcend themselves, acquiring collective properties such as life, thought, and purpose that they might never have possessed individually.»

Também Ashby introduz a noção de tempo e evolução na definição de auto-organização, na medida em que um sistema auto-organizado é aquele que de início é composto por partes separadas, com comportamentos independentes. No decorrer do tempo estas mudam e agem estabelecendo conexões entre si, dando origem a novos comportamentos à macro-escala. Como exemplo, indica o desenvolvimento do sistema nervoso de um embrião que se inicia com um conjunto de células e evolui culminando na formação de sinapses (Ashby, 1962:114).

Em contraponto, Ryan (2007) afirma que pode existir emergência num sistema de controlo centralizado. O controlador tem a capacidade de juntar, separar ou reestruturar as componentes do sistema, por exemplo, seguindo um modelo ou esquema. De acordo com Ryan (2007), se a propriedade que emergiu estiver presente no modelo, então não se trata de emergência mas apenas uma propriedade vista a uma outra escala. Contudo, se a propriedade emergente não estiver patente no modelo utilizado pelo controlador, então estaremos perante emergência.

Vale a pena reflectir um pouco nesta ideia de existência de um controlador ou esquema pré-definido. Seria possível concordar com a ideia de admitir emergência apenas no caso em que a mesma não estivesse “impressa” no esquema ou modelo seguido. Seria possível se, e só se, julgássemos credível a existência de tal controlador. Isto é, existindo um plano ou modelo desenvolvido pelo controlador (já que se não o fosse então este não seria controlador) será razoável admitir que o mesmo é “desenhado” para que funcione sem falhas ou desvios ao programado e até mesmo que o seu funcionamento tenha por base uma medida qualquer de máxima funcionalidade. Assim sendo, não é necessária a intervenção do controlador ao longo do tempo porque tudo estará pré-determinado. Porém, se existir a necessidade de reajuste do sistema por parte do controlador, então a ideia de que o sistema é pré-determinado fica em causa. Para que serve afinal o esquema?

Podemos também assumir que o controlador age de forma simplesmente caprichosa (o que nos leva também a questionar a validade de um modelo) e aleatória, quer no espaço, quer no tempo.

Ora, se este tipo de intervenção é consequência da evolução do sistema, então o controlador não pode ter o controlo total e absoluto da dinâmica do sistema e portanto seria apenas mais uma componente do sistema. Se, por absurdo, as intervenções aleatórias fossem parte integrante do modelo ou esquema, então teriam de ser pré-determinadas, o que julgamos ser, no mínimo, paradoxal.

Afinal em que consiste a auto-organização? E qual o paralelo que podemos formar entre a auto-organização das entidades, a emergência de comportamentos colectivos e a evolução dos sistemas?

Não existe evolução sem dinâmica, mas para existir dinâmica é necessário que haja energia, sem a qual não seria possível a formação de matéria. Interessa-nos portanto perceber a relação entre a dinâmica dos sistemas e a energia que os “alimenta”.

Dependente da forma como interagem com o exterior, os sistemas podem dividir-se em três categorias, nomeadamente, os sistemas *isolados*, os sistemas *fechados* e os sistemas *abertos* (Kondepudi e Prigogine, 1998:4).

Os sistemas isolados não têm qualquer interacção com o exterior, não trocam nem energia (na forma de calor e trabalho), nem matéria. Por sua vez, os sistemas fechados trocam energia com o exterior, mas não matéria. Esta troca de energia acontece, porém, apenas nas fronteiras do sistema. Já os sistemas abertos são sistemas que trocam energia e matéria com o exterior e é nesta troca que emergem fenómenos de enorme complexidade e beleza, como o “simples” acaso da origem da vida³⁸.

Os sistemas complexos são então *sistemas abertos*, i.e., não só são influenciados pelo exterior como também o influenciam. Desta influência mútua, com uma troca constante de energia e matéria, resultam *estados de não equilíbrio* – ou seja, as propriedades (quer do sistema, quer do exterior) são variantes no tempo. Como consequência, e simultaneamente, são sistemas *irreversíveis* dado que não existe um retorno ao seu estado inicial (o *eterno retorno* de Ruelle, 1994:107).

A irreversibilidade decorre de diferenciais (por vezes mínimos) nas trajectórias das interacções que a longo prazo podem afastar radicalmente o sistema da sua condição inicial. Prigogine (1977) argumentava que estes processos irreversíveis podiam levar a novos estados dinâmicos da matéria ao qual chamou de estruturas dissipativas; flutuações que no decorrer do tempo provocam

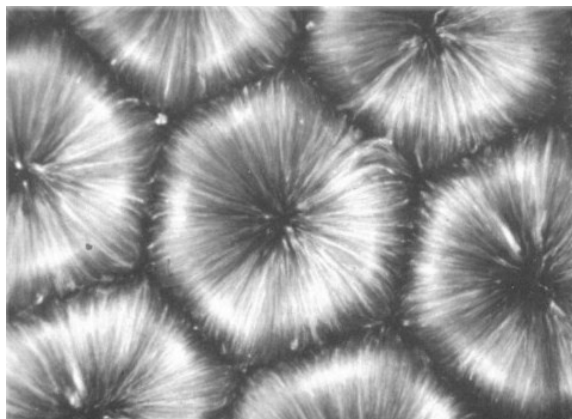
³⁸ Na verdade a realidade é composta por sistemas abertos, sendo talvez o Universo o único sistema isolado. Contudo, em alguns casos particulares podem fazer-se aproximações a sistemas fechados de forma a facilitar a análise dos mesmos, por exemplo, o motor de um automóvel é analisado como sendo um sistema fechado (Greitzer *et al*, versão 6.2). Para um curso introdutório de termodinâmica consultar: <http://web.mit.edu/16.unified/www/FALL/thermodynamics/notes/notes.html>

grandes alterações e que incutem nos fenómenos uma incerteza fundamental. Incerteza esta que nos permite trabalhar com, e não mais que, probabilidades num espaço de possibilidades dos futuros estados dos sistemas (Mainzer, 2004:4; Prigogine, 2003:54; Ruelle, 1994:55). A previsão de estados futuros cinge-se a contextos probabilísticos, e também estes passíveis de serem variáveis no tempo. Estes processos irreversíveis são acompanhados por uma dissipação de energia, e podem estar associados a sistemas ordenados em não equilíbrio, como por exemplo as células; sistemas químicos complexos que metabolizam moléculas para alimento de forma a manter a sua estrutura interna e reproduzirem-se (Kauffman, 1996:13).

Uma das mensagens mais emblemáticas resultantes dos estudos em complexidade é, sem dúvida, que o futuro não pode ser antecipado a longo prazo. Este deixa de ser determinado, é *O Fim da Certeza*³⁹ de Prigogine, segundo o qual (...) *a realidade é somente uma das realizações do possível* (Prigogine, 2003:56). Um dos pontos de clivagem entre a teoria do caos (anteriormente referida) e a complexidade será precisamente a diferença entre a incerteza marcada pela incapacidade de medidas absolutas das condições iniciais e a incerteza fundamental inerentes aos fenómenos complexos.

A complexidade deverá situar-se, desta forma, entre um regime perfeitamente ordenado e o caos, ou como ficou conhecida na expressão de Waldrop (1992) *order at the edge of chaos*. Ou seja, um regime perfeitamente ordenado é um regime estático que não promove, em determinadas escalas de tempo, a variabilidade e a dinâmica necessárias à evolução dos sistemas; por outro lado um regime caótico é demasiado instável (i.e., desprovido de padrões e estruturas) para poder exibir um comportamento complexo, uma vez que os elementos não terão tempo de se adaptarem às alterações do sistema e por conseguinte evoluir. Os sistemas complexos deverão assim situar-se entre estes dois extremos. Um exemplo clássico é dado pelas “células de convecção” de Rayleigh-Bénard (Figura 9).

Figura 9 – As células de Rayleigh-Bénard

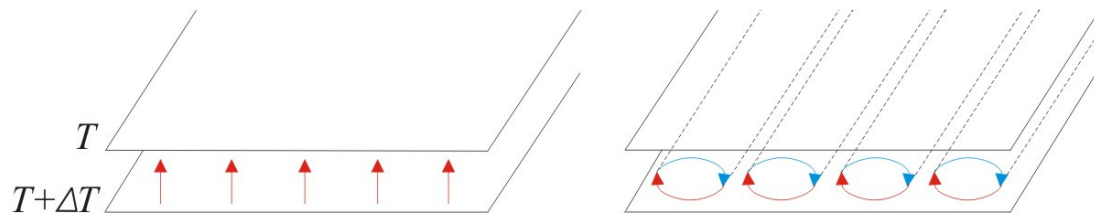


Fonte: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/outreach/education/science/convection/RBCells.html>

³⁹ Prigogine, Ilya (1996) *La Fin des Certitudes: temps, chaos et les lois de la nature*. Odile Jacob, Paris, p. 223.

A experiência desenvolvida por Henri Bénard, em 1900, consistiu no aquecimento de um líquido num prato de cobre (Ball, 2009:138). O fluido aquecido do fundo sobe enquanto que o fluido mais arrefecido no topo desce (Figura 10). Para pequenas diferenças de temperatura, entre a base e o topo, o fluido permanece em equilíbrio térmico e não existem movimentos de convecção. Por seu lado, se as diferenças de temperatura ultrapassarem um valor crítico⁴⁰, o fluido torna-se instável e desenvolve-se o padrão de convecção estacionário visível na Figura 9 (Mainzer, 2004:60)

Figura 10 – A experiência de Bénard



Adaptado de: Mainzer, 2004:61

Através dos processos de auto-organização são então criados padrões e estruturas que sustentam processos dinâmicos essenciais à realidade que conhecemos, seja por exemplo, pela manutenção de processos físicos que sustentam a vida no planeta, seja pela capacidade de adaptação e evolução dos processos biológicos ou sociais.

1.2.4. Evolução e Adaptação

Se se argumenta que a auto-organização é uma condição necessária à evolução dos sistemas, então, interessa também saber se a mesma tem contribuído para um aumento ou diminuição da complexidade associada a esses mesmos sistemas. Neste sentido, a discussão da medida da complexidade torna-se pertinente, embora não consensual em Biologia evolutiva, como o comprova a existência de três grandes grupos de visões, que defendem, nomeadamente i) que a complexidade tem aumentado; ii) que não existem provas conclusivas sobre esse facto; iii) e que o progresso não caracteriza a história da vida num todo e nem representa uma força orientadora em evolução, no sentido em que este seja um objectivo pré-determinado (Adami, 2002:1085).

Segundo Adami (2002), as medidas de complexidade biológica referem-se à forma, função ou a sequência que codifica esta mesma complexidade e têm sido sugeridas algumas medidas como a complexidade estrutural, complexidade funcional, complexidade hierárquica e a complexidade sequencial. Contudo, refere Adami (2002:1086), nenhuma delas oferece uma medida universal, já que algumas não apresentam provas conclusivas, como a estrutural; outras, como a funcional, apresentam sérias dificuldades na definição de conceitos base como os tipos de função a utilizar e ainda problemas ontológicos como a circularidade na definição da hierarquia na medida em que os

⁴⁰ O valor crítico é dado pelo número de Rayleigh (Ra) do fluido, proporcional à diferença de temperatura (Mainzer, 2004:60)

vários níveis implicam a existência de emergência (Ryan, 2007:69). Por sua vez, Adami (2002) conjectura que a complexidade sequencial deverá ser o caminho a seguir, embora seja necessário introduzir algumas alterações, nomeadamente a busca de correlações horizontais entre por exemplo o código (i.e. os símbolos) do genoma e a descrição do meio no qual essa sequência é funcional e não apenas as correlações verticais que procuram correlações entre os símbolos numa sequência.

A problemática referida levanta a questão abordada por Standish (2008) sobre a noção de complexidade enquanto quantidade e enquanto qualidade, sendo que a última é a mais adequada no estudo dos sistemas biológicos, no sentido em que esta engloba a noção de emergência, enquanto que a primeira apenas lida com a quantidade de informação necessária para descrever o sistema.

Adami (2002) apresenta uma nova medida de complexidade definida pela quantidade de informação armazenada por uma dada população, sobre o meio no qual vive. À medida que evolui a informação guardada irá aumentar e como consequência também a sua complexidade física, se o meio não se alterar radicalmente. Caso contrário, é possível encontrar exemplos de diminuição de complexidade, nomeadamente quando existem mudanças bruscas e rápidas no ambiente para as quais os organismos se encontram mal adaptados (Adami, 2002:1091). Estas são questões que interessam ao ramo da Biologia Evolutiva, na qual se procura perceber a origem das espécies e a sua evolução, e para a qual a Geografia (assim como outras ciências sociais) deve estar atenta, no sentido do desenvolvimento e estabelecimento de paralelismos entre as diferentes disciplinas. Neste campo, os estudos em sistemas complexos têm procurado encontrar respostas para questões que não são totalmente respondidas pela teoria da selecção natural de Charles Darwin⁴¹.

Nesta nova abordagem defende-se que a evolução deverá ser o resultado não só da selecção e mutações aleatórias, mas também da auto-organização (Kauffman, 1996). Em *At Home in the Universe* (1996), Kauffman defende que a grande questão reside em conseguir complementar as ideias da selecção natural com as da auto-organização. Mainzer (2004:108) refere como exemplo os trabalhos desenvolvidos por Eigen⁴² quando desenvolveu um modelo simples de optimização evolucionária. Neste, uma célula é codificada numa sequência de quatro substâncias químicas (A, T, G, C) as quais constituem os genes. Cada gene representa uma unidade funcional que está adaptada de forma óptima ao meio. O comprimento de um gene ronda as 1000 posições sequenciais. Assim, para os quatro símbolos existem 4^{1000} genes alternativos ("mutações"), ou seja, 10^{600} possibilidades. Tendo em conta que a matéria presente no Universo corresponderia a 10^{74} genes e que a idade do universo seria comparável a 10^{18} segundos, se toda a matéria do Universo, desde o seu início, fosse usada para alterar e produzir novos genes de comprimento

⁴¹ Charles Darwin publica, em 1859, *A Origem das Espécies*. A página da internet <http://www.darwin-online.org.uk/contents.html> (*The Complete Work of Charles Darwin Online*) disponibiliza em formato digital as várias obras de Charles Darwin.

⁴² Eigen, M. (1985) *Homunculus im Zeitalter der Biotechnologie – Physikochemische Grundlagen der Lebensvorgänge*. In: Gross, R. (ed.): *Geistige Grundlagen der Medizin*. Springer: Berlin, p. 26 (citado em Mainzer, 2004:108).

1000 em cada segundo, teríamos hoje em dia testado apenas 1093 mutações. Eigen concluiu então que os genes que representam unidades funcionais ótimas não podem ser produzidos apenas por processos aleatórios. Pelo contrário devem ter-se desenvolvido por um processo de otimização. Nesta ordem de ideias Kauffman (1996) apresenta também o trabalho desenvolvido por Robert Shapiro⁴³ na tentativa de calcular a probabilidade de conseguir desenvolver, aleatoriamente, algo como a bactéria *E. coli*. chegando também à conclusão que as probabilidades serão tão ínfimas que não parece plausível que a vida resulte apenas de um acumular de mutações aleatórias. Ou seja, as mutações aleatórias são essenciais para que exista variabilidade, já a selecção natural é o processo pelo qual se atinge um balanço evolutivo, no decorrer do tempo, entre a variabilidade existente. Quer as mutações aleatórias, quer a selecção natural podem operar simultaneamente no decorrer da evolução (Futuyma, 2005). Qual então o papel da auto-organização?

A teoria da complexidade procura leis gerais sobre as estruturas auto-organizadas encontradas no mundo natural. Mas como poderá a vida ser contingente (possível mas incerta), imprevisível e acidental e simultaneamente obedecer a leis gerais (Kauffman, 1996:12)? Este autor defende que a ordem, em sistemas fora do equilíbrio (sistemas abertos), surge do fluxo constante de energia e matéria que percorrem o sistema e essa mesma ordem pode manter-se por longos períodos de tempo. A dissipação de energia e matéria caracterizam estes problemas como estruturas dissipativas (Kauffman, 1996; Mainzer, 2004), como por exemplo as células de um organismo vivo, na medida em que metabolizam moléculas para alimento de forma a manterem a sua estrutura interna e se reproduzirem.

A vida, entendida como um todo, estará não nos detalhes das moléculas ou células individuais mas será a propriedade colectiva da interacção dos sistemas de moléculas ou células. Se a vida é dinâmica, muda no tempo, e deverá ser o resultado de um balanço entre um regime ordenado (possível em sistemas isolados e mesmo assim com uma probabilidade de ocorrência muito pequena) e um regime caótico no qual as perturbações do sistema são demasiado significativas para que se alcance um regime estacionário. Diz-se então que a vida existe no limiar do caos.

Aqui entra um conceito fundamental na teoria evolutiva, nomeadamente a noção de *fitness*⁴⁴. Ou seja, a evolução é a história da adaptação dos organismos através de mudanças genéticas, aumentando o *fitness* relativo de uma população. O *fitness* é influenciado pelo genótipo⁴⁵ e pelo fenótipo⁴⁶ de um indivíduo e, por conseguinte, é variável no tempo e no espaço. À teoria da

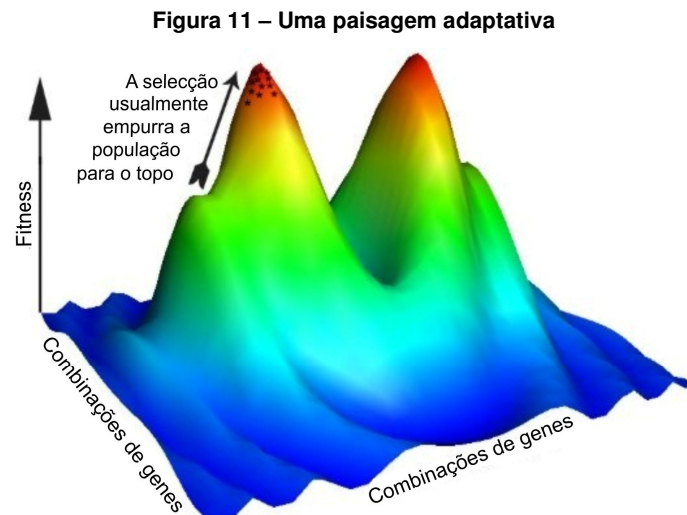
⁴³ Shapiro, Robert (1986) *Origins: A Skeptic's Guide to the Creation of Life on Earth*. New York: Summit (citado em Kauffman, 1996:25).

⁴⁴ Embora exista uma discussão em aberto sobre a noção e a medida de *fitness* esta pode ser caracterizada como a capacidade de um organismo sobreviver desde o seu estado embrionário até à sua forma adulta e de deixar descendência, descrevendo também a relação do organismo com o meio (Sober, 2000).

⁴⁵ O genótipo de um organismo é a classe à qual esse organismo pertence, determinada pela descrição do material físico feito de ADN (ácido desoxirribonucleico) que foi transferido para o organismo pelos seus progenitores (Lewontin, 2008).

⁴⁶ O fenótipo de um organismo é a classe ao qual pertence determinada pela características físicas e comportamentais desse mesmo organismo, como por exemplo, o seu tamanho e forma, as suas actividades metabólicas e o padrão do seu movimento (Lewontin, 2008).

evolução interessa estudar as alterações ocorridas no *fitness* das populações de indivíduos. Uma das formas utilizadas para esse estudo recorre à construção de paisagens de *fitness* (*fitness landscapes*)⁴⁷, desenvolvidas por Sewall Wright (Loewe, 2009), em 1932⁴⁸ (Figura 11).



Adaptado de: <http://evolutionarysystemsbiology.org/intro/>

De forma geral, uma paisagem adaptativa representa no plano o genótipo ou o fenótipo e na altura o *fitness*. Os objectos são definidos pela posição no plano a que se encontra associado um *fitness* representado pela altura (Loewe, 2009:6). Na Figura 11 os máximos constituem as configurações de maior *fitness*, assim, para que uma população se mova na paisagem é necessário que se produzam novos genótipos através de processos como a mutação e a recombinação. Neste conjunto, cada população tenderá a subir as elevações da paisagem se i) existir tempo para tal; ii) a altura estiver correlacionada com a habilidade de contribuir com material genético para a próxima geração, por exemplo, por melhor sobrevivência (o que, no fundo, tipifica o próprio conceito de *fitness*); iii) e que o gradiente seja suficientemente inclinado para permitir ultrapassar potenciais efeitos opostos devidos a forças não selectivas (Loewe, 2009:6)⁴⁹.

A variação do *fitness* dos organismos não é um processo casuístico e puramente aleatório, mas sim o resultado de um processo adaptativo dos organismos, quer ao nível do genótipo quer ao nível do fenótipo, ou seja, às mudanças que ocorrem no meio onde se inserem. Porém, no meio da mudança parece existir uma coerência que ainda assim permite uma evolução “ordenada”, ou seja, existe um certo tipo de ordem, embora não no sentido da ordem presente em sistemas fechados

⁴⁷ Segundo Reis (2004) é comum a não tradução do termo *fitness* e encontrar exemplos como *paisagem de fitness*. Contudo, na tradução de *Navigating Complexity: Essential Guide to Complexity Theory in Business and Management*, de Arthur Battram, optou por seguir a escolha de Réda Benkirane (2002) em *La complexité, vertiges et promesses. Dix-huit histoires de sciences*, no qual sugere «*Le paysage évolutif ou adaptatif (traduction de l'expression fitness landscape)*» (citado por Reis, 2004:94). Optámos aqui por paisagens adaptativas.

⁴⁸ Wright, S. (1932) *The roles of mutation, inbreeding, crossbreeding, and selection in evolution. Proceedings of the Sixth International Congress of Genetics*, N.º 1, pp. 356 – 366 (<http://www.esp.org/books/6th-congress/facsimile/contents/6th-cong-p356-wright.pdf>).

⁴⁹ Interessa-nos apenas aqui apresentar a ideia geral de uma paisagem de *fitness*. Contudo, existem diferentes tipos de paisagens de *fitness* com diferentes propriedades.

em equilíbrio, nos quais não ocorre qualquer dinâmica. E se existe uma ordem no sentido de serem observáveis estruturas coerentes que se prolongam no tempo, embora variáveis, então os sistemas biológicos não poderão ser caóticos, no sentido mais lato do termo, como um sistema demasiado instável e aleatório para que qualquer ordem existisse.

« (...) *speciation*⁵⁰ and extinction seem very likely to reflect the spontaneous dynamics of a community of species. The very struggle to survive, to adapt to the small and large changes of one's coevolutionary partners, may ultimately drive some species to extinction while creating novel niches for others. Life, then, unrolls in an unending procession of change, with small and large bursts of speciations, and small and large bursts of extinctions, ringing out the old, ringing in the new. » (Kauffman, 1996:10)

Mas que factores podem estar na base das alterações do *fitness*?

1.2.5. Co-Evolução

A co-evolução implica que à medida que um organismo evolui também os que com ele interagem evoluem⁵¹. De forma a manter um *fitness* face ao meio em mudança, estes organismos adaptam-se às mudanças de uns e outros, pelo que, as paisagens de *fitness* encontram-se em constante mudança face aos movimentos adaptativos dos parceiros co-evolutivos. Significa isto que, os organismos, ou de forma mais geral, os constituintes dos sistemas biológicos são entidades interactuantes, que influenciam e são influenciadas, quer por outras entidades, quer pelo meio onde se inserem.

Nos processos co-evolutivos existem diferentes formas de interacção, que regra geral se enquadram nos seguintes tipos: i) o mutualismo - quando existe um benefício para ambas as espécies. Um exemplo é a interacção entre as abelhas e as flores quando, na procura de alimento as abelhas promovem a polinização das flores; ii) a competição – cada espécie tem um impacto negativo na outra, por exemplo, quando ambas concorrem pelos mesmos recursos (algumas espécies arbóreas desenvolvem mais ramos de forma a obterem maior incidência solar); iii) predação e parasitismo – uma espécie tem um efeito positivo na outra espécie, mas esta, por seu lado, tem um efeito negativo na primeira. Segundo Futuyama (2005) a co-evolução, na forma de competição, predação ou parasitismo pode, em teoria, resultar numa contínua “corrida às armas” (por exemplo, quando uma espécie desenvolve uma toxina para combater a interacção com outra espécie. Esta, por sua vez, desenvolve a capacidade de resistência à toxina, o que leva a primeira espécie a desenvolver novas toxinas), num equilíbrio genético estável, em flutuações indefinidas na composição genética ou dar lugar à extinção.

⁵⁰ Por *especação* (*speciation*) entende-se o surgimento de novas espécies, por oposição ao conceito de extinção.

⁵¹ A co-evolução pode ocorrer quer ao nível microscópico, como os genes, quer ao nível macroscópico entre populações.

Em 1994, John N. Thompson publica o livro *The coevolutionary process*, no qual defende que para além da co-evolução genética das populações, existe também a influência da estrutura geográfica das interacções, conhecida como a teoria do mosaico geográfico da co-evolução (*The Geographic Mosaic Theory of Coevolution*⁵²). O autor refere que vários estudos e modelos sugerem a existência de variação geográfica na estrutura genética e no resultado da co-evolução, ou seja, as populações diferem na sua especiação pelos genótipos particulares de outras espécies, criando diferenças geográficas no número de genótipos co-existentes e na direcção da selecção natural (Thompson, 1994: 217). Ou seja, uma mesma espécie pode revelar diferentes características, como a cor, padrões, etc, em diferentes localizações dada a presença ou ausência de espécies terceiras. Apesar do crescente interesse nesta teoria, Gomulkiewicz, *et al* (2007) alertam para o facto de que é ainda necessária a verificação da mesma através de testes empíricos extensos.

As ideias da teoria da co-evolução têm conhecido uma transposição para o campo dos sistemas sociais, por exemplo na relação entre os sistemas ecológicos e os sistemas económicos (Kallis, 2007), desde os trabalhos desenvolvidos por Richard Norgaard⁵³ (Winder, *et al*, 2005). Norgaard (1994) defende que a ideia comum de sustentabilidade deve ser repensada na medida em que o mundo é demasiado complexo para que seja possível perceber e estabelecer as condições de sustentabilidade. Isto porque as acções a tomar para combater a não sustentabilidade tendem a ter por base uma escolha de tecnologias, contudo, os mecanismos de percepção, escolha e uso de tecnologias estão embebidos na estrutura social, que são, por sua vez, produtos de tecnologias modernas (Norgaard, 1994:27). Winder (2005) estabelece como exemplo as consequências da intensificação económica nas sociedades, referindo que alguns comportamentos impuseram um severo stress co-evolucionário em determinadas populações. O resultado tem tido tradução em revoluções, guerras, genocídio e limpezas étnicas, todos processos co-evolucionários nos quais o *fitness* de uma população é determinado pelas acções de outra, e todos eles justificados em crenças culturais sobre grupos sociais interactuantes.

Recorrendo aos mesmos paralelismos, como perceber a origem, crescimento e evolução de cidades e espaços urbanos? De forma comum é frequentemente fácil de classificar determinado espaço urbano como cidade, em qualquer lugar do mundo. Porém, não existem duas cidades iguais em todo o planeta. Que propriedades comuns poderão ser identificadas como o “genótipo” da categoria cidade? E quais os “fenótipos” urbanos que podem ser encontrados? E, acima de tudo, em que sentido podem as especificidades locais, sejam físicas (geologia, climáticas, etc.) ou sociais (ex. cultura, economia, etc.) explicar os diferentes percursos co-evolutivos dos constituintes do objecto cidade ou de um sistema de cidades? Serão estas, no nosso entender, as grandes questões que a Geografia deve estabelecer e procurar responder.

⁵² Em 2005 Thompson publica: *The Geographic Mosaic of Coevolution*, The University of Chicago Press, Chicago, p. 400.

⁵³ Norgaard, Richard B. (1994) *Development betrayed – the end of progress and a coevolutionary revisioning of the future*. Routledge, New York, p. 269.

1.2.6. Cooperação

Na teoria evolutiva existe uma corrente que defende que a evolução é progressiva, que tem uma direcção (Stewart, 2000), e uma outra corrente que contradiz esta aceção, na medida em que não foi identificado o mecanismo que está na retaguarda da evolução progressiva (i.e., a selecção natural permite a adaptação dos organismos às condições locais, de acordo com as mudanças registadas no meio onde os organismos se inserem). Stewart (2000) é defensor da ideia de que existe um progresso evolucionário, e que a evolução dirige-se para um aumento da cooperação entre organismos, isto é, à medida que a evolução procede, os organismos vivos irão aumentar a coordenação entre as suas acções para o benefício do grupo em vez de agirem apenas em prol dos seus interesses individuais (Stewart, 2000:7). Este autor defende que os organismos vivos são em primeiro lugar organizações cooperadoras e aqui inclui-se o próprio ser humano, quer como um sistema que engloba subsistemas que constituem o corpo humano, quer como empresas ou sistemas de cooperação entre estados-nação, sendo que esta cooperação tem sido crescente no tempo. Assim, a evolução progride quer pela cooperação quer pelo aumento da habilidade dos organismos vivos em se adaptarem e evoluírem (Stewart, 2000:8). Contudo, apesar da cooperação não ser universal e a sua escala de acção ser variável, não deixa, no entanto, de ser uma parte determinante na criação de interdependências entre agentes, elemento base em qualquer sistema organizado (Stewart, 2000).

Apesar de não ser a área onde a tese se insere directamente, isso não impedirá de lançar o tópico na área da evolução dos sistemas territoriais. À área do planeamento e ordenamento territoriais depende fortemente e é o resultado de actos de cooperação entre os agentes envolvidos. Existe uma gestão interna mas também externa (segundo Stewart, 2000, interna quando os indivíduos do próprio grupo a gerem e externa, por exemplo, com a influência das multinacionais nos estados) assim como existe uma multitude de estratégias subjacentes naquilo que é materializado nas áreas construídas. Estas estratégias não só mudam no espaço como também no tempo. As estratégias evoluem e as alterações registadas resultam das interdependências criadas. Resultam não só da história passada, isto é, da acção de outros agentes e dos resultados por eles alcançados mas também do futuro no sentido da perspectiva de ganhos ou perdas resultantes de determinadas acções. (Axelrod, 1984)

Num contexto probabilístico, como o é a dinâmica dos sistemas territoriais e a natureza do planeamento, a perspectiva da cooperação ganha ainda mais importância, na medida em que uma das grandes questões a colocar reside sobre o resultado do “jogo” entre uma lógica de ganho por parte dos agentes individuais (isto é, qual é a jogada que me trará maior ganho) e o jogo do colectivo em que o território é o bem comum para o qual todos devem contribuir. Considerando que o comportamento de um organismo pode alterar o *fitness* de outro (Axelrod, 1984:19) como ler isto à luz do território? Como têm evoluído as políticas de ordenamento face a mudanças como a consolidação da propriedade e direito privados ou a diferentes tipos de intervenção governamental instituídos em figuras de planeamento mais interventivas, fiscalizadoras ou reguladoras?

Em síntese, a abordagem atrás efectuada incide sobre os sistemas complexos adaptativos (CAS – *complex adaptive systems*) (Holland, 1995). Exemplos *standard* de sistemas complexos adaptativos são a evolução biológica, aprendizagem e pensamento em animais e humanos, o funcionamento do sistema imunitário, comportamento de computadores construídos ou programados para fazer evoluir estratégias (por exemplo por meio de redes neuronais ou algoritmos genéticos) e, seguramente, sistemas de cidades. Os sistemas complexos adaptativos são compostos por agentes e o comportamento destes é determinado por um conjunto de regras, que estão na origem da emergência da complexidade exibida pelo sistema complexo – regras estas que nos interessa descobrir. Estas podem eventualmente ser entendidas como regras de estímulo-resposta; por exemplo os agentes do sistema nervoso central (neurónios) recebem como estímulo os pulsos electrónicos e as respostas podem ser os pulsos que deixam esses mesmos neurónios (Holland, 1995:8).

Holland (1995) identifica quatro características e três mecanismos base dos CAS, nomeadamente:

1. Agregação (propriedade) – é utilizada na simplificação dos sistemas complexos, no sentido em que nos permite agregar objectos em categorias, sendo essencial à construção de modelos, i.e., permite eliminar detalhes que não são relevantes para perceber a dinâmica do sistema no seu todo. Por outro lado, a agregação é a propriedade que resulta do comportamento emergente do colectivo de agentes. A agregação a diferentes escalas permite a existência de uma organização hierárquica.
2. *Tagging* (mecanismo) – traduzindo talvez para etiquetagem, este mecanismo permite a agregação dos agentes e a formação de fronteiras, na medida em que possibilita a identificação de agentes perante uma funcionalidade, por exemplo, na agregação de moléculas. Nas palavras de Holland (1995), a etiquetagem permite manipular as simetrias. A quebra de simetria, isto é, quando um agente sofre uma modificação e já não é identificado no grupo a que pertencia, permite por vezes encontrar propriedades nos sistemas que não eram visíveis nos conjuntos de agentes. As etiquetas facilitam a interacção selectiva entre agentes, o que leva à existência de filtros, especialização e cooperação entre agentes.
3. Não-lineariedade (propriedade) – a razão pela qual não podemos antecipar o comportamento dos conjuntos agregados a partir da soma dos comportamentos dos agentes individuais.
4. Fluxos (propriedade) – a formação de redes resulta das interacções entre diferentes agentes. Os fluxos variam no tempo dado o aparecimento/desaparecimento de agentes e interacções e por consequência também as redes são variáveis no tempo. Esta dependência no tempo reflecte também as adaptações dos agentes face às alterações no meio.
5. Diversidade (propriedade) – A diversidade presente nos sistemas complexos adaptativos não é acidental nem aleatória, é o resultado de adaptações progressivas que permitem a evolução. O sistema é composto por nichos, a interacção e especialização entre espécies

permite a criação de padrões dinâmicos e um aumento da diversidade. Mesmo na presença de extinções de espécies, tendencialmente irão surgir novas espécies (não necessariamente iguais às anteriores).

6. Modelos internos (mecanismo) – Existem dois tipos de modelos internos: tácitos ou implícitos e os explícitos. O modelo tácito prescreve uma acção dada a previsão implícita de um dado estado futuro, por exemplo quando um predador se dirige a uma presa com o objectivo de se alimentar. O modelo explícito explora internamente diferentes alternativas, como por exemplo as possíveis movimentações no jogo de xadrez. Ambos os modelos permitem inferir o meio onde o agente se insere e alterar o seu comportamento. Com o tempo é a selecção e as adaptações progressivas que determinam as variantes nos modelos internos.
7. *Building Blocks* (mecanismo) - Os modelos internos são sustentados em unidades de base coerentes que criam padrões e/ou acções de repetição possibilitando lidar com um meio em constante mudança. Estas unidades de base podem ser usadas em diferentes combinações, dependendo do contexto em que são inseridas. Assim, por exemplo, a noção de “automóvel” pode ser utilizada em diferentes situações. A reutilização das unidades de base permite eliminar a necessidade da existência de um regra para cada acção possível de ser tomada.

Holland (1995) questiona se será possível encontrar uma descrição comum para os diferentes tipos de agentes capazes de formar diferentes tipos de sistemas complexos adaptativos, sendo que os três mecanismos e as quatro características acima apresentadas estão presentes nos diferentes CAS, como sejam sistemas de bactérias, o indivíduo ou uma cidade.

1.2.7. Criticalidade Auto-organizada

O anterior conjunto de mecanismos e propriedades não explica a dinâmica de macro-escala dos sistemas evolutivos, nomeadamente como é que milhares de comportamentos de micro-escala dão origem a macro-estruturas meta-estáveis⁵⁴, no decurso da evolução. Com o tempo, estas estruturas incorrem em mudanças por vezes bruscas e repentinas que parecem ser o resultado do acumular das dinâmicas dos restantes estados do sistema, ou seja, a evolução é dependente da história (Bak e Paczuski, 1995; Arthur, 1990), i.e., através da sucessiva acumulação de pequenos eventos o decurso da história pode tomar caminhos inesperados. Estes pequenos eventos criam aquilo que Bak e Paczuski (1995) chamam de contingências e sem as quais não seria possível perceber o caminho tomado pela evolução. Isto porque o percurso da dinâmica futura do sistema é dependente dos eventos passados, sejam eles de pequena ou grande dimensão. Questionam-se

⁵⁴ O conceito de meta-estabilidade tem origem na Física e descreve a invariância no tempo dos parâmetros que descrevem o estado do sistema no seu todo. Os estados definem-se como meta-estáveis quando o sistema permanece um tempo que é caracteristicamente muito superior à escala de tempo da sua dinâmica intrínseca, sendo que, no entanto, o sistema não permanecerá neste estado indefinidamente, uma vez que será sempre possível encontrar pelo menos um outro estado de maior estabilidade.

os autores o que teria acontecido na Europa se Hitler não tivesse nascido. Mas, refere Gell-Mann (1995), mesmo quando as leis e as condições iniciais são especificadas de forma absoluta, a indeterminação pode ainda ser introduzida pela ignorância da história passada. Até onde podemos seguir a história passada se tudo está conectado e em constante evolução?

Em 1987 Per Bak, Chao Tang e Kurt Wiesenfeld⁵⁵ apresentam e desenvolvem o conceito de criticalidade auto-organizada (SOC – *Self-Organized Criticality*) que se manifesta em certos sistemas dinâmicos com vários graus de liberdade (Bak *et al*, 1987). Nestes, incluem-se os sistemas ecológicos sustentados e a plethora de sinergias e interdependências entre as espécies constituintes. Contudo, e simultaneamente, estas mesmas interações tornam os ecossistemas bastante susceptíveis a pequenas mudanças (Bak *et al*, 1988: 364). Bak *et al* (1988) designam os sistemas que apresentam este “balanço” como sistemas críticos, por apresentarem assinaturas temporais e espaciais típicas, i.e. apresentarem correlações nas várias escalas do tempo e do espaço, indicativas de algum efeito cooperativo. O ponto crítico nesta classe de sistemas é atingido de forma espontânea sem que seja necessário qualquer tipo de regulação externa ou central dos seus parâmetros de controlo (Bak *et al*, 1988). No ponto crítico podem acontecer grandes alterações no sistema, mas importa salientar que estas mudanças não são previsíveis no sentido em que não são impostas ou controladas, por isso se fala em auto-organização.

Um modelo ilustrativo de SOC é o denominado “pilha de areia” (*sand-pile model*). Sobre uma superfície plana vazia é construído um monte de areia “grão a grão”, em que a adição de cada grão de areia é feita de forma aleatória no tempo e no espaço (há outras variantes). À medida que o monte de areia cresce, aumenta também o declive associado. A progressão do declive atingirá um valor crítico a partir do qual a adição de um ou mais grãos de areia provocará um ou mais “deslizamentos” de areia, dando origem a uma “avalanche”. À medida que o monte aumenta, o mesmo acontece com o tamanho característico das “avalanches”, até que, no ponto crítico existem “avalanches” de todos os tamanhos, ocorrendo portanto dissipação de energia a todas as escalas (Bak *et al*, 1988:365).

O modelo teórico desenvolvido pelos autores foi testado com recurso a autómatos celulares⁵⁶, numa grelha quadrada (2D). Cada célula, posicionada num ponto de coordenadas (x, y) , representa um local que poderá receber grãos de areia em quantidade $z(x, y)$. Um valor crítico fixo (z_c) é definido à partida. No momento inicial, todas as células da superfície se encontram

⁵⁵ Bak, Per; Tang, Chao; Wiesenfeld, Kurt (1987) *Self-Organized criticality: an explanation of 1/f noise*. Physical review Letters, Volume 59, N.º 4, pp. 381 – 384.

⁵⁶ Os autómatos celulares são uma ferramenta de modelação, desenvolvida por John von Neumann, no fim da década de 40. Consiste numa grelha de células, usualmente quadradas, onde cada célula pode ter um número finito de estados, por exemplo, uma célula pode estar viva ou morta. Cada célula terá também uma vizinhança determinada pelo número e posição das células vizinhas. Partindo de uma configuração inicial dos estados das células, a dinâmica dos sistemas modelados será caracterizada por um conjunto de regras que definem a transição dos estados das células. Partindo de regras bastante simples, o sistema pode apresentar comportamentos bastante complexos.

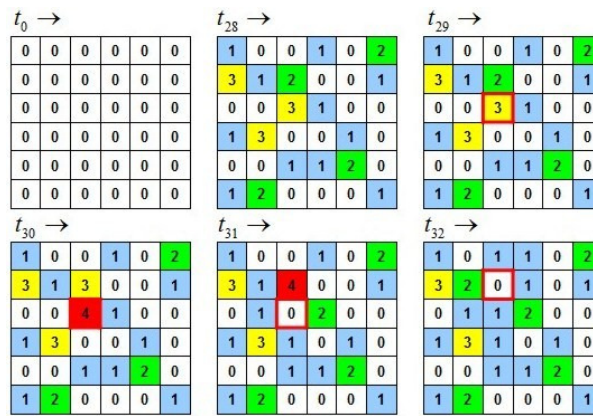
vazias, com $z(x, y) = 0$. A cada iteração será acrescentado 1 grão de areia numa célula $z(x, y)$ escolhida aleatoriamente, i.e. $z(x, y) \rightarrow z(x, y) + 1$.

Definindo o valor crítico como $z_c = 4$, a dinâmica do sistema (ou seja, o conjunto de regras que definem a evolução do sistema para o passo seguinte) é dada por (Bak, *et al*, 1988) (para $z(x, y) > z_c$):

$$\begin{aligned} z(x, y) &\rightarrow z(x, y) - 4, \\ z(x, y \pm 1) &\rightarrow z(x, y \pm 1) + 1, \\ z(x \pm 1, y) &\rightarrow z(x \pm 1, y) + 1 \end{aligned} \tag{5}$$

Ou seja, quando um determinado local atinge o valor crítico, a avalanche criada irá distribuir os 4 grãos de areia pelos 4 vizinhos mais próximos ($(x + 1, y)$; $(x - 1, y)$; $(x, y + 1)$; $(x, y - 1)$) da célula em causa (Figura 12).

Figura 12 – Modelo do Monte de Areia – Avalanches de tamanho 2



Adaptado de: Castro, 2007

O tamanho das avalanches é definido pelo número de deslizamentos que o acréscimo de um grão de areia provoca (Castro, 2007). No caso da anterior (Figura 12), a avalanche é de tamanho 2 já que apenas provocou dois deslizamentos, um por via directa e outro como consequência do primeiro deslizamento.

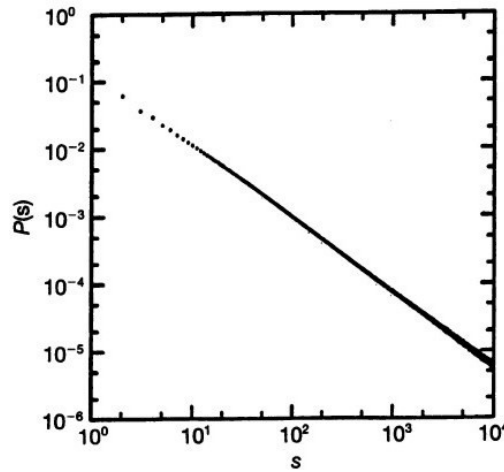
As estatísticas da distribuição do número de locais com avalanches (s) pela dimensão das mesmas ($P(s)$), revelou a presença de uma distribuição em lei de potência, em que $P(s) \sim s^{-\tau}$. (Bak e Paczuski, 1995:6691). Esta lei de potência diz-nos que a probabilidade de ocorrência de uma avalanche de dimensão $P(s)$ é proporcional a $s^{-\tau}$. Quando se representa uma lei de potência num gráfico onde aos dois eixos são associadas escalas logarítmicas, os dados apresentam-se como linhas rectas em que o declive da recta é dado por $-\tau$ (Figura 13). Com efeito, escrevendo

$$P(s) = P_0 s^{-\tau} \quad (6)$$

temos que

$$\underbrace{\log[P(s)]}_y = -\tau \underbrace{\log(s)}_x + P_0 \quad (7)$$

Figura 13 – Distribuição em lei de potência das avalanches do modelo do monte de areia



Fonte: Bak e Paczuski, 1995: 6691

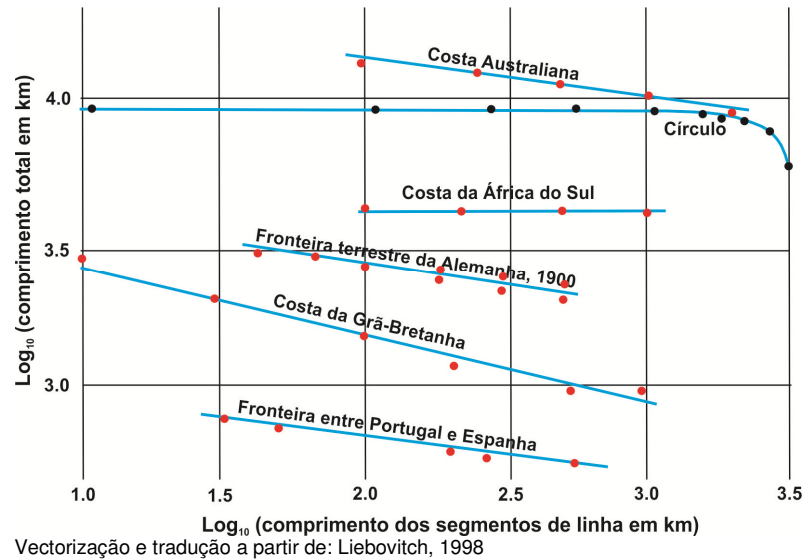
A distribuição de probabilidade de ocorrência de avalanches com um dado tamanho revela então que os grandes eventos apresentam as mesmas funções de distribuição dos pequenos eventos, o que implica uma origem dinâmica comum (Bak e Paczuski, 1995:6690) e um comportamento livre de escala (*scale-free*). Ou seja, nas palavras de Bak e Paczuski (1995:6690): os sistemas com criticalidade auto-organizada evoluem naturalmente, ou auto-organizam-se, para um estado crítico, altamente interactivo, onde pequenas perturbações podem dar origem a avalanches de qualquer dimensão. O sistema exhibe aquilo que se designa por um equilíbrio pontuado, caracterizável apenas de um modo dinâmico, no qual períodos de estabilidade são interrompidos por explosões de actividade.

Distribuições em lei de potência são comuns na natureza – sendo abundantes também em Geografia - e existem muitos estudos sobre as mesmas. Alguns dos exemplos mais usuais são a distribuição de terremotos (*cf.* Chen, Bak e Obukhov, 1991), distribuição de preços de algumas matérias-primas, a distribuição da extinção de espécies, propagação de fogos florestais (*cf.* Clar *et al*, 1999) e a distribuição de cidades (Longley *et al*, 1991; Nordbeck, 1971; Batty, 2003), entre muitos outros exemplos (Frigg, 2003; Bak, 1996; Bak e Sneppen, 1993).

Os fenómenos que apresentam distribuições em leis de potência apresentam também, muitas das vezes, a propriedade de auto-semelhança, no sentido mais lato do termo. Geometricamente, dois objectos serão semelhantes se tiverem a mesma forma, independentemente do seu tamanho, contudo os ângulos correspondentes devem ser iguais, i.e., o factor de escala, terá de ser único

(Peitgen *et al*, 2004:132). A auto-semelhança significa que a propriedade de semelhança ocorre a diferentes escalas no mesmo objecto. É no entanto comum encontrar na natureza objectos que apresentam algum grau de semelhança nas suas várias escalas, embora apresentem algumas variações; a estes diz-se que apresentam uma auto-semelhança estatística (Peitgen *et al*, 2004:138). Um dos primeiros exemplos empíricos de existência de auto-semelhança foi encontrado por Lewis Fry Richardson⁵⁷ quando analisou o comprimento de costa de vários países, em diferentes escalas (Figura 14).

Figura 14 – Comprimentos aproximados de fronteiras segundo Leis Fry Richardson



O problema da determinação do comprimento da costa de um país, na forma apresentada por Richardson em 1961, reside no facto de que a cada aumento de escala surgem novos detalhes, podendo no limite teórico chegar-se à composição microscópica da composição mineral de cada rocha ou pedra que determina a forma da costa. Assim sendo, a cada aumento de escala será necessário um segmento de recta cada vez mais pequeno, enquanto que na escala macro será possível representar, por exemplo, apenas com uma linha recta todo o comprimento da costa oeste de Portugal. Desta forma, com o aumento de escala também o número de segmentos utilizados será maior e por conseguinte também o comprimento total da linha de costa irá aumentar. Richardson representou os valores para diferentes países num gráfico log-log (ver e.g. Figura 14). Para cada conjunto de pontos determinou o melhor *fit* para a linha recta que descreve a relação entre o comprimento dos segmentos de linha e o comprimento total da linha de costa. Obteve um bom *fit* com uma relação linear (ou seja, uma lei de potência) para cada país observado, embora os declives variassem.

⁵⁷ Richardson, L. F. (1961) The problem of contiguity: an appendix of statistics of deadly quarrels. *General Systems Yearbook*, Volume 6, pp. 139 – 187 (citado por Mandelbrot, 1998).

1.2.8. Comportamento Fractal

A interpretação destes declives foi retomada por Benoît Mandelbrot em 1967⁵⁸. Para o autor, o valor do declive daria o valor da dimensão do objecto ou fenómeno em análise. Para objectos com dimensão fraccionária ao invés de inteira (como é o caso habitual na geometria euclidiana), Mandelbrot cunhou o termo *Fractal*. Desta forma, o declive das rectas de Richardson determinará a dimensão fractal do objecto de estudo. O comportamento em lei de potência entre duas variáveis é significativo, pois suporta a interpretação de que existirá uma invariância de escala de $y(x)$, isto é, estaremos perante um comportamento que pode ser encontrado em qualquer escala de análise (Meakin, 1998:4), ou dito de outra forma, encontramos a propriedade de auto-semelhança, uma propriedade basilar em objectos ou fenómenos com comportamento fractal.

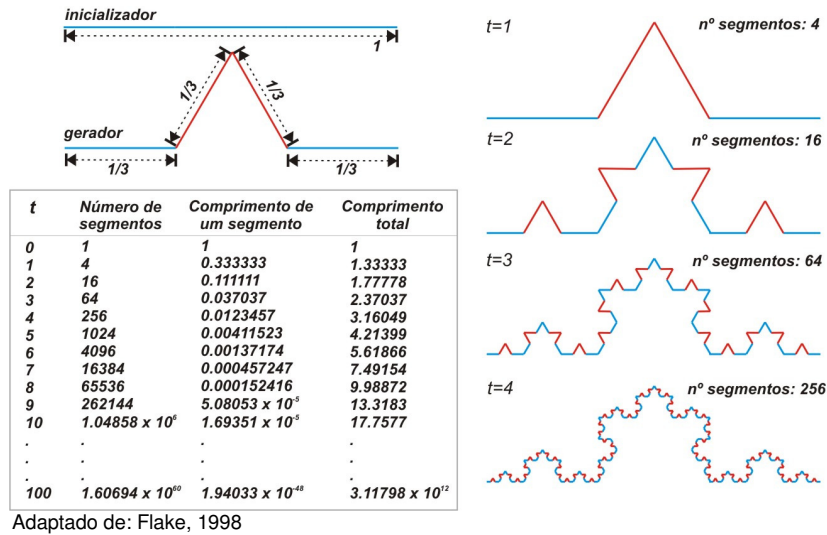
Um dos exemplos paradigmáticos de comportamento fractal é a denominada curva de Koch⁵⁹ (Helmborg, 2007; Peitgen *et al*, 2004; Meakin, 1998; Mandelbrot, 1983), apresentada em 1904 por Helge von Koch⁶⁰ (Figura 15). A construção geométrica da curva de Koch consiste no seguinte: uma linha recta (inicializador) é dividida em três partes iguais. Numa segunda fase, a parte central é substituída por um triângulo equilátero, retirando-se a base (gerador). Nas etapas seguintes cada segmento de recta é substituído pelo gerador (na Figura 15 é possível ver os primeiros quatro passos). A auto-similaridade é induzida no processo de construção, na medida em que, cada uma das quatro partes da curva, no passo k , é uma versão reduzida, por um factor de 3, de toda a curva do passo $k - 1$ (Peitgen *et al*, 2004:88). A curva de Koch é um fractal matemático que pode ser construído infinitamente (na verdade a sua construção é dependente da capacidade computacional de processamento).

⁵⁸ Mandelbrot, Benoît (1967) How long is the coast of Britain? Statistical self-similarity and fractional dimension. *Science*, Volume 155, N.º 3775, pp. 636 – 638. doi: 10.1126/science.156.3775.636.

⁵⁹ Existem muitos outros exemplos de objectos fractais matemáticos, nomeadamente o conjunto de Cantor (Cantor set), o Sierpinski Gasket, e o conjunto de Julia (Julia set) entre outros que não serão aqui abordados. Para um estudo mais aprofundado da geometria fractal consultar, por exemplo, as obras aqui referenciadas, nomeadamente Helmborg, 2007; Peitgen, *et al*, 2004; Meakin, 1998; Mandelbrot, 1983.

⁶⁰ Koch, von H. (1904) Sur une courbe continue sans tangente, obtenue par une construction géométrique élémentaire. *Arkiv för Matematik*, 1, pp. 608 – 704 (citado por Peitgen *et al*, 2004).

Figura 15 – Curva de Koch



Mas importa também observar outras propriedades deste tipo de fractal, nomeadamente o seu comprimento total. Como se pode observar da tabela da figura anterior, a cada etapa o número de segmentos aumenta, embora o comprimento individual de cada segmento diminua. Não obstante, o comprimento total da curva aumenta a cada iteração em $L \times 4^k / 3^k$, sendo L o comprimento original da curva (Peitgen *et al*, 2004:90), no presente caso $L = 1$. Facilmente se constata que o comprimento total apresenta um crescimento exponencial podendo assumir valores astronómicos ao fim de uma centena de passos ($L = 3.11798 \times 10^{12}$). A partir deste exemplo entende-se porque razão Richardson encontrava valores de fronteira diferentes entre países fronteiriços dependendo das fontes consultadas. A escala a partir do qual é medida a fronteira ou linha de costa irá influenciar de forma determinante os resultados finais, algo que está indelevelmente ligado às características intrínsecas do sistema em estudo.

Relativamente à forma como a curva preenche o espaço verifica-se que a mesma preenche mais o espaço do que uma linha recta (de dimensão 1). Contudo, a curva de Koch não ocupa o espaço integralmente com uma superfície (de dimensão 2), logo a sua dimensão fractal deverá ter um valor entre 1 e 2.

O cálculo da dimensão fractal (especificamente a dimensão de Hausdorff⁶¹) de um objecto é definido por:

$$N = M^D \quad (8)$$

⁶¹ A dimensão de Hausdorff é apenas uma das formas de se calcular a dimensão fractal. No de correr do trabalho apresentar-se-á outro método para estimar a dimensão fractal, especificamente para objectos com dimensão fraccionária entre 1 e 2.

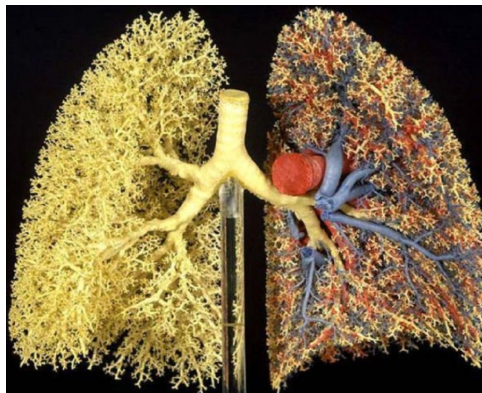
Onde N é o número de segmentos que estão englobados no segmento maior, M o factor de escala e D a dimensão fractal. Como o que se pretende achar é a dimensão fractal teremos que resolver a equação (8) em função de D :

$$D = \log N / \log M \quad (9)$$

No caso da curva de Koch $D = \log 4 / \log 3 = 1.2618$.

O estudo do comportamento fractal de objectos tem conhecido, nas últimas décadas, um grande desenvolvimento dada a diversidade de aplicações. Na verdade, e além das propriedades de auto-similaridade, os fractais ocupam o espaço, em superfície ou em volume, de uma forma que maximiza a utilidade desse mesmo espaço. Isto fica patente em muitos objectos encontrados na natureza e que apresentam uma geometria fractal, como é o caso, por exemplo, da organização dos brônquios num pulmão de um ser humano (Figura 16), ou o seu sistema circulatório. Ambos apresentam estruturas hierárquicas e embora as partes não sejam auto-selhantes no sentido matemático do termo, apresentam um comportamento de auto-similaridade estatística.

Figura 16 – Pulmão humano



Nota: do lado esquerdo a árvore brônquica e do lado direito a mesma árvore juntamente com as artérias e veias pulmonares.
Fonte: <http://www.european-lung-foundation.org/index.php?id=156>

Entende-se, então, que a forma como os objectos fractais preenchem o espaço terá uma relação com a função que determinado objecto desempenha. Ainda no caso do pulmão humano é possível encontrar artigos de investigação onde se procura estabelecer a razão para a mudança da dimensão fractal com a idade de cada indivíduo e com o facto de existir presença de doença pulmonar no mesmo ou não (Witten *et al.*, 1997).

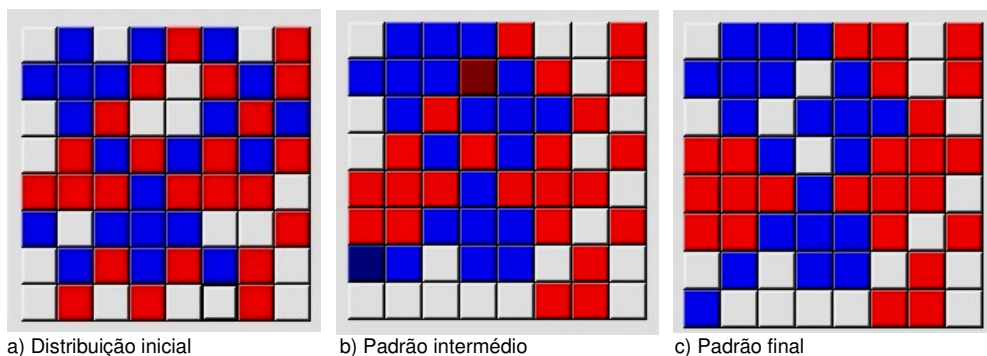
Se por um lado a análise da dimensão fractal dos objectos nos permite uma melhor compreensão da sua natureza, o facto é que é necessário compreender também os processos que estão na génese desses mesmos objectos. Constituindo muitas vezes sistemas complexos, a formação de comportamentos ou estruturas fractais (no espaço e no tempo) decorrem de toda uma miríade de dinâmicas características dos sistemas complexos que temos vindo a apresentar. Exemplo de particular importância para a discussão que efectuaremos no capítulo 3 é a relação que se

estabelece entre, por exemplo, determinados padrões espaciais e os micro comportamentos das entidades envolvidas.

Esta questão assume real importância quando falamos por exemplo nas sociedades humanas e na espacialização das suas ações no território. Cada entidade é um indivíduo capaz de raciocínio, imaginação e vontade própria, e embora influenciado pelo meio que o encerra é também capaz de o influenciar. Foi neste sentido que, em 1969, 1971 e 1978, Thomas C. Schelling desenvolve um modelo com o qual procurou explorar a relação entre as características comportamentais dos indivíduos que compreendem o agregado social, e as características desse mesmo agregado (Schelling, 1978:13). A diferença fundamental dos sistemas sociais incide no que Schelling (1978) denomina de comportamento contingente - o comportamento dependente das ações de outros indivíduos. A nível territorial, o comportamento contingente dá muitas vezes origem a padrões de segregação social (seja religioso, económico, de raça, etc.) resultado das opções de cada indivíduo, embora sem o intuito prévio de alcançar tal padrão. Ou seja, a agregação é o resultado deste tipo de comportamento mas as decisões são individuais (Schelling, 1978:145).

Partindo destas questões Schelling desenvolve o seguinte modelo: numa grelha de $n \times n$ células são distribuídos aleatoriamente⁶² dois tipos de agentes, por exemplo azuis e vermelhos. A grelha representa (por exemplo) uma cidade, enquanto o par de agentes pode representar um qualquer grupo dentro de uma sociedade e cada agente será o centro de um agregado com 3×3 células (8 vizinhos). Cada agente decide o seu grau de "satisfação" de acordo com um conjunto de regras determinadas, por exemplo se 33% ou mais dos seus vizinhos não forem da mesma cor, então poderá considerar-se insatisfeito. Se o agente não estiver "satisfeito" irá mover-se do seu local e procurar a célula vazia mais próxima que lhe permita obter o grau de "satisfação". Caso esteja "satisfeito" permanecerá na mesma posição (Figura 17).

Figura 17 – Modelo de Schelling⁶³



A cada iteração observa-se que o padrão inicial se modifica com tendência a apresentar uma maior concentração de agentes da mesma cor, resultando num agregado final segregativo entre azuis e

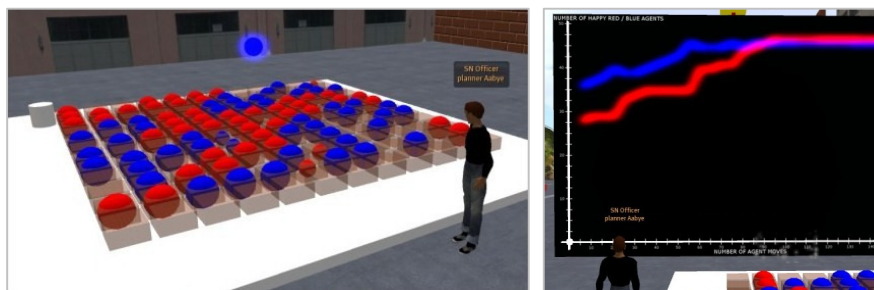
⁶² A distribuição inicial pode também consistir num padrão específico que não o aleatório.

⁶³ As figuras foram criadas com recurso à aplicação desenvolvida por Chris Cook, de acesso gratuito em: <http://econ2.econ.iastate.edu/tesfatsi/demos/schelling/schellhp.htm#intro>

vermelhos. Cada agente “insatisfeito” irá mover-se para um local que o favoreça, porém a sua decisão terá implicações directas e indirectas quer no local que deixa, quer no local para onde se move. O movimento de um só agente pode dar origem a uma reacção em cadeia (Schelling, 1978:150) que provocará noutros agentes a necessidade de mudança, mesmo que inicialmente apresentassem bons graus de “satisfação”. Como curiosidade apresenta-se na Figura 18 uma aplicação do mesmo modelo embora enquadrado no *Second Life*, desenvolvida no CASA (Centre for Advanced Spatial Analysis), da University College of London, por Andrew Crooks, Andrew Hudson-Smith e Joel Dearden.

Os padrões resultantes do modelo de Schelling comprovam, mais uma vez, a ideia de que os comportamentos emergentes complexos podem, por vezes, resultar de regras bastante simples. A emergência de tais comportamentos decorre da multiplicidade do número de agentes envolvidos e das cadeias de interacções que se formam no tempo e que muitas vezes se materializam no espaço ou especificamente no território.

Figura 18 – Modelo de Schelling no Second Life



Nota: na figura da esquerda a grelha base do modelo. O tamanho dos agentes varia em função do seu grau de satisfação (será maior quanto maior for o seu grau de satisfação com a presente localização). Na figura da direita o gráfico do número de agentes (em x) pelo seu grau de satisfação (em y) no decorrer do modelo. Um vídeo da dinâmica do modelo pode ser visto em: <http://www.casa.ucl.ac.uk/abm/secondlife/seg.asp>.

1.2.9. Dependência de eventos passados

Subindo na escala dos comportamentos agregados de uma sociedade facilmente constatamos que o(s) sistema(s) económico(s) são também em si mesmos sistemas complexos que exibem comportamentos emergentes e se auto-organizam em função dos comportamentos individuais. Nestes, os agentes não são necessariamente e apenas indivíduos mas podem também ser empresas ou grupos empresariais e é neste sentido que Brian Arthur aplica a teoria da complexidade à Economia.

Numa abordagem aos sistemas dinâmicos complexos, Arthur (1989) defende que se deve aceitar a possibilidade de existência de “eventos aleatórios” que ocorrem durante o processo de adopção de uma dada tecnologia e como estes podem influenciar o processo de selecção. O autor designa-os como eventos históricos. Quando estes eventos, de início de pequena escala, se acumulam, os seus efeitos a longo prazo serão ampliados, remetendo-nos para a não-previsibilidade e questionando o potencial de um dado produto tecnológico. A ineficiência do potencial pode resultar

da presença de retornos crescentes (*feedback positivo*) nos sistemas económicos, dando origem a que uma tecnologia com menor potencial consiga conquistar o mercado em detrimento de uma tecnologia com maior potencial. Quando isto acontece surge uma nova propriedade, a da inflexibilidade, no sentido em que esta tecnologia ganha força e reforça a sua posição no mercado, i.e., torna-se progressivamente mais fixa (*locked-in*). Isto revela-nos que os sistemas não são ergódicos⁶⁴, na medida em que os pequenos eventos não são anulados (por via de retornos decrescentes – *diminishing returns*), nas palavras de Arthur (1989) estes podem mesmo decidir o desfecho da dinâmica. A “história” do percurso tomado é desta forma determinante.

A forma como o sistema de gravação VHS dominou o mercado sobre o sistema Betamax é um dos exemplos clássicos sobre a importância de factores aleatórios ou acaso na evolução dos sistemas, apresentado por Brian Arthur (1990). Este explica como o VHS dominou o Beta através dos retornos crescentes (*increasing returns*): Ambos os formatos existiam no mercado com preços semelhantes, estando cada um sujeito a retornos crescentes e a um crescimento da partilha do mercado: um elevado número de gravadores do formato VHS vão encorajar o aumento de um maior número de cassetes VHS pré-gravadas, aumentando assim o valor de ter um vídeo VHS e levando a que mais indivíduos comprem um (e a mesma lógica é aplicada ao sistema Beta). À medida que os dois sistemas competem, uma pequena diferença na quota de mercado pode ajudar um dos sistemas a aumentar a sua posição, consolidando a sua posição de liderança. Tendo partido de posições similares, no que diz respeito a quotas de mercado, preço e momento de introdução do mercado, as flutuações ocorridas, num mercado inicialmente instável, devido a diversos factores levaram a um acumular de vantagens que terminou com a liderança total do VHS. Seria impossível determinar qual dos dois sistemas ganharia a competição apenas com a informação de partida do sistema.

«Furthermore, if the claim the Beta was technically superior is true, then the market's choice does not represent the best economic outcome.» (Arthur, 1990:3).

Importa especificar que Arthur (1989) entende por eventos históricos, aqueles que resultam da incapacidade do observador em obter e analisar toda a informação que caracteriza o momento que observa. Por exemplo, no artigo publicado em 1989, intitulado *Competing Technologies, Increasing Returns, and Lock-In by Historical Events*, apresenta o caso de tecnologias em competição onde não temos o conhecimento absoluto das circunstâncias que antecederam a observação, e que podem influenciar a escolha dos agentes de uma ou outra tecnologia, nomeadamente, os interesses políticos, a experiência prévia dos agentes de desenvolvimento, data dos contratos e as decisões tomadas em reuniões determinantes.

«(...) increasing returns can cause the economy gradually to lock itself in to an outcome not necessarily superior to alternatives, not easily altered, and not entirely

⁶⁴ A Teoria Ergódica é um ramo da Física-Matemática e estuda as propriedades qualitativas das acções de grupos em um qualquer tipo de espaço (Walters, 1982).

predictable in advance. (...) competition between economic objects – in this case technologies – takes on an evolutionary character, with a ‘founder effect’ mechanism akin to that in genetics. ‘History’ becomes important» (Arthur, 1989:128).

A interacção entre os agentes e a sua tomada de decisões dependem assim dos mecanismos de aprendizagem, de cognição e de adaptação (Arthur, 1992). O conjunto destes mecanismos e das interacções entre os agentes afastam a dinâmica dos sistemas de soluções únicas, ordenadas e previsíveis, na medida em que estas requerem: a) um conhecimento total do problema; b) uma capacidade perfeita para a computação da solução; c) uma única solução e d) o conhecimento de que os restantes agentes operam segundo a) e b) (Arthur, 1992:4). A noção do indivíduo racional utilizado na teoria económica clássica é colocada em causa perante a impossibilidade de se reunirem as condições mencionadas em todos os agentes a todo o tempo.

«(...) I believe that what humans actually use in these contexts is inductive reasoning: they recognize patterns; construct representations and internal models based on these; use these as working hypotheses, possibly carrying out a good deal of deduction based on them; and strengthen or replace them as they receive feedback from their environment. If this is true, learning and adaptation are no longer addenda to the core theory, they become central to it in problems of high complexity.» (Arthur, 1992:24)

O conjunto de relações gerado produz diferentes espaços de possibilidades que representam, segundo Ashby (1962) a incerteza do observador. Desta forma, o espaço poderá mudar se o observador também mudar e dois observadores podem usar diferentes espaços de possibilidades. A relação estabelecida entre o observador e o observado constitui um constrangimento à comunicação entre os componentes do sistema. Assim sendo, o estudo da ordem e das organizações emergentes incidirá nas propriedades que não são intrínsecas aos objectos mas que resultam das interacções entre os observadores e os objectos.

Será no conjunto desta relação entre observadores e observados que se desenvolvem também processos de cooperação subjacentes à formação de agregados. Axelrod e Bennett (1993) desenvolveram um enquadramento teórico denominado de *Landscape theory*, com a qual procuraram analisar a forma como determinados agentes cooperam formando alianças, em detrimento de outros agentes. Através desta teoria e com base nos modelos baseados em paisagens de *fitness* ou de energia, os dois autores procuraram desenvolver um modelo que permitisse simular os grupos de alianças que se formaram na II Grande Guerra Mundial, a partir de um conjunto de factores como etnia, religião, disputas territoriais, ideologia, economia e História (Axelrod e Bennett, 1993; Ball, 2003:358). Os resultados do modelo devolveram duas configurações possíveis, embora a de mais baixa energia (a melhor configuração) se assemelhasse de forma bastante realista ao que acabou por acontecer: os Aliados compreendiam a Inglaterra, a França, a Checoslováquia, a Dinamarca, a União Soviética, a Jugoslávia e a Grécia e o Eixo era formado pela Alemanha, Itália, Polónia, Roménia, Hungria, Portugal, Finlândia, Letónia, Lituânia, Estónia.

Dada a diversidade de áreas, exemplos e sistemas com comportamento característico de complexidade, Binder (2008) identifica um factor comum a amplas áreas de conhecimento e aplicação desta abordagem, aquilo a que chama *frustração*. Por *frustração* entende a acção de forças muitas vezes opostas e defende que a essência da complexidade pode residir precisamente neste ponto, ou seja, um sistema sem *frustração* dinâmica apresentará dois tipos de comportamentos, ou estabiliza num equilíbrio⁶⁵ ou irá crescer sem limites (Binder, 2008:322).

As ideias de Binder (2008) são apoiadas por Wolpert (2008) numa resposta na *Science* ao artigo de 2008 de Binder. Wolpert (2008) acrescenta que o estudo sobre o que é comum a sistemas complexos de diferente natureza pode ser conseguido pela medida e entendimento da propriedade de auto-semelhança, comum em processos livres de escala.

«One of the chief results so far achieved by theoretical work in these fields [ciências sociais] seems to me, indeed, to be a demonstration that here individual events regularly depend on so many concrete circumstances that we shall never be in a position to ascertain them all (...).» (Hayek, 1964:343).

1.2.10. Síntese

Em forma de síntese apresentamos os sete princípios dos sistemas complexos, definidos por Morin (2003), nomeadamente:

1. *O princípio sistémico ou organizacional* - permite a união do conhecimento das partes e do todo, consagrando o aforismo de que *o todo é mais do que a soma das partes*. Morin acrescenta que, simultaneamente, o todo é menos do que a soma das partes, uma vez que a organização de conjunto das entidades que compõem o todo inibe determinadas características identitárias das partes;
2. *O princípio "hologramático"* - não só as partes estão compreendidas no todo, mas também este está inscrito nas partes, por exemplo, a sociedade está presente em cada indivíduo;
3. *O princípio do ciclo retroactivo* – sistemas que se influenciam a si próprios, auto-regulando-se a partir de mecanismos como a retroalimentação (*feedback*) positiva (amplificando os desvios ao estado inicial do sistema) e negativa (onde os desvios são minimizados e atenuados de forma a manter o equilíbrio do sistema);
4. *O princípio do ciclo recorrente* – engloba as noções de auto-reprodução e auto-organização. A primeira no sentido em que os sistemas são eles próprios reprodutores e criadores de matéria e a segunda em que as próprias entidades do sistema se organizam dando coerência e significado às estruturas das mesmas. Morin dá como exemplo de

⁶⁵ Os sistemas em equilíbrio são sistemas em que depois de estabilizarem, minimizando a energia potencial, não é necessário nenhum acrescento de energia para os manter. Já os sistemas em não-equilíbrio requerem uma fonte de energia constante para manter a estrutura ordenada. Exemplo do primeiro retirado de Kauffman (1996) é uma bola numa taça que rola até parar. Já o exemplo do segundo é a mancha de Júpiter.

auto-reprodução a própria espécie humana e para a segunda as sociedades que são simultaneamente o resultado das interações humanas mas também “produzem” essas mesmas interações, o que segundo as palavras do autor *produz a humanidade dos indivíduos*.

5. *O princípio de auto-ecoorganização (autonomia/dependência)* – por auto-ecoorganização Morin entende a eterna dicotomia entre a morte e a vida, no seu sentido mais amplo de ambos os termos. A complementaridade entre ambas permite aos sistemas uma renovação constante, como o ciclo da pele humana com a substituição de células mortas por novas células. A autonomia dos sistemas, sob a forma da auto-reprodução, é assim também, e simultaneamente, a sua dependência;
6. *O princípio dialógico* – este é, talvez, o princípio mais elegante do pensamento complexo! A aceitação das contradições porquanto nos deparamos com a ordem no caos ou a relação da ordem com a desordem, do “equilíbrio desequilibrado”, daquilo que no fundo permite a existência de vida...um sistema em permanente equilíbrio é um sistema morto. De acordo com as palavras de Morin, parece existir alguma indicação que estamos na presença de um novo paradigma: «*aceitar racionalmente a associação de noções contraditórias para conceber um mesmo fenómeno complexo (...). O pensamento complexo aceita dialogicamente os dois termos [a desordem e a organização; o indivíduo e a sociedade], que tendem a se excluir um ao outro*» (Morin, 2003. 75). Mas será que o pensamento complexo é ele auto-reprodutor, adaptativo e que pode dar origem a novas formas de pensamento que não são possíveis para já de antever? Nesta matéria introduzimos a reflexão de Dobuzinskis⁶⁶ (2004:434) que reflecte precisamente sobre o pensamento de Morin exclamando que é praticamente impossível falar acerca de algo, incluindo complexidade e dinâmica não linear, numa forma perfeitamente não linear! Decorrente destas reflexões lançamos nós a questão se a Complexidade inclui em si mesma o seu próprio fim.
7. *O princípio da reintrodução do conhecido em todo o conhecimento* – com este princípio Morin defende que a Ciência atinge com o pensamento complexo uma força unificadora que nunca teve, i.e., a possibilidade de reunir e distinguir conseguindo uma complementaridade com o pensamento simplificador decorrente da abordagem reducionista que durante longo tempo marcou o desenvolvimento científico e da produção de conhecimento em geral.

⁶⁶ No seu artigo Dobuzinskis (2004) explora na primeira parte a forma como Edgar Morin tem contacto com estudos em complexidade, oriundos, sobretudo da Física, Biologia e cibernética, e como a partir deles desenvolve toda uma obra que influenciou a forma como a complexidade foi transmitida à comunidade científica em geral, sobretudo da Europa. Numa segunda parte o autor apresenta a sua crítica à grande obra filosófica de Morin sobre o pensamento complexo. Numa primeira crítica, Dobuzinskis chama a atenção ao facto de que na tentativa de estabelecer conexões entre as ciências humanas e a Física ou a Biologia esquece-se de tomar uma exploração importante como as conexões entre a filosofia e as ciências humanas (Dobuzinskis, 2004:444). As questões exploradas por Morin procuram restringir-se ao nível epistemológico, mas segundo Dobuzinskis, os problemas que emergiram da sua obra *La Méthode*, levantam grandes problemas de base ontológica que Morin não aprofundou, como por exemplo o Tempo. A dependência do caminho tomado por um sistema implica, de acordo com esta segunda crítica, que exista uma confrontação entre as noções de tornar-se (*becoming*), de potencialidade (*potentiality*), etc., e as suas relações com a temporalidade. Como entender a condição humana se em vez de sermos, somos potencialmente?

Da exposição apresentada fica patente que o estudo de sistemas complexos obriga ao desenvolvimento de técnicas e ferramentas apropriadas que permitam a conjugação de uma grande número de variáveis ou dinâmicas. A modelação, suportada na computação, tem sido, e continuará a ser, o caminho a tomar para que, como afirma Dobuzinskis (2004), o conhecimento científico não fique confinado a formas de discurso metafóricas e qualitativas.

«At some point, the philosopher of science must modestly step aside» (Dobuzinskis, 2004:449).

A aplicação, em Geografia, do estudo dos sistemas complexos tem conhecido um crescendo nas últimas duas décadas, embora o mesmo não se tenha passado na Geografia portuguesa – situação que tem contribuído para que a teoria da complexidade permaneça ainda na obscuridade no seio da Geografia portuguesa, ao contrário do que acontece nas ciências exactas em Portugal. Assim, o caso de estudo que se apresentará no capítulo 3 (antecedido pela caracterização da área de estudo, no capítulo 2), será precedido da apresentação de casos de estudo internacionais, na Geografia, e com os quais se procurou estabelecer paralelos com algumas das características e conceitos até aqui apresentados.

2. EVOLUÇÃO DAS ÁREAS CONSTRUÍDAS NA AMLNORTE I: CARACTERIZAÇÃO E METODOLOGIA

O crescimento e evolução das cidades⁶⁷ têm sido, desde longa data, duas temáticas alvo de investigação em Geografia. A(s) cidade(s), ou a área(s) urbana(s) são o resultado da acção antropogénica e neste sentido são objectos físicos e tangíveis na sua expressão mais imediata, mas são também objectos intangíveis capazes de demarcar fortemente o meio cultural, económico e sociológico que encerram. São, assim, objectos estruturados em diferentes escalas, desde o indivíduo, como o elemento mais fino que pertence ao conjunto, até aos sub-conjuntos que se formam por processos de agregação, de maior ou menor dinâmica, e que estabelecem as diferentes dimensionalidades da cidade ou do espaço urbano. O indivíduo molda a cidade mas é também moldado por esta, naquilo que a mesma traduz da auto-organização que a forma.

As áreas construídas de uma cidade, ou de um qualquer território, são a dimensão física mais imediata que traduzem processos de organização territorial que decorreram no tempo. Assim, a presente tese terá como objectivo a análise do crescimento do conjunto das áreas construídas da margem Norte da actual Área Metropolitana de Lisboa (AMLNorte).

Como principal pressuposto de partida assume-se que a área de estudo é um sistema complexo e que como tal a identificação e análise de algumas propriedades destes sistemas podem aumentar o conhecimento sobre o crescimento e expansão do tecido construído. As propriedades a identificar são i) a não linearidade na distribuição das áreas construídas, ii) a auto-organização na origem de hierarquias espaciais de áreas construídas e iii) a dimensão fractal.

Para este fim apresentamos de seguida o conjunto de pressupostos que suportam toda a investigação desenvolvida:

- a) Que o objecto de estudo (áreas construídas) requer o reconhecimento de que a sua evolução é sempre um elemento do espaço-tempo, embora, por vezes, seja necessária a sua separação em duas dimensões dadas restrições metodológicas. Por implicação, esta perspectiva assume que o espaço deverá ser relativo e não absoluto⁶⁸, na medida em que

⁶⁷ A definição de cidade tem sido, ela própria, objecto de análise e investigação ao longo dos anos, facto que em si mesmo revela a dificuldade da tarefa. Comumente a cidade é definida em termos de grandes concentrações de população e actividades (R. Davis, 1973; Saunders, 1986, citados por Hubbard, 2006). A dimensão física, ou as formas de vida da população são também formas que permitem identificar uma cidade, distinguindo-a, por exemplo, do espaço rural. Contudo, as transformações socioeconómicas ocorridas, principalmente no último século, têm transferido muitas formas de vida urbana também para o espaço rural, tornando a delimitação entre estes dois tipos de espaço difícil de concretizar. O estudo da cidade como unidade ou conjunto morfológico permite também criar uma bateria de indicadores, contudo, não só se levantam problemas metodológicos como onde traçar o limite da cidade, ou a sua fronteira (ex. qual a percentagem de área ocupada contínua a considerar), mas também problemas concretos de definição já que as cidades, embora sejam fenómenos globais são simultaneamente objectos com especificidades próprias locais, e a diferentes morfologias cabem diferentes tipologias de cidades. Hubbard (2006) refere que esta problemática se espelha na forma como a sub-disciplina da Geografia urbana se tem diluído em sub-matérias com forte grau de especificidade, como são exemplo, a Geografia cultural, a Geografia económica, a Geografia da população e toda a multiplicidade de estudos sectoriais que embora decorram no âmbito da cidade, não são tidos como estudos sobre a cidade em si mesma.

⁶⁸ Esta acepção resulta também de trabalhos prévios da autora, nomeadamente em Encarnação (2004).

este último limita o espaço a uma superfície onde se localizam objectos. Já o primeiro é também o resultado dos objectos que congrega e da forma como estes interagem.

- b) Que a análise de qualquer tipo de crescimento implica necessariamente a existência de um conjunto de séries temporais. Contudo, a importância de uma série temporal no estudo da evolução das áreas construídas vai para além da mera quantificação das taxas de mudança entre dois momentos temporais. A importância dos eventos passados nas dinâmicas futuras é cabalmente enunciado pela teoria da complexidade e sobretudo por este princípio que destacamos a necessidade do conhecimento do território no passado, i.e., a História retém elementos fundamentais que nos permitem perceber o presente.
- c) Que, face às fortes limitações na aquisição de dados empíricos necessários, quer a nível espacial, quer a nível temporal, deve assumir-se desde já uma forte incerteza nos estudos a desenvolver. Esta incerteza não se dirige aos dados utilizados ou à metodologia empregue (embora também relativamente a estas se apresente a crítica necessária no decorrer do texto), mas sim à impossibilidade de estudar várias escalas espaço-temporais. Ou seja, assume-se que a evolução das áreas construídas apresenta, por exemplo, várias velocidades, que a escala temporal pode ser decomposta em diferentes resoluções. Diferentes tipos de mudança ocorrem em diferentes classes de uso e ocupação do solo, umas mais rápidas do que outras, porém, a escala temporal de registo dos dados obriga a que sejam tratadas de igual forma (An e Brown, 2008:328).
- d) A funcionalidade dos espaços construídos pode ser classificada em diferentes categorias de uso e/ou ocupação do solo, como sejam, áreas residências, áreas comerciais, etc. A definição da resolução semântica a utilizar deverá ser ajustada aos objectivos de cada análise e modelo. O número e tipo de classes podem ter um forte impacto nos modelos que procuram determinar os processos na base das mudanças registadas (Conway, 2009). Não obstante, Conway refere também que a inclusão de um maior número de classes poderá provocar um aumento de complexidade do modelo que poderá não ser necessário. De facto, Conway (2009) refere que se deverá começar o processo de modelação com uma resolução de largo espectro e no processo de validação verificar se os erros encontrados estão associados à estocasticidade dos processos de mudança ou se pelo contrário resultam de uma fraca adequação dos processos sob investigação às categorias de uso/ocupação do solo representadas (Conway, 2009.276). O autor defende que se o objectivo do modelo é capturar os padrões da expansão urbana, então, utilizar apenas uma classe de ocupação do solo poderá ser o suficiente.

A escolha de analisar e modelar apenas as manchas de construído (o que se traduz apenas em duas classes de ocupação do solo: construído e não construído) encontra eco no trabalho desenvolvido por Conway. Porém, as razões que consubstanciam esta escolha são também de ordem teórica. Por exemplo, um dos objectivos da investigação é modelar o crescimento das áreas construídas com recurso a um pequeno conjunto de variáveis e parâmetros. Contudo, sabemos que a estrutura interna destas áreas engloba uma multiplicidade de factores e padrões de ordem espacial, social, ambiental e

económica. Uma vez que se assume aqui que os territórios são entidades complexas que emergem e evoluem no tempo, será possível afirmar que existe uma independência entre a forma e os processos entre escalas e que por isso o comportamento de algumas escalas não são passíveis de serem antecipadas no tempo? Em caso afirmativo como pensar então as medidas de planeamento e ordenamento do território no que diz respeito ao incentivo ou à contenção da expansão das áreas construídas no território?

- e) Por fim, assume-se que a investigação desenvolvida centrou-se apenas num território e não apresentará comparação de resultados para diferentes espaços metropolitanos. Por esta razão, não será possível concluir nenhum aspecto sobre uma possível universalidade dos resultados, embora se possam colocar algumas hipóteses neste sentido. Os mesmos deverão ser lidos no contexto da realidade da AML e não mais que isso, embora não implique que de futuro não se procure a transposição da metodologia para outras realidades metropolitanas.

Dados os objectivos e pressupostos supracitados a exposição da investigação desenvolvida será dividida em duas grandes partes. Na primeira (capítulo 2), e que se apresentará de seguida, será elaborada, no primeiro sub-ponto, uma síntese de caracterização da área de estudo, com o intuito de contextualizar o conhecimento sobre a mesma no que diz respeito às suas transformações principais.

O segundo sub-ponto tem como objectivo a apresentação e descrição das metodologias utilizadas na aquisição e processamento dos dados e informação de base (como a construção e uniformização da base dados das áreas construídas de 1960, 1990 e 2004, assim como das variáveis em análise), necessárias à prossecução dos objectivos anteriormente enunciados.

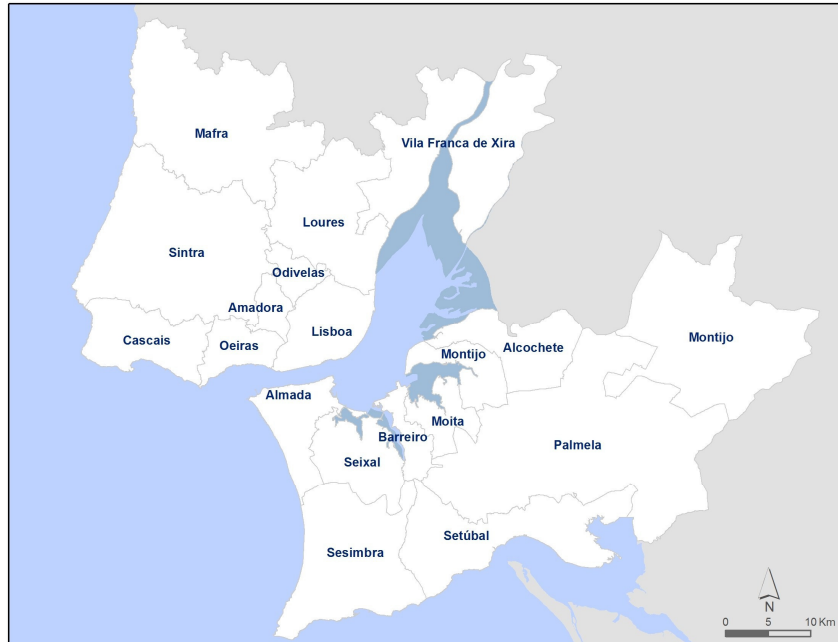
A segunda parte será apresentada no capítulo 3, no qual serão desenvolvidos e analisados os objectivos da presente tese, anteriormente enunciados.

2.1. Caracterização geral da evolução da ocupação do território da AMLNorte

A área de estudo escolhida está integrada no limite da Área Metropolitana de Lisboa (AML), definido na Lei n.º 46/2008, de 27 de Agosto. A extensão territorial da AML compreende as NUTS III da Grande Lisboa e da Península de Setúbal, sendo constituída por um total de 18 concelhos⁶⁹ (Figura 19) e ocupando uma área de cerca de 2.934,79 km².

⁶⁹ Website da AML: <http://www.aml.pt/index.php?eiLevel1=gamleiLevel2=oQueEeiLevel3=amleiContent=index.html>

Figura 19 – Municípios da Área Metropolitana de Lisboa



O sistema territorial escolhido é caracterizado, de uma forma geral, por particularidades evolutivas que interessam abordar na óptica dos sistemas complexos.

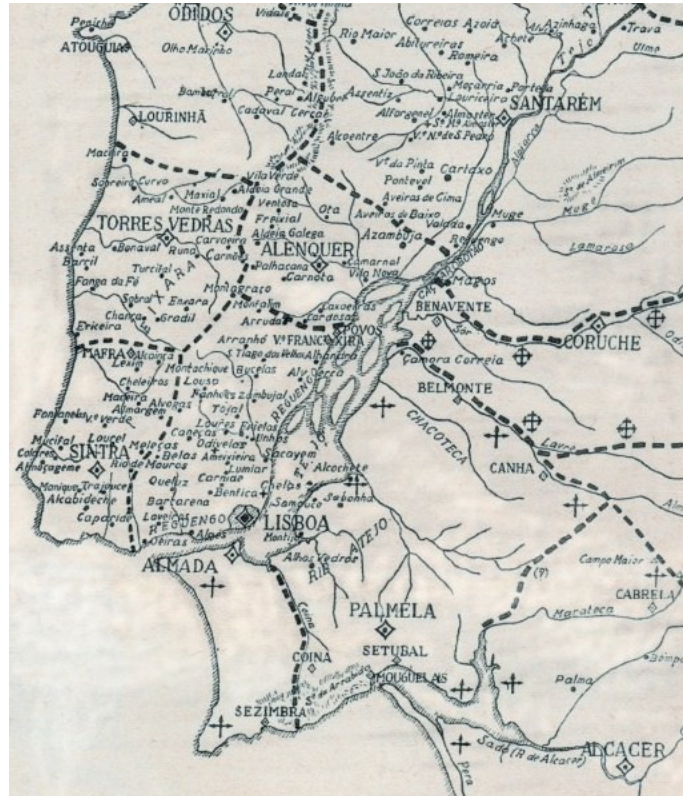
O papel polarizador da cidade de Lisboa na estruturação e na geração de dinâmicas territoriais na região em apreço é ancestral. Lisboa cidade apresentou sempre uma posição central, envolta em territórios que a abasteciam e que dela dependiam. De facto, desde a Idade Média que a demarcação dos termos⁷⁰ de Lisboa, Sintra, Almada e Palmela (Figura 20) conferiu uma estabilidade funcional e territorial que perdurou até aos dias de hoje (Marques, 2003).

«Já os romanos, os primeiros a instituírem uma entidade administrativa – o município – a conceberam numa perspectiva territorial muito mais ampla que a da simples aglomeração ribeirinha. E ao longo de quase dezanove séculos o “termo de Lisboa” teve essa configuração.» (Gaspar, J., 2003:31)

A evolução da cidade de Lisboa é indissociável dos processos de transformação que foram ocorrendo nos territórios que se situam em seu redor, sendo igualmente verdade a relação inversa.

⁷⁰ «Os “Termos” formavam, com os povoados, uma unidade indivisível, não podendo viver uns sem os outros. Eram eles que explicavam a autonomia económica da cidade – relativa, entenda-se – e que constituíam a sua base de defesa» (Marques, 2003:17).

Figura 20 – A região de Lisboa nos séculos XII e XIII



Fonte: Marques, 2003:18

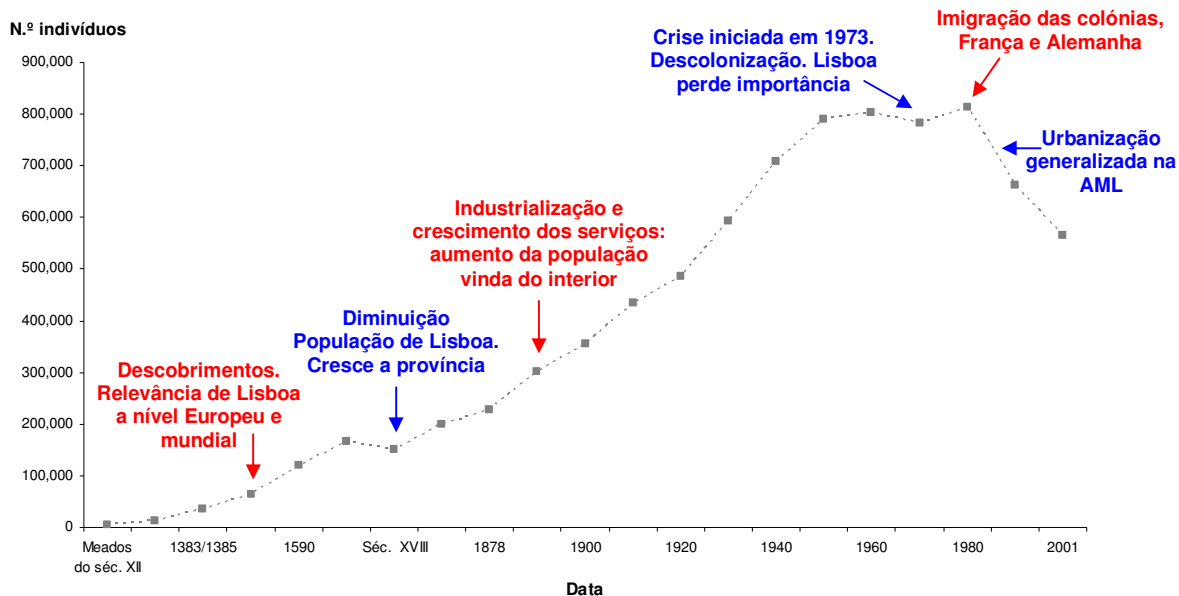
A dinâmica da evolução demográfica da cidade de Lisboa reflecte os grandes ciclos de evolução que de certa forma caracterizaram a evolução do país. Especificamente no território da AML, a hegemonia de Lisboa⁷¹ implica, necessariamente, a existência de interações e de mecanismos de co-evolução que importa ter em conta. Como refere Marques (2003:17), no Século XII a cidade de Lisboa era tão importante como Coimbra, Braga, Évora ou Silves. Porém, cem anos depois, Lisboa possuía 4 a 5 vezes mais população, transformando-se no principal centro económico, político, social e cultural do País. A sua localização geográfica privilegiada, com um excelente porto e uma área interior rica em água doce e em recursos alimentares, assim como o seu posicionamento central entre o Norte e o Sul de Portugal, conferiram-lhe algumas vantagens competitivas e comparativas face aos restantes aglomerados urbanos de maior importância a nível nacional (Marques, 2003:17).

A dinâmica demográfica da cidade de Lisboa conhece assim um aumento generalizado ao longo dos séculos, resultado de processos de desenvolvimento económico, ainda que com ritmos diferenciados (Figura 21).

⁷¹ Referimo-nos aqui à hegemonia demográfica, económica e funcional ocorrida nos últimos séculos e embora, a realidade demográfica da cidade de Lisboa, das últimas décadas, tenha conhecido uma diminuição dos quantitativos populacionais, o facto é que esta mantém ainda uma forte polarização no contexto económico e funcional.

Nos anos mais recentes Lisboa cidade perde capacidade de atracção para as suas periferias, em resultado do processo de urbanização que se alastrou a toda a AML, retirando progressivamente da cidade-centro contingentes demográficos de dimensão relevante.

Figura 21 – Evolução demográfica da cidade de Lisboa⁷²



As dinâmicas demográficas, económicas e funcionais acima mencionadas têm uma tradução espacial no que diz respeito ao território que ocupam. A sua escala máxima de análise é dada pela mancha de construído, quando contrastada com as restantes tipologias de espaço (Figura 22).

Figura 22 – Crescimento da mancha de construído da cidade de Lisboa, séculos XII-XX



Fonte: Marques, 2003:22

⁷² De salientar que o eixo das abcissas não se encontra à escala.

Partindo da representação da mancha de construído da cidade de Lisboa em 1147, e em contraste com o seu limite administrativo actual, facilmente nos deparamos com uma extensa superfície de possibilidades de evolução das áreas construídas. As possíveis configurações do padrão espacial das áreas construídas eram inúmeras. Contudo, a observação dos momentos temporais seguintes permite-nos lançar algumas hipóteses de partida sobre as tendências de ocupação do território, nomeadamente:

1. Até 1750, sensivelmente, a expansão das áreas construídas ocorreu maioritariamente na vizinhança de áreas construídas já existentes e sob uma forma de elevada compactação (entenda-se, à escala do actual limite administrativo da cidade de Lisboa representado na figura). O padrão espacial futuro seria então dependente da História, como o tinha sido no passado.
2. De 1750 até 1950, a estrutura espacial revela já uma tendência de expansão linear, seguindo alguns eixos de via (não representados na figura).
3. A partir de 1950 é notória a colmatagem dos espaços intersticiais nas áreas existentes, com a consolidação do tecido construído.

Porém, o crescimento de Lisboa-cidade não ocorreu de forma independente e isolada dos territórios e periferias envolventes. As interdependências referidas em Marques (2003) e Gaspar (2003) sobre a natureza dos termos da região de Lisboa aludem, desde logo, a este facto. Contudo, e uma vez que é na segunda metade do Século XIX que se registam profundas alterações no funcionamento das sociedades⁷³, com fortes repercussões na ocupação do território, será imediato questionarmo-nos sob as formas de interacção entre centro (Lisboa) e periferias, no que diz respeito ao crescimento das áreas construídas.

Pereira (1986) indica o início da suburbanização na AML na década de 50 do Século XX quando Lisboa-cidade começa a perder peso relativo nos quantitativos populacionais face à periferia, registando-se valores de percentagem da população de 65% em 1940, 62,3% em 1950 e 54,6% em 1960. De referir que a tendência registada por Pereira (1986) até 1960 se manteve nas décadas que se seguiram e perduram ainda hoje (Tabela 1).

Tabela 1 – Percentagem de População Residente, 1960 – 2006

%	1960	1971	1981	1991	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Lisboa	54,6	42,2	32,5	26,3	21,4	20,3	19,7	19,2	18,7	18,2
Margem Norte	81,2	78,0	76,4	74,6	73,1	72,9	72,7	72,6	72,4	72,3
Margem Norte sem Lisboa	26,6	35,8	43,9	48,3	51,8	52,6	53,0	53,4	53,7	54,0
Margem Sul	18,8	22,0	23,6	25,4	26,9	27,1	27,3	27,4	27,6	27,7
AML	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

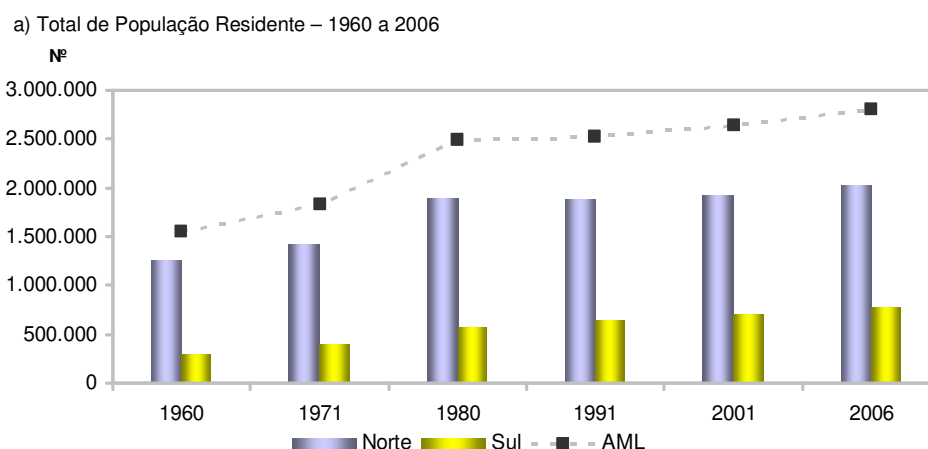
Fonte dos dados originais: X, XI, XII, XIII, XIV Recenseamentos Gerais da População, INE, O País em Números (2008).

⁷³ Alterações estas de cariz social, de reestruturação da base económica, com o aumento da indústria e serviços e diminuição das actividades primárias e, sobretudo, as registadas na evolução tecnológica dos modos e meios de transporte.

O forte crescimento demográfico da periferia é revelado pelo contínuo aumento do peso relativo desta face ao da cidade de Lisboa. A análise dos dados da margem Norte (sem Lisboa) e da margem Sul, revela que, em 2006, os municípios da margem Norte da AML (à excepção de Lisboa) contabilizavam quase 50% do total de população da região e que a margem Sul tem aumentando progressivamente a sua posição relativa.

As alterações do total de população da AML, assim como da sua distribuição territorial, nomeadamente entre centro e periferia, deverão ter necessariamente uma repercussão em variáveis que expressam, de forma indirecta, a interacção da população com o território. No cômputo geral, a análise do total de população residente⁷⁴, do número de edifícios por época de construção⁷⁵ e do número de alojamentos familiares clássicos⁷⁶, permite estabelecer algumas interpretações iniciais⁷⁷ sobre as tendências registadas nas últimas quatro décadas. Em todas as variáveis registou-se um crescimento generalizado desde a década de 60 (Figura 23).

Figura 23 – Totais de População residente, Edifícios e Alojamentos familiares clássicos na AML, margem Norte e margem Sul, 1960 - 2006



⁷⁴ **População residente:** «Indivíduos que, independentemente de no momento censitário - zero horas do dia 12 de Março de 2001 - estarem presentes ou ausentes numa determinada unidade de alojamento, aí habitavam a maior parte do ano com a família ou detinham a totalidade ou a maior parte dos seus haveres» (INE, 2001).

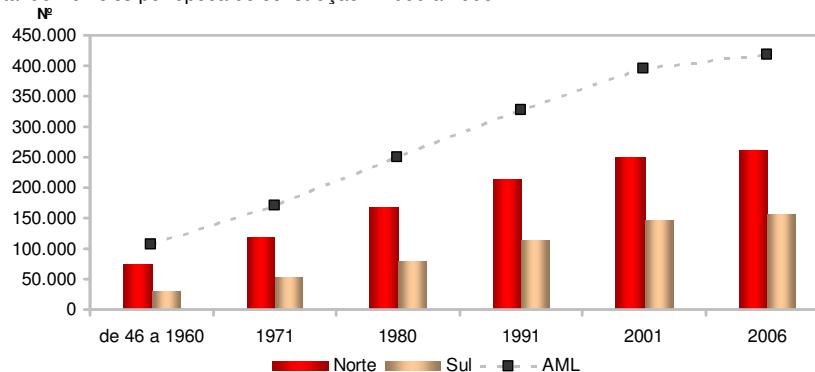
⁷⁵ **Edifício:** «Construção independente, compreendendo um ou mais alojamentos, divisões ou outros espaços destinados à habitação de pessoas, coberta e incluída dentro de paredes externas ou paredes divisórias, que vão das fundações à cobertura, independentemente da sua afectação principal ser para fins residenciais, agrícolas, comerciais, industriais, culturais ou de prestação de serviços» (INE, 2001).

Época de Construção: «O período de construção do edifício propriamente dito, ou o período de construção da parte principal do edifício, isto é, daquela que corresponde à estrutura de suporte, quando diferentes partes de um edifício correspondem a épocas distintas. O período de reconstrução, para os edifícios que sofreram uma transformação completa» (INE, 2001).

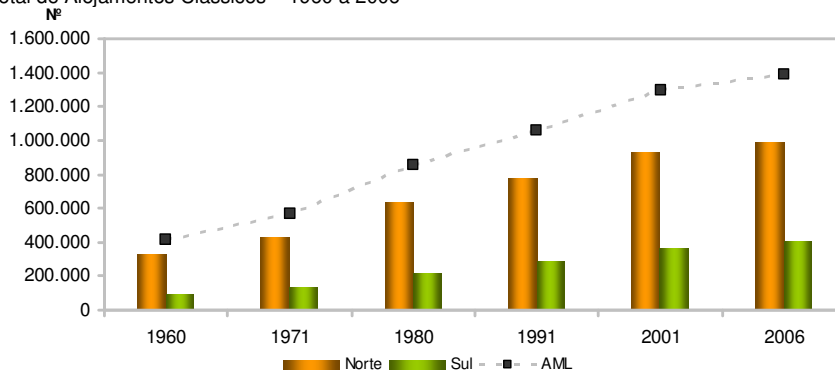
⁷⁶ **Alojamento familiar clássico:** «Unidade de habitação que, pelo modo como foi construída, ou como está a ser utilizada, se destina a alojar, normalmente, apenas uma família. Divisão ou conjunto de divisões e seus anexos que, fazendo parte de um edifício com carácter permanente ou sendo estruturalmente separados daquele, pela forma como foi construído, reconstruído ou reconvertido se destina à habitação permanente de uma família, não estando no momento censitários a servir totalmente para outros fins» (INE, 2001).

⁷⁷ Em ambas as variáveis é possível aumentar o grau de complexidade com: i) o aumento do número de interacções que estabelecem entre si mesmas, por exemplo com a distinção entre os edifícios destinados à habitação e os edifícios destinados ao emprego e ii) o aumento do número de interacções entre estas e outras componentes do sistema territorial como a economia, a cultura, etc. Não obstante a análise será limitada a um nível de complexidade mínimo estabelecido enquanto constrangimento do modelo a construir.

b) Total de Edifícios por época de construção – 1960 a 2006



c) Total de Alojamentos Clássicos – 1960 a 2006



A leitura geral do comportamento destas variáveis no tempo, confirma a relação entre a dinâmica dos quantitativos populacionais e a ocupação do território. Ou seja, o aumento de população provocou nas últimas décadas um aumento do número de edifícios e alojamentos, comportamento que se identifica em ambas as margens, embora seja claro, que até à última data em análise (2006), o comportamento geral da AML seja regido sobretudo pelo comportamento da margem Norte. Da análise do gráfico fica também patente que o crescimento dos edifícios e alojamentos tem sido proporcionalmente superior ao da população. De facto, a taxa de variação entre 1960 e 2006, das três variáveis (Tabela 2), revela-nos que o crescimento do tecido construído não pode ser explicado apenas com o aumento populacional ocorrido.

Tabela 2 – Taxa de variação de População residente, Edifícios e Alojamentos, 1960 – 2006

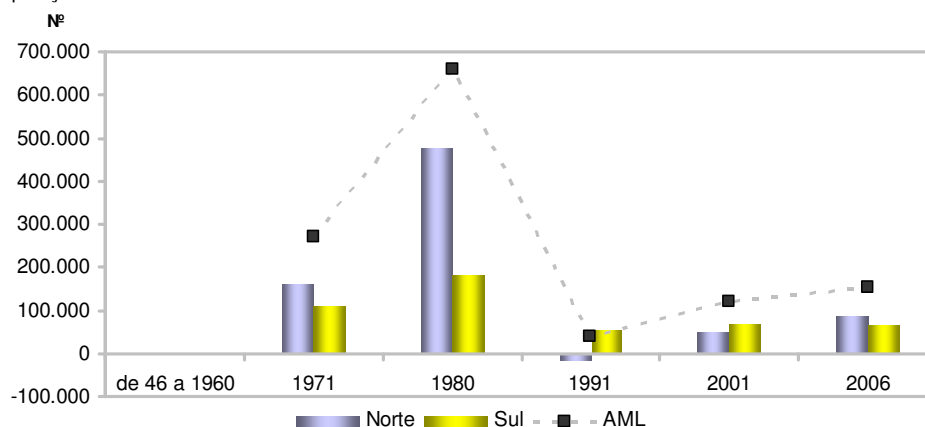
%	População	Edifícios	Alojamentos
AML	80,08	294,94	234,35
Margem Norte	60,25	247,14	202,82
Margem Sul	165,80	412,44	348,80

Os valores apresentados indicam-nos claramente que, no contexto da AML, a população não chegou a duplicar embora o número de edifícios e alojamentos tenham apresentado taxas superiores a 200%. O aumento da capacidade de atracção da margem Sul fica também expresso na forte variação positiva da população total (165%) e nos impressionantes 412% de aumento do número total de edifícios. Um dos factores que deu início à rápida urbanização da margem Sul foi a inauguração da Ponte sobre o Tejo, em 1966, a par, evidentemente, do aumento da taxa de motorização da população. No entanto, o crescimento registado, apesar de gradual, é

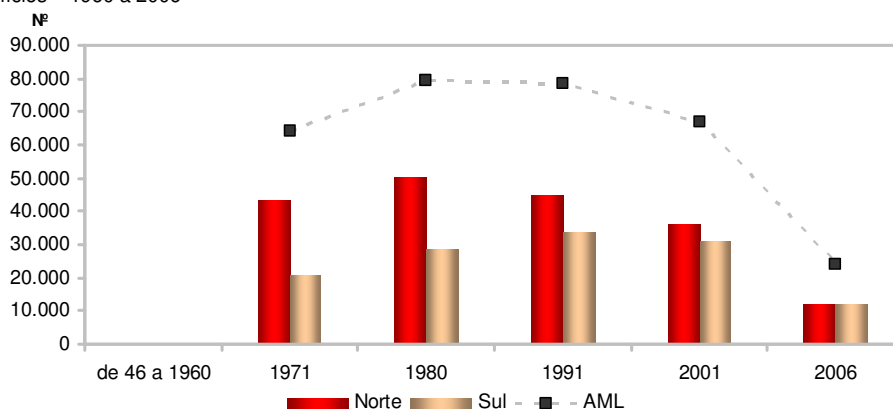
caracterizado por dinâmicas com ritmos diferenciados em cada uma das variáveis, e para cada momento temporal (Figura 24).

Figura 24 – Variação absoluta da População residente, do n.º de Edifícios e nº de Alojamentos familiares clássicos na AML, margem Norte e margem SUL, 1960 - 2006

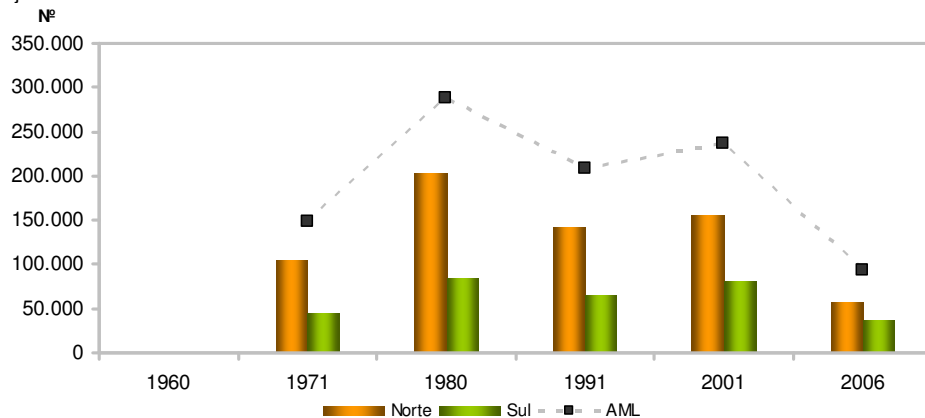
a) População Residente – 1960 a 2006



b) Edifícios – 1960 a 2006



c) Alojamentos Clássicos – 1960 a 2006



Na AML, e durante as décadas que complementam o período em análise, verifica-se que a população residente registou variações bastante diversas, com um aumento atípico registado no Recenseamento Geral da População de 1980 (consequência também do processo de

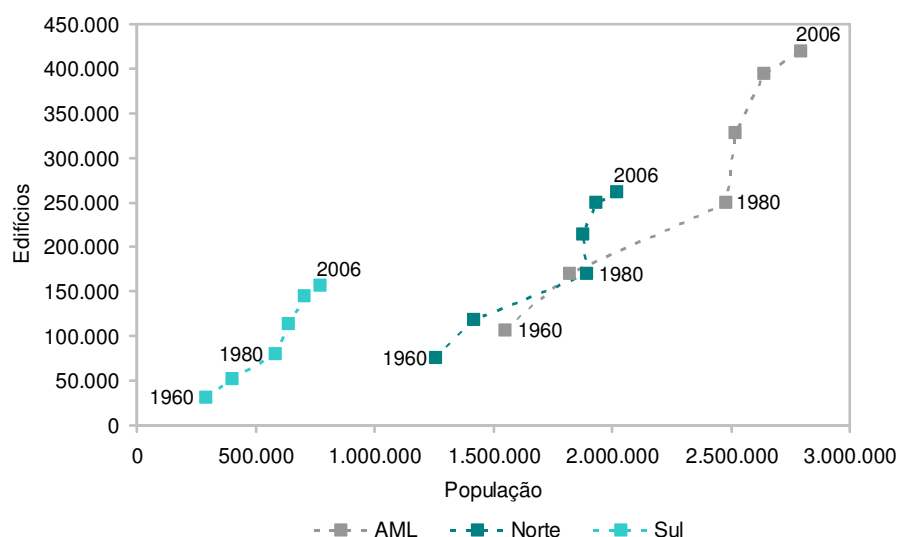
descolonização e regresso de população das ex-colónias), logo seguida de um crescimento muito insípido na década de 90. Este crescimento positivo global deveu-se à entrada de população na margem Sul, o que compensou o menor crescimento da margem Norte. A partir da década de 90 regista-se um novo crescimento geral da população, sendo que as estimativas do INE até 2006 apontam para a recuperação da margem Norte, enquanto subsistema metropolitano que mais recebe população.

O máximo de construção de edifícios e alojamentos foi também registado no Recenseamento Geral da Habitação de 1980. Contudo, ao contrário da população, o número de edifícios construídos na década seguinte manteve-se relativamente estável. A diminuição do ritmo de crescimento regista-se de forma mais visível nos censos de 2001 – 20 anos passados sobre o máximo referido. A queda acentuada entre 2001 e 2006 deve ser lida com algum cuidado na medida em que os dados considerados correspondem a estimativas e reportam-se apenas a metade da década de análise, embora seja provável que estes números reflectam a crise que tem atravessado, nos últimos anos, o sector da construção e do imobiliário⁷⁸. Quanto à variação registada nos alojamentos, verifica-se, desde a década de 80, a tendência para um menor crescimento geral do número de alojamentos, sendo de assinalar a inflexão da curva no Recenseamento de 1991.

Os recenseamentos da população e habitação de 1980 marcam um ponto de viragem nas dinâmicas interactuantes das variáveis em análise, como fica claro na Figura 25.

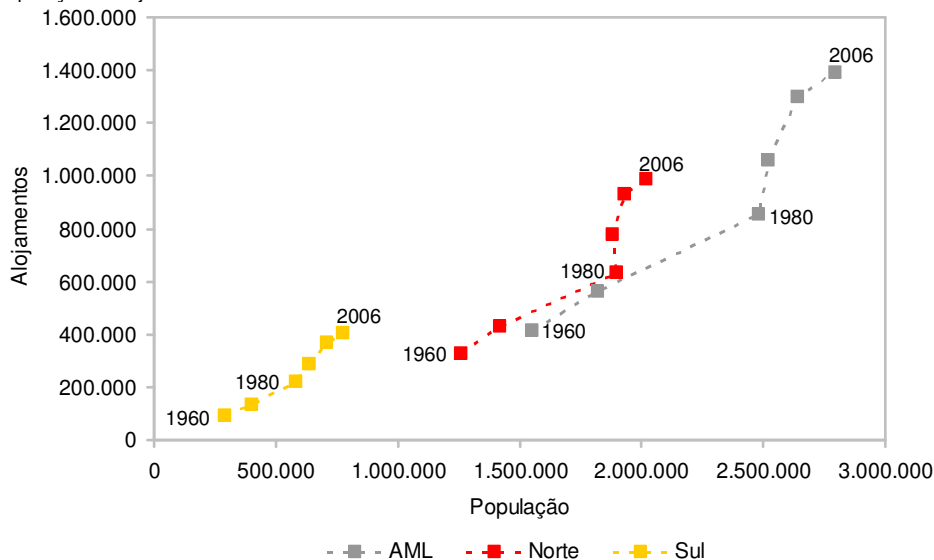
Figura 25 – Relação entre a variação da População residente e a variação do n.º de Edifícios e do n.º de Alojamentos familiares clássicos na AML, margem Norte e margem Sul – 1960 – 2006

a) População e Edifícios



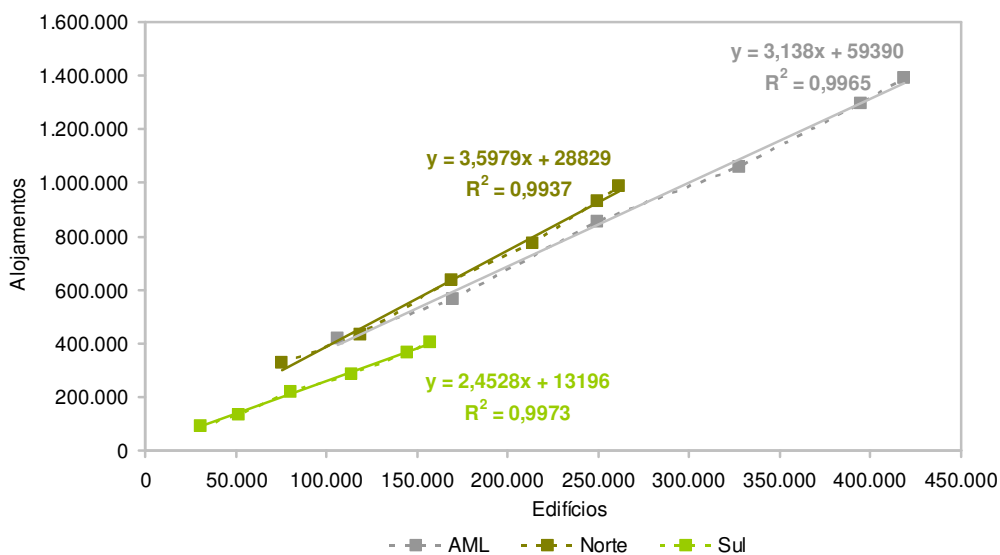
⁷⁸ Resta saber se a crise mencionada não seria espectável face às taxas de variação anteriormente referidas e a capacidade limitada de ocupação característica de um qualquer território.

b) População e Alojamentos



Em ambas as figuras é notório um ponto de inflexão em 1980, quando a distribuição dos pontos assume uma distribuição vertical, implicando que embora o crescimento populacional tenha estabilizado, o mesmo não se passou com a construção de edifícios e alojamentos. Este comportamento é mais significativo na margem Norte, embora também seja registado na margem Sul. Nesta última, o grau de inflexão da distribuição dos pontos parece ser mais significativo na relação entre a população e edifícios do que na relação entre a população e alojamentos. Se para cada edifício pode existir um ou mais alojamentos, então a análise da relação entre edifícios e alojamentos poderá revelar algumas tendências das estruturas espaciais do território (Figura 26).

Figura 26 – Relação entre a variação do n.º de Edifícios e o n.º de Alojamentos familiares clássicos na AML, margem Norte e margem Sul, 1960 a 2006



Embora os dados referentes ao edificado incluam todas as tipologias de edifícios e não apenas os residenciais, não podemos deixar de reflectir sobre as relações encontradas na figura anterior. As linhas a cheio representam as rectas de tendência linear entre ambas as variáveis para as três

regiões em estudo: AML, margem Norte e margem Sul. Como esperado, existe, de facto, uma relação linear entre o número de edifícios e o número de alojamentos, contudo a inclinação das rectas diz-nos que na margem Norte o ritmo de crescimento de alojamentos face aos edifícios é superior ao da margem Sul. Com isto temos como hipótese que na margem Norte deverão existir mais áreas construídas plurifamiliar do que na margem Sul, face aos valores de 3,60 e 2,45, respectivamente. Estas duas tipologias de ocupação do espaço resultam, na sua maioria, de processos de formação diferenciados e geram localmente estruturas espaciais com diferentes características (Figura 27).

Figura 27 – Tipologias de ocupação do espaço

a) Plurifamiliar



b) Unifamiliar



Fonte: Cabral e Crespo, 2008

Assumindo o pressuposto que estas estruturas locais são parte integrante de um sistema global (aqui cingido à escala metropolitana), admite-se que deverão existir tendências na sua perfusão pelo território. Usualmente classificam-se e caracterizam-se os diferentes tipos de espaços produzidos em uma das seguintes categorias (embora as fronteiras entre estas sejam difíceis de demarcar espacialmente dada a sua natureza *fuzzy*): urbano; subúrbios; peri-urbano e rurano (sendo que as três últimas perfazem o conjunto da periferia de um centro urbano).

A distinção das quatro categorias é fundamentalmente uma questão de grau, na medida em que na sua base subsiste a ideia de distância a um centro consolidado – o urbano. Assim, à medida que nos afastamos do espaço urbano encontramos, por ordem, os subúrbios, o peri-urbano e o rurano. A dimensão física destas categorias de espaço pode ser determinada por exemplo pela distância a um centro, pelo grau de compactação/dispersão das áreas construídas que os determinam, os usos do solo e a sua intensidade. Contudo, as mesmas integram também uma dimensão social e económica como a base produtiva dominante, a interacção com o centro urbano (ou centros, quando na presença de um sistema policêntrico) e a “contaminação” de práticas culturais urbanas em espaços de matiz mais rural.

Pereira (1986) apresenta, em forma de síntese, as principais características das quatro categorias de espaço e que aqui reproduzimos:

1. Urbano⁷⁹ – o núcleo polarizador do território.
2. Subúrbio – forte carácter urbanizado; densidades de ocupação elevadas; processo de consumo do espaço rural de maior dinâmica e intensidade; reduzidos vestígios da antiga ocupação rural; forte ligação e dependência dos principais eixos de transporte (ferroviários e rodoviários).
3. Peri-urbano – ocupação difusa e em extensão; descontinuidade do tecido construído; baixas densidades médias de ocupação; grande dinâmica de fraccionamento da propriedade (alteração constante da estrutura fundiária); actividades agrícola instável, face à presença próxima da frente de urbanização; desafecção progressiva da agricultura.
4. Rurbano – ocupação urbana muito limitada e localizada (aldeias tradicionais pitorescas, locais privilegiados paisagisticamente, etc.), por parte da população citadina; espaço rural ainda em plena actividade agrícola; o mercado de solos não está ainda submetido à pressão da urbanização.

Acrescente-se que a espacialização das quatro categorias é variável no tempo, em função da evolução do todo o sistema. Assim, uma área classificada como peri-urbano em dado momento pode, posteriormente, apresentar características de subúrbios. Nesta ressalva, admitimos, de forma indirecta, que o processo de transformação é quase unicamente unidireccional, na medida em que será difícil uma área de características marcadamente urbanas retornar ao carácter rural.

Desta caracterização geral fica clara a existência de tendências de organização espacial, quer a nível local, quer a nível global, por outras palavras, o sistema tem uma estrutura identificável e não é portanto caótico. Assim sendo, é chegada a altura de nos interrogarmos sobre a natureza desta organização e a emergência dos padrões identificados. Referimo-nos especificamente à questão de saber se o sistema tem evoluído de uma forma totalmente controlada – leia-se, pré-determinado ou, se pelo contrário, existem indícios de auto-organização.

Uma das formas de diminuir a auto-organização de um sistema territorial será através do controlo, por parte de uma entidade central, da magnitude e direcção do crescimento das áreas construídas. No âmbito do planeamento e ordenamento do território, a área de estudo tem sido objecto de diversos planos e políticas de actuação, com diferentes escalas espaciais e temporais⁸⁰. Importa, então, conhecer o conjunto destes mecanismos, os seus objectivos principais e sobretudo, a sua influência na evolução das áreas construídas da AML e no período em análise. As interrelações e

⁷⁹ Pereira (1986) utiliza o termo “cidade-centro” para designar o que aqui nos referimos por Urbano.

⁸⁰ À medida que as cidades e a ocupação do território em geral evoluem, também os paradigmas que regem o planeamento e ordenamento do território em diferentes épocas se têm alterado. A velocidade das mudanças registadas nas sociedades nos últimos duzentos anos, sensivelmente, provocou igualmente grandes alterações na forma como território é entendido e sobretudo na forma como este é entendido e intervencionado. Para além da dimensão temporal, aquilo que o define é dependente do espaço e especificamente da localização geográfica, na medida em que a cultura de cada região ou de cada país modifica não só o carácter das medidas mas mais importante a sua eficácia. Face a isto, defendemos que à partida não será possível entender o planeamento e o ordenamento como a entidade central que definiria o território como uma entidade determinista e não complexa. No seu conjunto, o ordenamento terá de ser entendido como uma parte do sistema e por conseguinte influencia e é influenciado por toda a dinâmica do sistema.

interdependências da acção de um plano, e da não acção do plano, não são possíveis de ser conhecidas e sistematizadas na sua totalidade, face à impossibilidade de comparação da mesma realidade na presença e ausência destes mecanismos. No entanto, nos sistemas territoriais não será possível ignorar a influência da macro-escala (as políticas, as leis, os regulamentos centrais e municipais, por exemplo) nas escalas inferiores.

No espaço em análise, a integração da noção de região e plano regional nas políticas de ordenamento foi bastante tardia e lenta face à velocidade das transformações que se iam registando. Até 1960 o único plano de carácter regional aprovado foi o Plano de Urbanização da Costa do Sol (aprovado pelo DL 37251, de 28 de Dezembro de 1948), embora compreendesse apenas a faixa litoral dos municípios de Lisboa, Oeiras e Cascais com o objectivo central de estruturar os aglomerados envolventes à futura estrada marginal de Cascais (Pereira, 1986). Será apenas em 1959 que é lançado o diploma que define o âmbito do primeiro plano regional de ordenamento do território (Lei n.º 2099 de 14 de Agosto), designado por Plano Director de Desenvolvimento Urbanístico da Região de Lisboa (PDRL) e que abrangia todo o território da actual AML, mas que nunca viria a ser aprovado (Pereira, 1986).

Os objectivos definidos neste plano e o modelo territorial que preconizava para um período de vigência de 20 anos (Figura 28), eram à data bastante ambiciosos. Com a sua elaboração procurava-se controlar a já forte expansão das áreas construídas nas várias periferias, a Norte e a Sul, de Lisboa. O modelo desenvolvido à escala 1:500 000 não permitia, no entanto, contabilizar a escala fina das transformações que iam ocorrendo sobretudo em áreas de habitação unifamiliar de génese legal e ilegal. Embora seja entendível uma perspectiva sistémica no modelo territorial desenvolvido e nos objectivos definidos, nomeadamente através do enquadramento de planos de escala inferior nos objectivos do PDRL, o facto é que não foi acautelada a capacidade de influência da micro-escala nas dinâmicas territoriais. O conjunto de infra-estruturas de transportes proposto, como a construção da Ponte sobre o Tejo, a Auto-estrada do Sul, o novo Aeroporto de Lisboa (na margem Sul) e a ligação ferroviária das duas margens através da Ponte sobre o Tejo, são factores que potenciam a expansão urbana e os possíveis actores envolvidos neste processo não se limitavam aos grandes promotores com capacidade para grandes intervenções urbanísticas. O conjunto das acções dos pequenos proprietários pode gerar fortes *feedbacks* na forma com o espaço é ocupado.

Figura 28 – Modelo territorial do PDRL de 1964



Fonte: Tenedório, J. A. (coord.) (2003)

A não aprovação do plano enfraqueceu a lógica regional de crescimento das áreas construídas e as consequências gerais da falta de força legal do plano são claras:

«As dinâmicas económicas que caracterizaram esse período [década de 60] e que estiveram na origem do forte crescimento suburbano colocam em evidência a

obsolescência dos ante-planos de urbanização⁸¹ da década anterior, recaindo nas mãos dos particulares a liderança do processo de urbanização. A Administração refugia-se na passividade da apreciação e aprovação dos projectos de loteamento, revelando-se, regra geral, pouco exigente na qualidade do espaço urbano produzido. Sem instrumentos de planeamento válidos e adequados, o fenómeno da suburbanização cresce sem qualquer enquadramento e orientação, fomentado pela melhoria das acessibilidades e pelo aumento das taxas de motorização, agudizando-se assim os seus efeitos no território.» (Raminhas da Silva, 2009:13)

No entanto, ficam por estabelecer as reais consequências do não-plano, isto é, de que forma é que o conhecimento e a percepção das possíveis intervenções no território condicionaram a forma de agir, dos vários tipos de agentes, criando expectativas em determinadas áreas e influenciado a apetência económica das mesmas.

As anteriores questões ganham maior relevância quando, paralelamente à problemática do PDRL64, a publicação do Decreto-Lei n.º 46673, de 29 de Novembro de 1965 permite a inclusão dos privados nos processos de loteamento urbanos. A figura de loteamento viria então a servir durante bastante tempo como instrumento principal na “definição” das estruturas do território artificializado de muitos municípios. Veja-se o caso apresentado por Raminhas da Silva (2009) sobre o processo de gestão urbanística na Cidade de Setúbal, entre 1944 e 2004:

«A utilização deste instrumento [loteamento urbano], sem a definição prévia de uma estrutura urbana e numa lógica de evidente especulação imobiliária, tem servido para viabilizar novas frentes de urbanização, caracterizadas pela rentabilização máxima da capacidade edificável da parcela, pela configuração de malhas urbanas subjogadas à delimitação cadastral, pela ausência de articulação com os tecidos envolventes e pelo défice de cedências para equipamentos, espaços verdes e espaços de utilização colectiva. Os resultados observáveis revelam um processo de urbanização extensivo, ausente de qualquer estratégia de programação e estruturação urbana, traduzindo-se em novos espaços de cidade desqualificados.» (Raminhas da Silva, 2009:179)

No início da década de 80 foi promulgada a figura de Plano Director Municipal (PDM) (Decreto-Lei n.º 208/82, de 26 de Maio), embora só em 1990, com o Decreto-Lei n.º 69/90, esta figura tenha tomado um carácter obrigatório. O território da AML ficou então coberto por planos municipais mas com pouca ou nenhuma interrelação entre si, nem mesmo entre municípios vizinhos⁸². À escala do município é relevante lembrar que as cartas de ordenamento, na sua generalidade, são elaboradas à escala 1:25000. Como resultado, a estrutura interna das grandes manchas de

⁸¹ O autor refere-se aqui à figura de Plano Geral de Urbanização e Expansão, usualmente apelidados de Ante-plano, regulamentada pelo DL. 35931, de 4 de Novembro de 1946, de acção pontual e sobretudo local.

⁸² Esta realidade fica clara na observação e comparação das diferentes cartas de ordenamento dos vários municípios, embora a tarefa seja dificultada pelas diferentes nomenclaturas e classificações utilizadas, revelando desde logo o individualismo praticado ao nível do ordenamento. As várias cartas podem ser consultadas em Tenedório, J.A. (coord.) (2003) *Atlas da Área Metropolitana de Lisboa*.

categorias de espaço ficou, em demasiados casos, relegada para intervenções casuístas, sem lógica de interligação das áreas construídas. É neste sentido que Pereira (2003) defende que o processo de planeamento não pode terminar na publicação do PDM e que são necessários outros instrumentos, nomeadamente a escalas inferiores como sejam os Planos de Pormenor (PP) ou os Planos de Urbanização (PU), entre outros, disponíveis à gestão urbanística, mas nem sempre utilizados.

Em 1992 é feita uma nova tentativa de elaborar um plano regional de ordenamento do território à escala metropolitana, abreviadamente designado por PROTAML Segundo Bruno Soares (2004), este limitava-se à definição da «*estrutura de ocupação e usos dos solos à escala metropolitana*». Mais uma vez, e por opção política, o plano não foi aprovado. Só em 1999, após a publicação do Decreto-Lei n.º 380/99 é elaborado o novo PROTAML, aprovado em 2002, agora com uma visão estratégica para o modelo territorial, com o objectivo de enquadrar não só as escalas inferiores mas também integrar a região «*nas opções de desenvolvimento económico e social do país*» (Bruno Soares, 2004).

No entanto só em 2007, com a publicação da Lei n.º 58/2007, de 4 de Setembro, é aprovado o Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território (PNPOT), «*com o objectivo de concretizar a estratégia de ordenamento, desenvolvimento e coesão territorial do País*» (DGOTDU, 2007). Como consequência o PROTAML encontra-se, actualmente, em fase de alteração, fruto da necessidade de ajustar os seus objectivos à figura de plano hierarquicamente superior e à intenção de concretização de um conjunto de investimentos em grandes infra-estruturas de transporte preconizadas para a margem Sul, mas cuja viabilidade tem sido posta em causa pela crise financeira e económica instalada.

Pelo exposto, são claros os indícios de que o crescimento das áreas construídas na AML não terá sido o resultado directo de acções programadas de uma entidade central que define, nas várias escalas, a forma e velocidade desse mesmo crescimento. O aumento do papel dos privados na transformação do território, enquadrado num sistema público nem sempre eficaz, indica-nos que o território emergente, à escala global da área metropolitana, será mais o resultado de processos de auto-organização. Importa, portanto, numa primeira fase, encontrar dados que apoiem esta suposição e, numa segunda fase, procurar sistematizar as regras fundamentais que expliquem os padrões e estruturas emergentes encontradas.

A concretização destes objectivos implica a existência de um conjunto de dados que suportem a análise, como a cartografia das áreas construídas no período em análise (1960, 1990 e 2004). O próximo sub-ponto terá assim como objectivo a apresentação da metodologia utilizada para a aquisição dos dados de base necessários não só à análise mas também à futura modelação de crescimento a que nos propusemos.

2.2. Os Dados: Aquisição, tratamento, restrições e considerações

Idealmente, a base de dados de suporte a um estudo de crescimento de áreas construídas deveria reger-se por um balanço entre a resolução espacial e a resolução temporal dos dados, bem como pela adequação de ambas ao objecto de estudo.

Ao nível espacial deverá ter-se em conta, por exemplo, a unidade mínima cartografada no modelo de dados vectorial. Contudo, esta mesma informação será também representada e analisada no modelo de dados matricial, pelo que será necessário determinar, à partida, qual a dimensão das células. A escolha de uma célula de 200 metros ou de 10 metros terá implicações relevantes no tipo de comportamentos e dinâmicas que podem ser identificadas e analisadas.

Na mesma ordem de ideias, a resolução temporal dos dados influenciará o tipo de mudanças a que se tem acesso, já que a velocidade das mesmas é dependente da escala espacial. Por exemplo, a expansão do território construído tem expressão em escalas de tempo mais longas, como 5, 10 ou mais anos, embora, as dinâmicas internas desses mesmos espaços de expansão ocorram a escalas de tempo inferiores a 5 anos.

Idealmente porque os dados relativos às áreas construídas são escassos e pouco ou nada sistematizados. Por esta razão, o processo de recolha e aquisição de informação resulta do conjunto de opções tomadas em função dos objectivos pretendidos. Todo o processo de análise e modelação pode ser bastante sensível ao tipo de dados em uso, pelo que se torna relevante apresentar de forma explícita os pressupostos que sustentam a informação de base.

Como nota preliminar, salienta-se a utilização de duas metodologias para a extracção das manchas de construído - uma primeira para os anos de 1960 e 1990, e uma segunda para o ano de 2004. A metodologia final teve como objectivo a integração e compatibilização destes três momentos temporais.

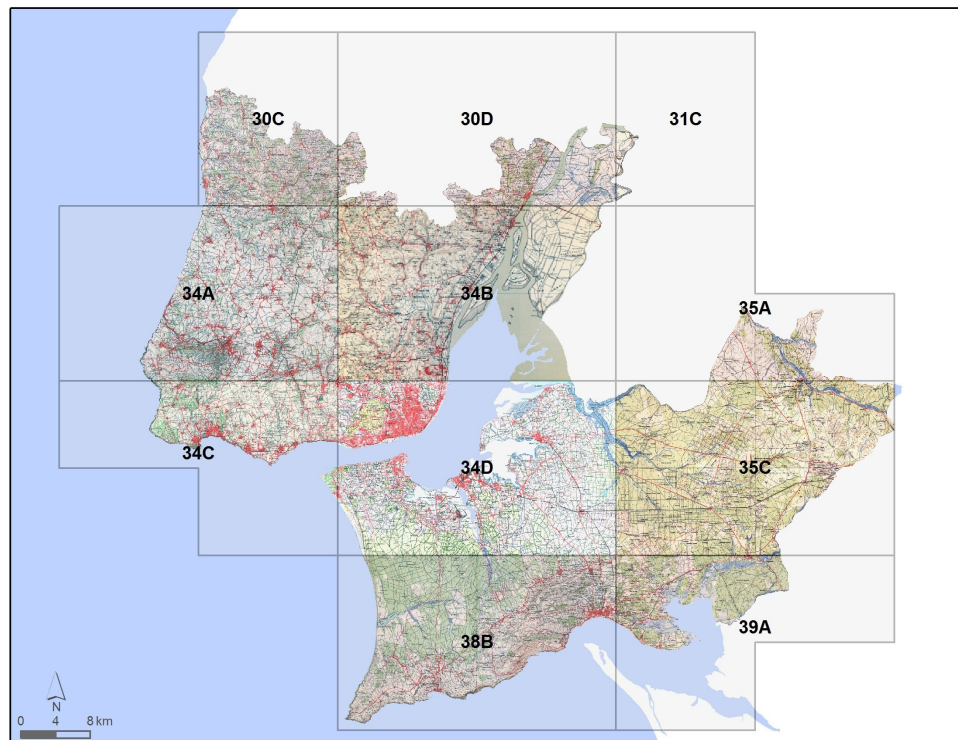
2.2.1. As bases de 1960 e 1990

As áreas construídas de 1960 e 1990 foram extraídas a partir das cartas corográficas de Portugal, do antigo Instituto Geográfico e Cadastral (IGC), à escala 1:50000, e as cartas militares do Instituto Geográfico do Exército (Igeoe) à escala 1:25000, respectivamente.

Após a compilação do conjunto de cartas em formato analógico procedeu-se à respectiva digitalização⁸³ (formato *tiff*) e georreferenciação para *Datum 73 Hayfor-Gauss Igeoe* (Figura 29 e Figura 30).

⁸³ A digitalização foi realizada pela Professora Doutora Cristina Henriques da Faculdade de Arquitectura, razão pela qual deixamos aqui uma nota de agradecimento.

Figura 29 – Cartas Corográficas, 1:50000, 1960, AML



Sublinha-se que as cartas corográficas e militares recolhidas têm datas de edição diferentes. Optou-se por utilizar a carta disponível com data de edição que mais se aproximava aos momentos temporais em estudo: 1960 e 1990, como indicado na Tabela 3 e na Tabela 4.

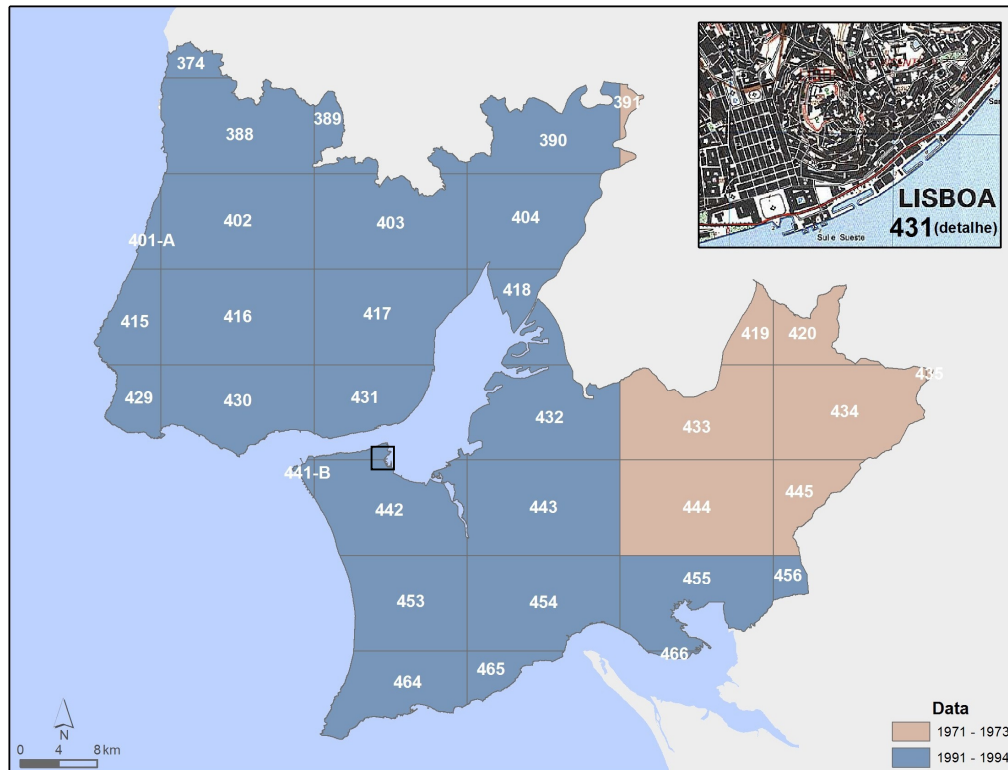
Tabela 3 – Cartas corográficas (1:50000), 1960

Nº da Carta	Data
30 C	1973
30 D	1971
31 C	1977
34 A	1952
34 B	1957
35 A	1960
34 C	1955
34 D	1966
35 C	1970
38 B	1967
39 A	1972

Tabela 4 – Cartas militares (1:25000), 1990

Nº da Carta	Data	Nº da Carta	Data	Nº da Carta	Data
374	1992	429	1992	456	1994
388	1992	430	1992	464	1994
389	1992	431	1993	465	1994
390	1992	432	1992	466	1994
391	1973	433	1971		
401-A	1991	434	1973		
402	1992	435	1979		
403	1993	441-B	1991		
404	1993	442	1993		
415	1991	443	1992		
416	1992	444	1971		
417	1993	445	1971		
418	1992	453	1993		
419	1972	454	1994		
420	1971	455	1994		

Figura 30 – Cartas militares, 1:25000, 1990



A partir da digitalização das cartas foi possível processar as respectivas imagens com recurso a software de tratamento de imagem⁸⁴, nomeadamente com a abordagem orientada a objecto (ambiente *eCognition* - versão 5.5.6).

A primeira fase de tratamento das imagens requer a segmentação das mesmas, em função dos valores digitais dos pixels, permitindo a construção de uma rede de objectos (por objecto entende-se, de uma forma geral, um conjunto de *pixels*). De entre os algoritmos disponíveis optou-se pelo de segmentação multi-resolução.

Este algoritmo insere-se nas técnicas de crescimento de regiões, i.e. em diferentes etapas do processo de segmentação, cada objecto é fundido num outro de maior dimensão, de acordo com os critérios de decisão presentes na fusão dos objectos, nomeadamente: i) o critério de homogeneidade, que traduz a similaridade entre objectos adjacentes e ii) o critério do parâmetro de escala que condiciona o número de fusões possíveis (Encarnação, 2004:79).

De uma forma simplificada, a segmentação de imagem, em *eCognition*, necessita de três parâmetros de partida: os parâmetros de cor e forma (ambos variam, complementarmente, no intervalo entre 0 e 1) e o parâmetro de escala que varia no intervalo $[1; n]$. O valor de 1 significa que cada pixel formará um objecto e n que toda a imagem constituirá um único objecto. Assim, quanto menor o parâmetro de escala, maior será o número de objectos. O critério geral de fusão dos objectos é dado por (Definiens, 2003):

$$f = w \cdot h_{cor} + (1 - w) \cdot h_{forma} \quad (10)$$

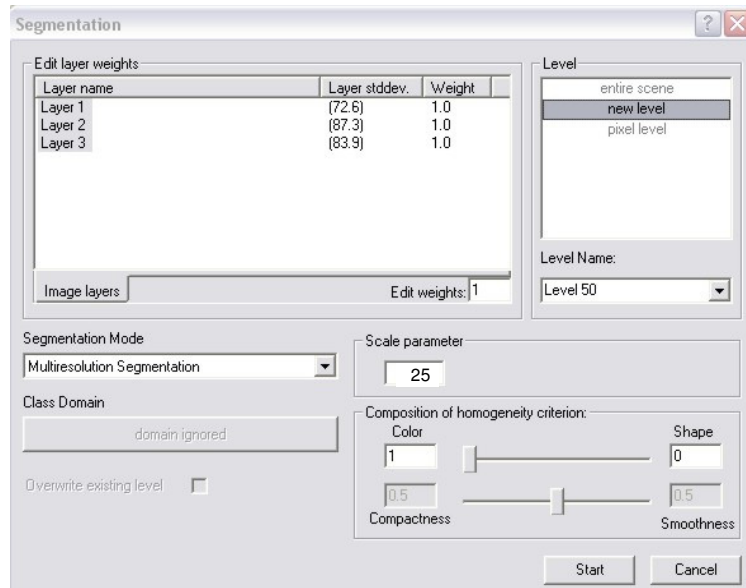
Onde w é o peso atribuído à cor (por oposição à forma), no intervalo $0 \leq w \leq 1$.

Para as cartas corográficas 1:50000 (de 1960) assim como para as cartas 1:25000 (de 1990) optou-se pela seguinte conjugação de parâmetros (Figura 31):

- a) Escala = 25;
- b) Cor = 1;
- c) Forma = 0

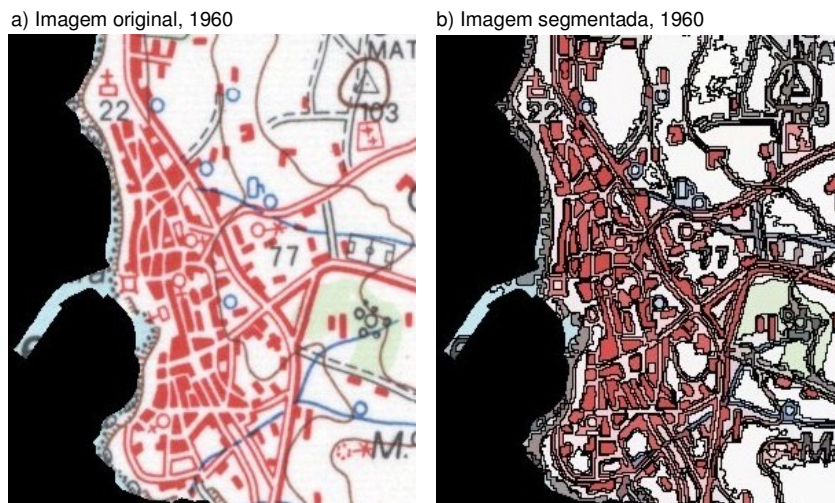
⁸⁴ Cada carta foi processada separadamente dado que i) a dimensão da totalidade dos ficheiros impedia a segmentação em tempo útil e ii) uma vez que cada imagem apresenta diferentes tonalidades de cor, o tratamento individual permite ultrapassar a etapa de correcção e uniformização do valor dos *pixels* associados.

Figura 31 – Parâmetros de segmentação



A partir das imagens segmentadas (Figura 32b) é possível classificar os objectos de acordo com um conjunto de atributos associados, como por exemplo, a cor, a área, o perímetro, as relações de vizinhança e hierarquia, etc.

Figura 32 – Segmentação de imagem



Na fase de classificação procura-se determinar os atributos que diferenciem os objectos de interesse dos restantes. No presente caso, o atributo que maximizava a diferença entre as áreas construídas (a vermelho em 1960 e a preto em 1990) e os restantes objectos foi a Máxima Diferença (*Maximum Difference - Max Diff*), dado o forte contraste existente entre as cores (Figura 33a). O *Max Diff*. varia no intervalo $[1; n]$ e é calculado por (Definiens, 2009):

$$Max.Diff. = \frac{\max_{i,j \in K_B} |\bar{c}_i(v) - \bar{c}_j(v)|}{\bar{c}(v)} \quad (11)$$

i, j : bandas das imagens

$\bar{c}(v)$: brilho (*brightness*) do objecto

$\bar{c}_i(v)$: intensidade média do objecto na banda i

$\bar{c}_j(v)$: intensidade média do objecto na banda j

c_k^{\max} : valor máximo de brilho da banda

K_B : bandas das imagens com peso positivo de brilho com $K_B = \{k \in K : w_k = 1\}$

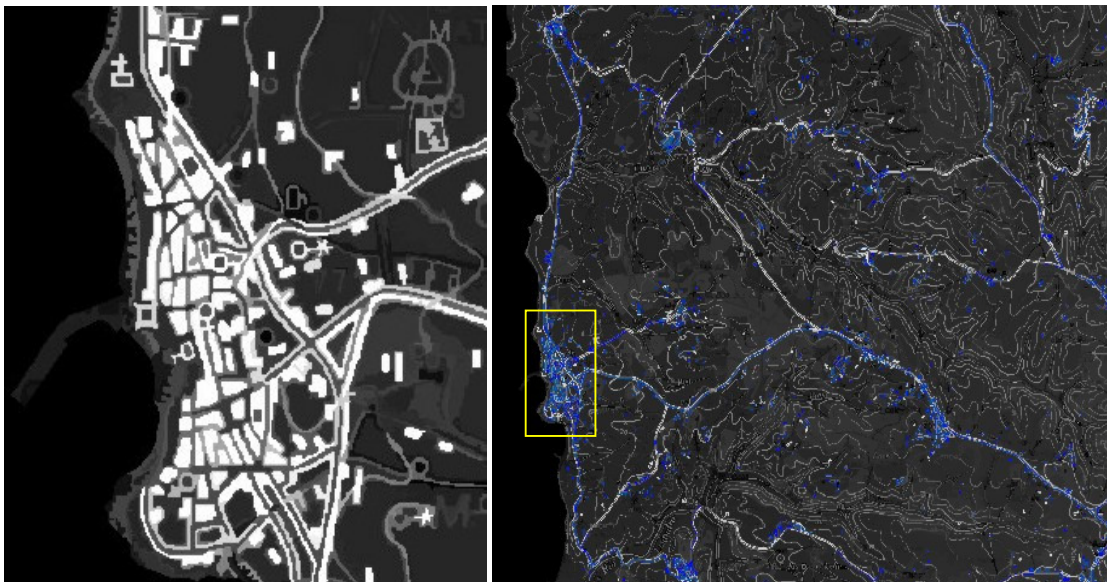
w_k : peso da banda da imagem

A visualização deste atributo destaca claramente, a branco (Figura 33a), as áreas a vermelho (nas cartas de 1960) que correspondem a áreas construídas e estradas. A análise deste atributo permitiu determinar valores de $Max.Diff. \geq 0,8$, para os objectos de interesse, em 1960 (Figura 33b)⁸⁵.

Figura 33 – Separação de objectos utilizando Max Diff

a) Max Diff. (a branco os valores mais elevados)

b) A azul os objectos com Max Diff. $\geq 0,8$.



Partindo dos valores de *Max Diff* identificados, as imagens foram classificadas em duas classes (Figura 34a):

a) “Vermelhos” (objectos com Max Diff. $\geq 0,8$).

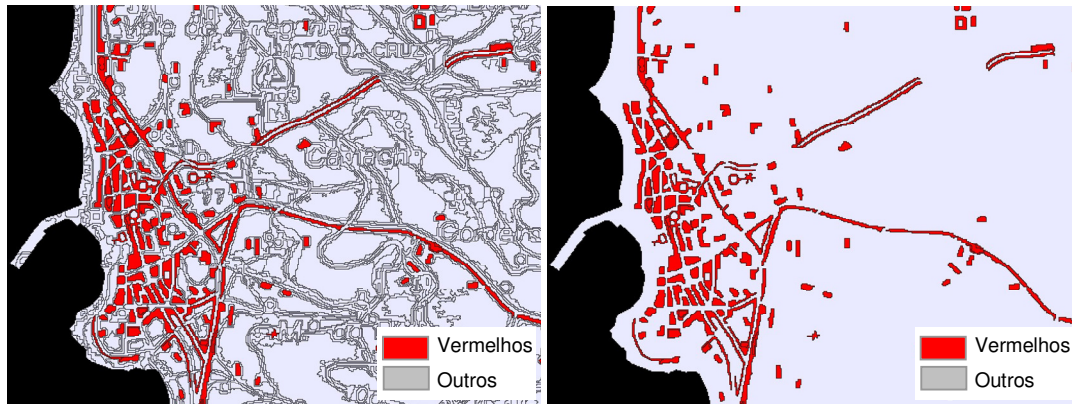
b) “Outros” (todos restantes objectos não classificados como “Vermelhos”).

⁸⁵ Para 1990 o atributo de Máxima Diferença foi de 0,88.

Figura 34 – Classificação e fusão dos objectos de cor vermelha

a) Imagem classificada

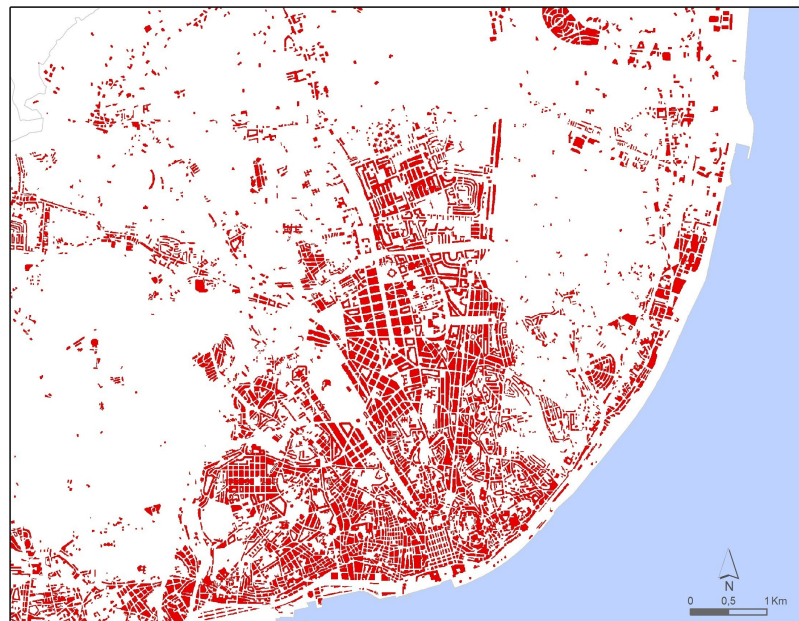
b) Fusão dos objectos classificados



Após a classificação é necessário fundir os objectos que i) sejam contíguos e ii) que pertençam a uma mesma classe. Do ponto de vista operacional, a fusão de objectos permite a diminuição do número total de objectos em cada classe, o que facilita a capacidade de processamento da informação (Figura 34b)⁸⁶.

A classificação final foi exportada para formato vectorial (*shapefile*). Em ambiente ArcGis foi necessário editar os dados para eliminar objectos anteriormente classificados como “Vermelhos” mas que não representavam edificado. São disso exemplo as estradas e outros elementos cartográficos, como os símbolos de edifícios religiosos. A Figura 35 representa uma secção da base final da área construída de 1960.

Figura 35 – Áreas construídas, cidade de Lisboa, 1960



⁸⁶ Note-se que, por exemplo, a carta 30C contabilizava inicialmente 45.964 objectos e após a fusão regista um total de 2.054 objectos.

O grande detalhe que se pode observar na Figura 35, ao nível da geometria das áreas construídas, implicaria a necessidade de obter uma base da rede viária com o mesmo detalhe, com o objectivo de diferenciar as áreas não construídas passíveis de serem ocupadas, das restantes já ocupadas pela rede viária. Dada essa impossibilidade foi necessário generalizar o edificado em manchas de construído, através de processos de agregação de polígonos.

O processo de generalização de dados implica, necessariamente, duas questões de base a considerar:

- 1) A agregação dos polígonos deve minimizar a alteração das fronteiras externas do conjunto de polígonos agregados, embora se reconheça que a nível interno serão eliminadas as áreas intersticiais, o que poderá aumentar o total de área construída.
- 2) Relacionada com a primeira questão, que distância máxima entre polígonos deve ser considerada na agregação?

Estas questões inserem-se na problemática da generalização cartográfica⁸⁷ e da generalização do modelo de dados⁸⁸ - conjunto de métodos e metodologias que procuram adequar a escala e a resolução dos dados, i.e., o nível de detalhe da informação, aos objectivos das diferentes aplicações que utilizam informação de base espacial e cartográfica (Basaraner, 2002; Li *et al*, 2001).

A adequação da informação cartografada à escala do mapa, e aos objectivos do mesmo, requerem um equilíbrio entre a redução da complexidade (i.e. através da simplificação ou eliminação de elementos) embora mantendo a exactidão espacial e o significado dos elementos representados, assim como a qualidade estética e a hierárquica (Slocum *et al*, 2009:99).

No domínio digital, a generalização dos dados assume também um outro tipo de importância já que permite, por exemplo, a redução dos dados de forma controlada, com o objectivo de maximizar o armazenamento e aumentar a eficiência computacional de funções analíticas (Basaraner, 2002).

⁸⁷ A generalização é o processo de reduzir a informação contida em mapas dadas as modificações de escala, os propósitos do mapa, a audiência a quem se destina e/ou constrangimentos técnicos (Slocum *et al*, 2009:97). Dependendo das necessidades podem ser aplicadas diferentes operações, nomeadamente a simplificação (eliminação de pontos de coordenadas que compõe o objecto vectorizado); a suavização (por exemplo com a redução da angularidade entre linhas); a agregação (agrupamentos de pontos num polígono); a amalgamação (fusão de elementos não contínuos ou contínuos); colapsar (envolve a mudança de geometria do objecto); *merging* (fusão de elementos lineares); refinamento (objectos com geometrias complexas são simplificados embora a sua forma geométrica não seja alterada); exageração (amplificação de parte ou todo o objecto por forma a manter o seu significado aquando da redução de escala); melhoramento (*enhancement*) alteração da simbologia utilizada com o intuito de enfatizar a importância de determinado objecto) e deslocamento (separação de elementos que coalescem com a redução de escala) (Slocum *et al*, 2009).

⁸⁸ A generalização do modelo de dados implica a criação de objectos de ordem superior, como por exemplo, cidades, regiões florestais, etc., a partir de objectos de ordem inferior, como por exemplo, edifícios e árvores (Chaudhry e Mackaness, 2008; Bobzien e Morgenstern, 2003)

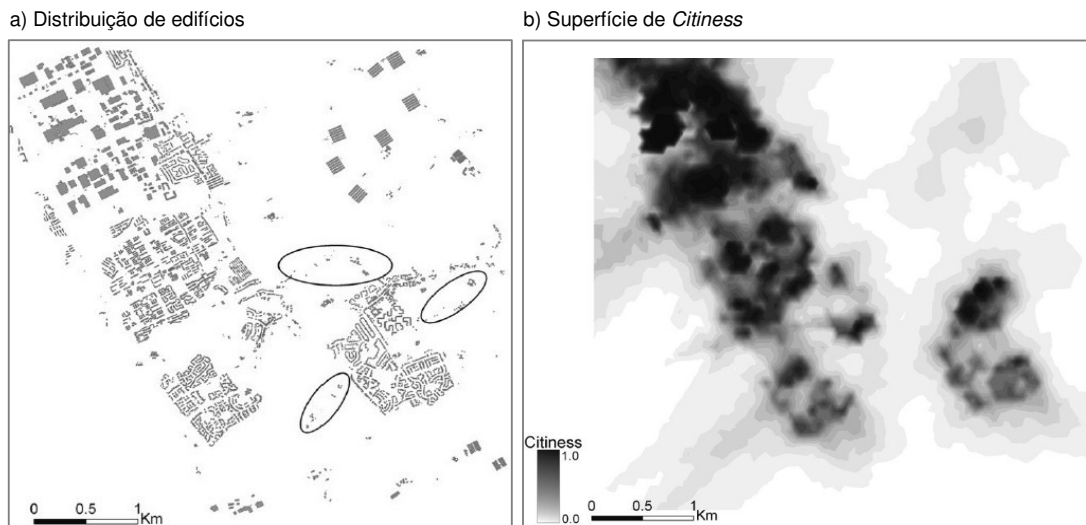
As várias metodologias desenvolvidas⁸⁹ exibem diferentes graus de complexidade e a escolha de um ou outro método deve relacionar-se com o problema em causa.

Chaudhry e Mackness (2008) desenvolvem uma metodologia automática para a identificação das fronteiras das áreas construídas. Propõem a definição da extensão urbana com base na área e na densidade de edifícios, partindo do pressuposto de que o território artificializado reflecte um conjunto de actividades económicas e sociais que definem a “cidade”⁹⁰ (Chaudhry e Mackness, 2008). A partir deste critério de base é construído o indicador de *citiness* de cada edifício j :

$$c_j = \frac{\sqrt{a_j} \sqrt{\sum_{i=1}^n a_i}}{\sum_{i=1}^n d_i^2} \quad (12)$$

Onde a_j corresponde à área do edifício j , a_i à área do edifício i e d_i a distância do edifício i a partir do edifício j . Assim, a *citiness* do edifício j será elevado se o mesmo se localizar numa vizinhança densa. A vizinhança (n) é definida empiricamente, e segundo os autores, para uma escala 1:250000 serão suficientes os cinquenta vizinhos mais próximos (Figura 36).

Figura 36 – Aplicação do *citiness* a uma área urbana



Fonte: Chaudhry e Mackness, 2008

A partir da superfície de *citiness* a fronteira da mancha final de áreas construídas é determinada por um conjunto de operações (Figura 37), nomeadamente através da expansão seguida da agregação de edifícios sobrepostos. A área de expansão de determinado edifício (e_a) é dependente do valor de *citiness* correspondente:

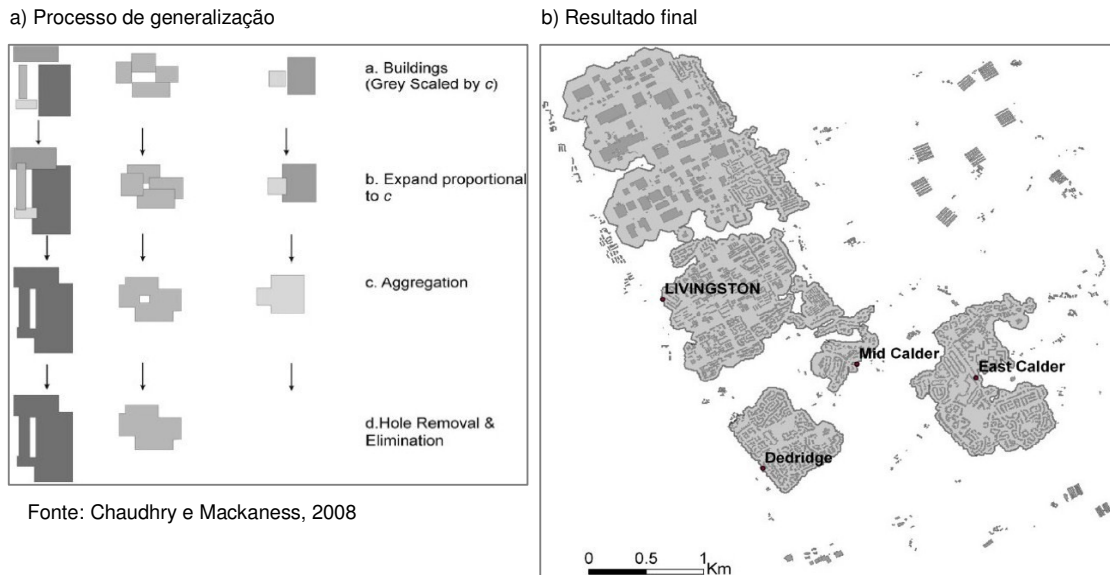
⁸⁹ Dado que a generalização do modelo de dados não é o ponto central da dissertação apresentaremos apenas um dos exemplos que mais se assemelha com a metodologia adoptada, embora outras metodologias de interesse são: Jiang e Claramunt (2004); Lee e Hardy (2005); Sester (2000); Gaffuri e Trevisan (2004).

⁹⁰ Entenda-se aqui “cidade” no sentido mais lato do termo, e não no sentido político/administrativo.

$$e_a = k \cdot c_a, \text{ desde que } e_a \leq k \quad (13)$$

Onde k é uma constante determinada empiricamente e c_a o *citiness* do edifício a .

Figura 37 – Etapas do processo de generalização e resultado final



No contexto português, Silva *et al* (2009) desenvolvem uma metodologia para a extracção de manchas de áreas construídas em três momentos temporais: 1950, 1975 e 2000. A informação para o ano de 2000 foi adquirida em formato vectorial poligonal, enquanto que para os restantes dois momentos, a informação foi extraída, por vectorização, das cartas militares 1:25000, tendo como base de referência a base vectorial de 2000. Para a derivação da mancha de áreas construídas os autores utilizaram o critério de contiguidade do edificado, isto é, uma distância máxima de 50 metros entre edifícios. As manchas produzidas podem também incluir espaços vazios até um máximo de 2ha e compreendem uma margem extra de 10 metros ao longo dos limites exteriores (Figura 38).

Figura 38 – Exemplo da delimitação de uma mancha de edificado

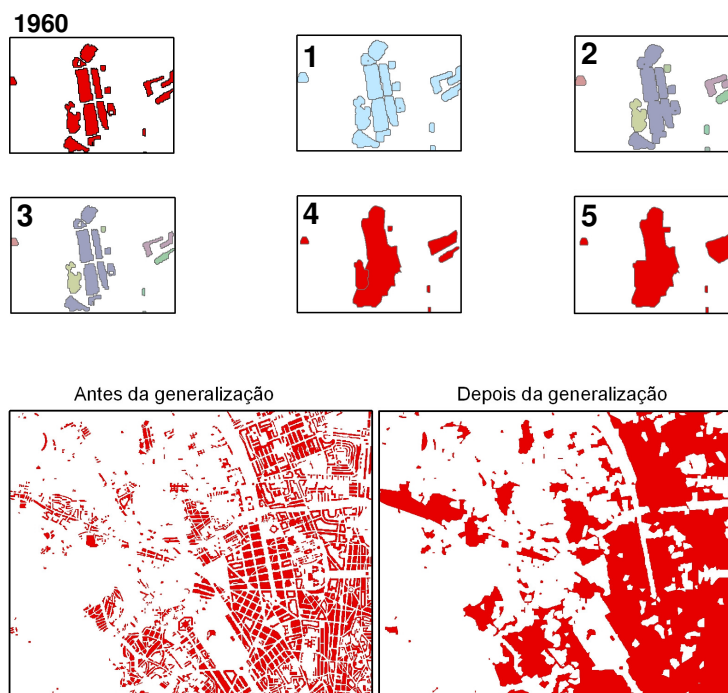


Fonte: Silva *et al*, 2009

A estratégia escolhida para a generalização dos dados das áreas construídas de 1960 e de 1990 teve igualmente, na sua base, a ideia de expansão e agregação de polígonos representativos das mesmas, embora se procurasse minimizar a inclusão de áreas não construídas nos polígonos finais. Assim, a metodologia aplicada consistiu nas seguintes etapas (Figura 39)⁹¹:

1. Construção de um buffer de 5 metros a cada polígono (1990 = 25 metros);
2. Agregação dos buffers que distem entre si menos de 2,5 metros (1990 = 2,5 metros);
3. Atribuição de um código identificador a cada um dos polígonos contidos nos buffers respectivos, do ponto anterior. Através do *spatial join* os códigos identificadores dos polígonos de buffers são transferidos para os polígonos, que estejam contidos nos respectivos buffers;
4. Aos polígonos é aplicado o *convex hull*⁹² de forma a generalizar os conjuntos de polígonos com o mesmo código identificador.
5. O último passo da generalização procurou corrigir, por um lado, o facto de que os polígonos resultantes da aplicação do *convex hull* conterem sobreposições. Por outro lado, procurava-se também agregar polígonos próximos que formassem um contínuo de áreas construídas visualmente significativo. Por estas razões aplicou-se a agregação de polígonos com distância máxima de 50 metros (1990 = 50 metros).

Figura 39 – Processo de generalização de dados



⁹¹ A metodologia aqui apresentada resultou da discussão conjunta entre a autora e Bahaaeddin IZ Alhaddad, do Centre de Política de Sòl i Valoracions- CPSV, Universitat Politècnica de Catalunya- UPC, embora tendo em conta na altura objectivos diferentes que não a generalização de dados. Porém esta nota de agradecimento não pode deixar de ser aqui apresentada na medida em que essa mesma discussão foi crucial na concretização da metodologia que aqui se apresenta.

⁹² O *convex hull* pode ser entendido, de uma forma muito genérica, como a forma geométrica mínima que congrega todos os objectos do conjunto ao qual se aplica o *convex hull*. A fronteira do *convex hull* é definida pelos objectos exteriores do conjunto em análise.

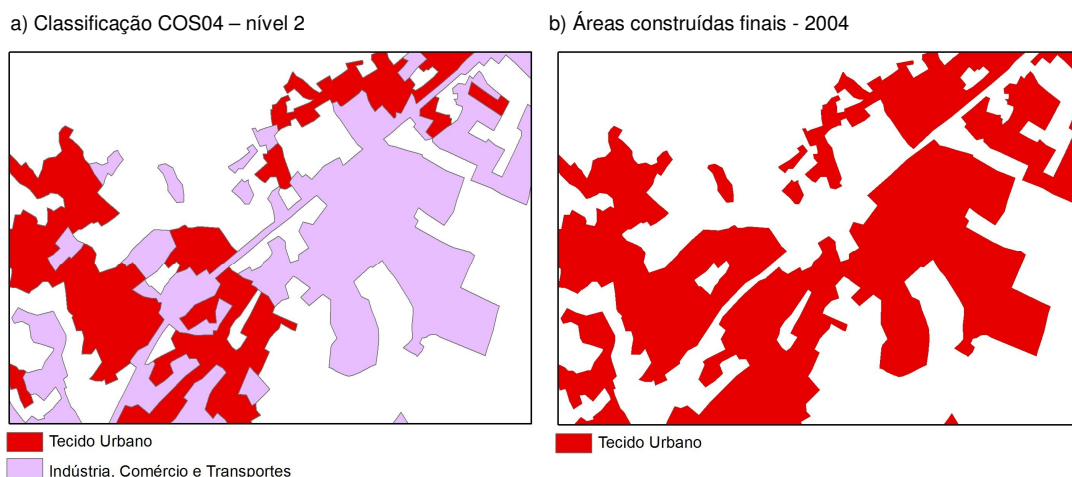
Esta estratégia permitiu manter áreas muito pequenas (edifícios isolados), o que significa que a base das áreas construídas a utilizar em todo o processo de modelação representará diferentes escalas.

2.2.2. A base de 2004

Os dados de 2004 resultam de uma classificação por foto-interpretação de orto-fotomapas de 2004, seguindo a legenda COS (Carta de Ocupação do Solo) para os níveis 1 e 2 (de agora em diante denominada por COS04). Para a extracção das áreas construídas seleccionaram-se apenas as classes 11 e 12 do nível 2 correspondentes aos espaços urbanos, industriais, comerciais e transportes⁹³. A área mínima é de 1ha e a escala representada 1:25000.

A partir desta classificação foram eliminadas as áreas correspondentes à rede viária/transportes, com o objectivo de aproximar semanticamente, as áreas extraídas em 2004 às manchas de 1960 e 1990 (que também não incluíam estas áreas). Esta fase foi realizada a partir da edição dos polígonos da COS04 por foto-interpretação, utilizando como informação auxiliar as imagens disponibilizadas no projecto *World Imagery* da ESRI⁹⁴ (Figura 40).

Figura 40 – Edição da COS04



2.2.3. Conjugação das áreas construídas de 1960, 1990 e 2004

Como fica patente nos dois sub-pontos anteriores, todas as três bases têm processos de produção diferenciados que estão na origem de algumas das discrepâncias encontradas.

⁹³ A classificação de uso/ocupação do solo foi elaborada pela Dra. Sónia Araújo, sob a coordenação da Professora Doutora Cristina Henriques, no âmbito do projecto LUCMODEL – Modelo de Alterações do Uso do Solo das aglomerações urbanas de Lisboa e Maputo (PDCT/GEO/61066/2004; Coordenação de José António Tenedório).

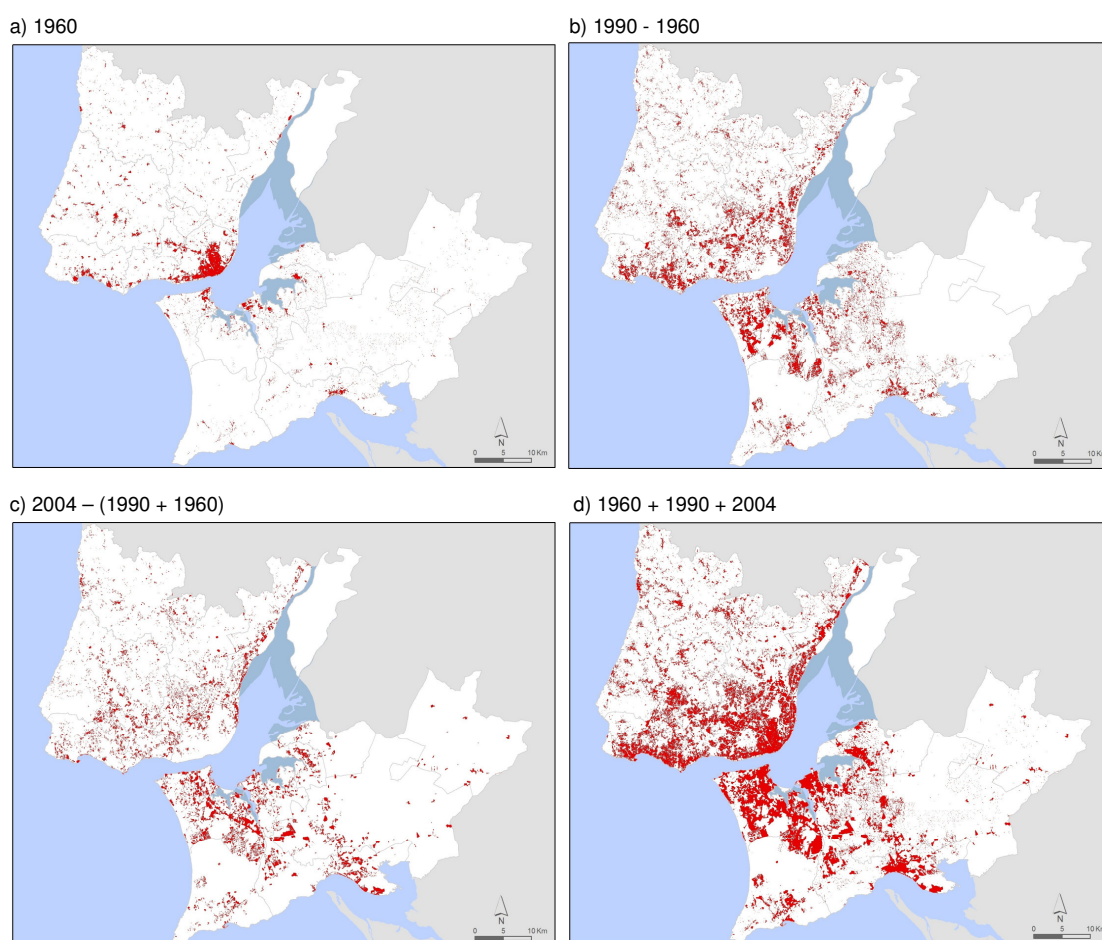
⁹⁴ O *World Imagery* disponibiliza imagens de alta resolução a nível mundial. Para Portugal são disponibilizados os orto-fotomapas do Instituto Geográfico Português (IGP), de 1 metro de resolução e de 2004 (<http://resources.esri.com/help/9.3/arcgisonline/about/start.htm#contributors.htm#>)

Um dos exemplos típicos resulta da generalização semântica usada na classificação. Daqui decorrem casos onde na realidade não houve crescimento da área construída, no período 60-04, embora, na base de 2004 pareça indicar um aumento da construção.

Assim, e com o objectivo de minimizar as falsas detecções de mudança e corrigir alguns dos problemas encontrados optou-se por combinar as três bases da seguinte forma:

1. O momento temporal mais antigo terá prioridade sobre o mais recente. Significa isto que a base de 1990 será a conjugação da base de 1960 com os polígonos de 1990 que não existiam em 60 (Figura 41).

Figura 41 – Áreas construídas de 1960, 1990 e 2004 sem t-1



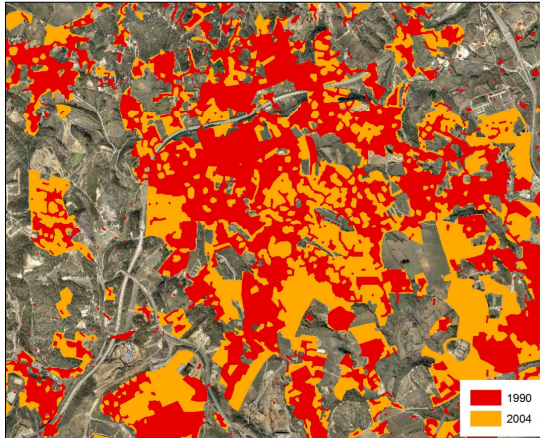
2. Após a combinação dos três anos verificou-se, por inspecção visual, que em cada uma das três datas existiam áreas classificadas como construídas que na verdade eram áreas não construídas. A eliminação destes casos foi realizada com a edição dos polígonos, recorrendo novamente ao projecto *World Imagery* da ESRI como informação auxiliar. Esta correcção permitiu também detectar situações em que uma determinada área era

classificada como construído em 1960, por exemplo, embora no orto-fotomapa de 2004 não fosse visível construção. Uma vez que se consideram apenas as alterações de não construído para construído (assumindo que o inverso não tem um papel significativo para os objectivos propostos), optou-se por eliminar estas áreas das três bases. Esta correcção permitiu também eliminar situações em que a dimensão de um polígono, representativo de um só edifício, estaria sobredimensionada face aos constrangimentos e especificações das escalas de partida, nomeadamente a escala 1:50000 e 1:25000 para as datas de 1960 e 1990 (Figura 42).

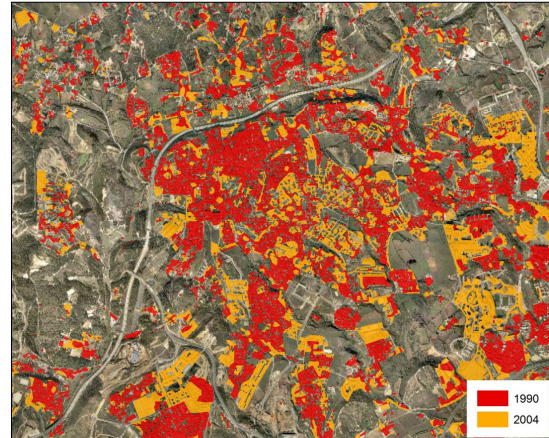
A morosidade da edição e correcção das bases das áreas construídas obrigaram a restringir a área de estudo à margem Norte da AML. Neste sentido, e a partir deste ponto sempre que nos referirmos à área de estudo entenda-se apenas e só a margem Norte da Área Metropolitana de Lisboa.

Figura 42 – Correcção final das bases das áreas construídas

a) Pré correcção



b) Pós correcção



Note-se que na Figura 42b o povoamento disperso é bastante mais visível do que na Figura 42a. O tecido construído predominante é caracterizado por áreas de habitação unifamiliar com grandes espaços vazios entre elas. A mesma área antes da correcção não transmite a ideia correcta do tipo de povoamento existente, além de aumentar significativamente os valores de área e perímetro respectivos.

A última fase de correcção das bases de partida consistiu na eliminação de polígonos residuais sem representação gráfica ou correspondência com a realidade. Após inspecção visual aos dados foram eliminados todos os polígonos com área inferior a 100 metros² (Figura 43) (cf. Anexo I para outras tipologias de polígonos em função da área).

Figura 43 – Polígono com 100m2



Após a correcção final da base vectorial a etapa seguinte consistiu na conversão dos dados para formato matricial. Neste ponto, uma das dificuldades é a escolha da resolução que melhor se adequa aos dados e às escalas representadas.

A noção de escala surge muitas vezes associada apenas ao seu espírito técnico – isto é, o tipo de objectos representados num dado produto cartográfico e a sua adequação com o objecto real. Em diferentes escalas são representados diferentes objectos de uma mesma realidade. Por exemplo, a rede local de estradas de uma dada cidade não é possível de ser representada à escala 1:250.000 mas já o é à escala 1:25000 ou inferior. Não obstante, esta interpretação da noção de escala, embora essencial do ponto de vista cartográfico, esconde considerações mais complexas sobre os fenómenos analisados. Num contexto mais abrangente, a noção de escala deve incluir a propriedade da representatividade mas também a propriedade analítica.

«A questão das escalas é fundamental para a construção do raciocínio geográfico e espacial. Não se trata de analisar o mesmo fenómeno em escalas diferentes, como apregoava a Geografia tradicional, mas compreender que são fenómenos diferentes porque são apreendidos em diferentes níveis de abstracção.» (Egler, 1991: 232)

A problemática entre escala e resolução envolve não só as questões do tipo e dimensão dos objectos a representar, mas também questões mais técnicas como a capacidade de processamento dos recursos computacionais disponíveis (Hengle, 2006)⁹⁵. Existem assim duas escalas fundamentais: a de observação e a de explicação (Lam e Quattrochi, 1992; Wessman, 1992, Manson, 2008). A observação respeita directamente ao tipo de objectos representáveis a determinada escala. A explicação requer a identificação de não-linearidade aquando da mudança de escala e/ou as propriedades que se mantêm coerentes entre as diferentes escalas (Wessman, 1992).

⁹⁵ A noção de escala é discutida também como uma construção social com implicações directas, por exemplo na esfera política, por exemplo Jones (1998) e Delaney (1997).

A relação da escala espacial com a resolução espacial (entendida como a do objecto mais pequeno representado), deve ser entendida como uma relação complementar e não de igual significado, na medida em que um estudo de média ou pequena escala (em extensão espacial) não significa necessariamente uma baixa resolução (Lam e Quattrochi, 1992: 89).

As diferentes concepções da noção de escala provocam uma epistemologia indeterminada da mesma com o perigo de se assumir que uma dada perspectiva de escala pode ser automaticamente aplicável a uma dada problemática de investigação, especialmente quando falamos em sistemas complexos do meio-humano (Manson, 2008:785).

Konecny e Schiewe (1996) propõem uma tabela de equivalências entre escalas cartográficas nos modelos vectoriais e a resolução espacial dos modelos matriciais/raster (Tabela 5).

Tabela 5 – Equivalência entre escala e resolução

Resolução no terreno	Escala
1 – 2m	1: 10 000
3 – 5m	1:25 000 a 1:50 000
5 – 10m	1:50 000

Fonte: Konecny e Schiewe, 1996

Para a conversão das bases de 1960, 1990 e 2004 optou-se por uma resolução espacial de 10 metros. Esta decisão baseou-se nos seguintes factores:

- A tabela de equivalências de Konecny e Schiewe, segundo a qual se poderia optar por resoluções de 3 a 5 metros para 1960 e 1990 ou de 5 a 10 metros apenas para a base 1990;
- A adequação geométrica dos clusters⁹⁶ resultantes, relativamente aos polígonos de origem;
- A dimensão das bases finais e as futuras implicações no que respeita ao processamento e modelação dos dados;
- A hipótese de que na Margem Norte da AML existem dois regimes dinâmicos à macro-escala (os grandes centros urbanos e os aglomerados de média ou pequena dimensão), e que a dimensão da célula terá de ser suficientemente fina para capturar o comportamento de ambos.

A modelação do crescimento das áreas construídas requer também, à escala de análise, uma base de restrições ao crescimento e o conjunto de dados que nos permitam trabalhar com os factores e determinantes anteriormente aludidos. A metodologia de aquisição e extracção será desenvolvida no sub-ponto que se segue.

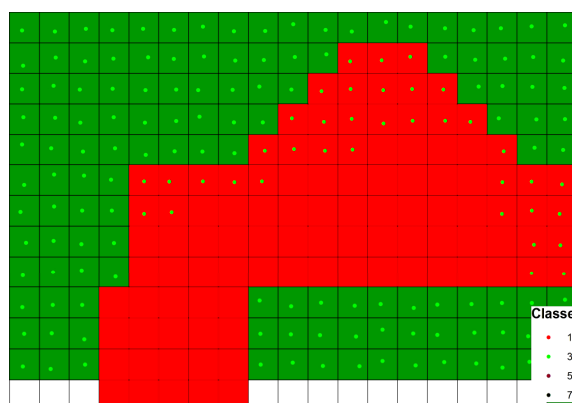
⁹⁶ Por cluster entende-se aqui o conjunto de células classificadas como construído que perfazem a correspondência com um polígono de construído no formato vectorial. Assim, no decorrer do texto optar-se-á pelo termo cluster sempre que nos referirmos ao formato matricial, e ao termo polígono para o formato vectorial.

2.2.4. Base de restrições espaciais, rede viária e rodoviária

No processo de modelação a decisão de incluir um determinado número e tipo de elementos na base de restrições é dependente dos objectivos e escala de análise. No presente caso, os elementos identificados como restrições, e que de seguida enumeramos, são considerados como não mutáveis e incluídos em todos os momentos temporais. As restrições aqui impostas são na sua maioria áreas de infra-estruturas ou espaços verdes resultados de acções explícitas de intervenção no território. São portanto acções predeterminadas e por conseguinte não se incluem na noção de auto-organização que se pretende analisar e modelar.

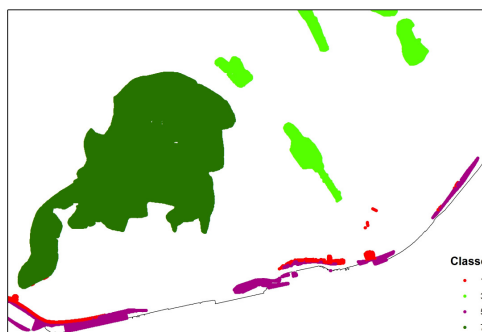
Para criar a base de restrições construiu-se uma rede de células (*fishnet - ArcGis*) equivalente (em extensão e resolução) às bases das áreas construídas. Sobre esta rede desenharam-se pontos, de acordo com o tipo de restrição que se queria classificar. A cada ponto foi atribuído um código identificador do tipo de restrição, nomeadamente: 1 – áreas construídas; 3 – verde urbano, 5 – áreas portuárias e 7 – Parque de Monsanto (Figura 44).

Figura 44 – Pontos e rede de células



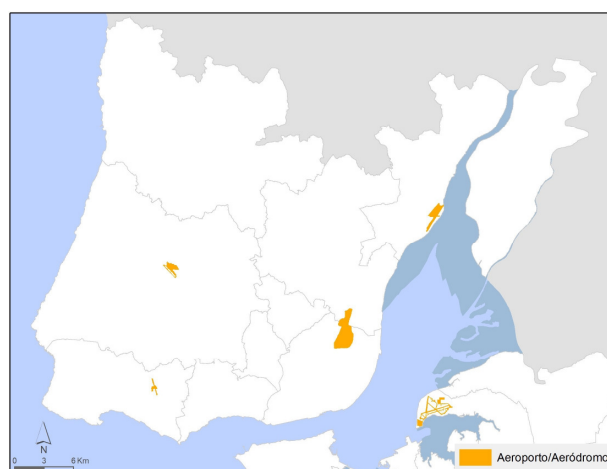
De salientar que o código 1 (áreas construídas) serviu para corrigir algumas incongruências nas bases das áreas construídas, por exemplo, quando a área correspondente ao Terreiro do Paço era identificada em 2004 como área construída e não o era em 1960. Também se eliminaram alguns tipos de mudança, nomeadamente a passagem de vegetação para área construída, ocorridas na área do Parque de Monsanto. Este tipo de mudança tem um peso diminuto no conjunto da área de estudo, razão pela qual se optou por classificá-las como verde urbano em todos os momentos temporais. No total das restrições foram corrigidas 141.090 células (Figura 45).

Figura 45 – Pontos finais corrigidos



Um segundo tipo de restrições diz respeito aos Aeroportos e Aeródromos, extraídos quer da COS04 quer do *Corine Land Cover 2000* (CLC2000), dependendo daquele que apresentasse melhor adequação geométrica e funcional do espaço a restringir à construção.

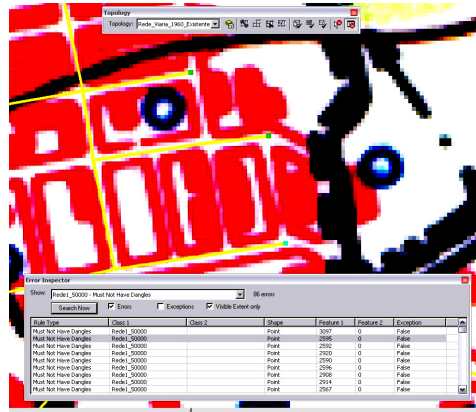
Figura 46 – Aeroportos e Aeródromos



Os dois elementos que apresentamos de seguida (rede viária e ferroviária) desempenham uma dupla função. Por um lado, a classificação das células correspondentes a estas duas classes servem como restrições à construção. Reconhece-se, no entanto, que na realidade, e principalmente no caso da rede viária, existem excepções a este pressuposto de partida, embora se assuma que, à escala de análise, não são significativas. Por outro lado, as duas classes são essenciais para o objecto de estudo já que são determinantes para a construção da noção/variável de distância assumida como um dos determinantes fundamentais da evolução do conjunto das áreas construídas.

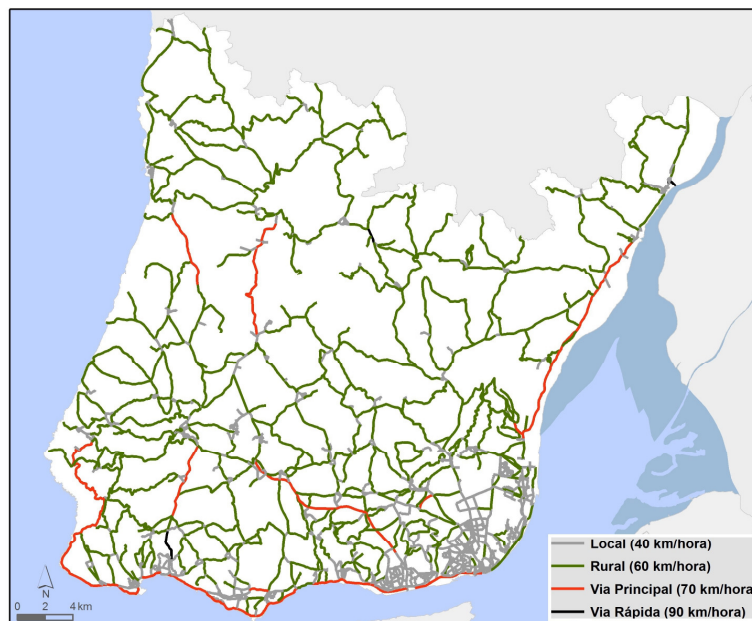
A vectorização da rede viária foi realizada sobre as cartas corográficas 1:50000 georreferenciadas. A tipologia da rede foi classificada com base na rede viária e ferroviária, existente e proposta, do PDRL64 incluída no Atlas da Área Metropolitana de Lisboa (Tenedório, 2003). A construção da topologia da rede permitiu identificar segmentos de linha desconectados da rede, através da regra "*Must not have dangles*". Como excepções incluíram-se as ruas sem saída (Figura 47).

Figura 47 – Correção de topologia



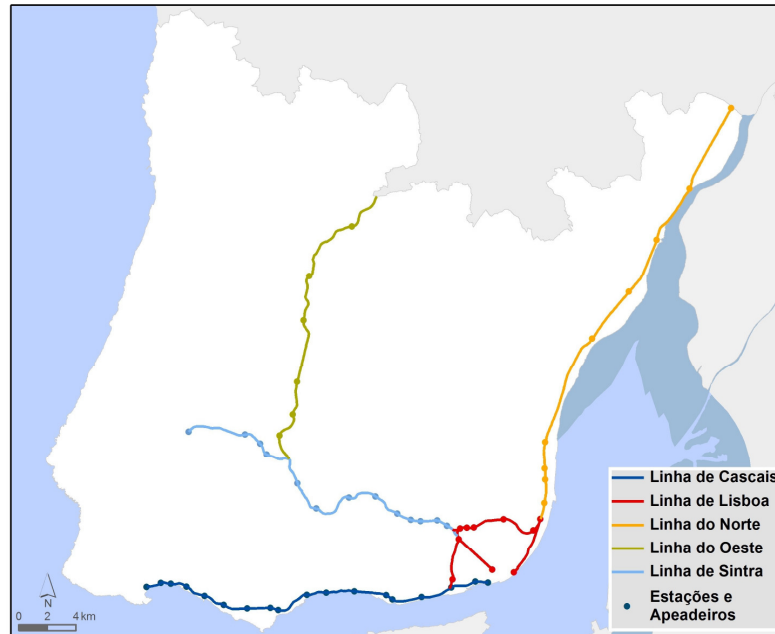
De fazer nota que, fora dos aglomerados urbanos foram digitalizadas todas as estradas visíveis na escala 1:50000. Nos aglomerados urbanos foram vectorizadas apenas aquelas que “desenhavam” a estrutura interna principal desse mesmo aglomerado. Definiram-se quatro tipologias de estradas (embora a sua designação não tenha correspondência com as denominações legais) às quais se associaram as velocidades respectivas com base em Julião (2001) (Figura 48).

Figura 48 – Rede de estradas, década de 60



A rede ferroviária foi igualmente digitalizada a partir das cartas 1:50000, incluindo-se as estações de caminho de ferro e apeadeiros como representados nas cartas de origem (Figura 49).

Figura 49 – Linhas de caminho-de-ferro, estações e apeadeiros, década de 60



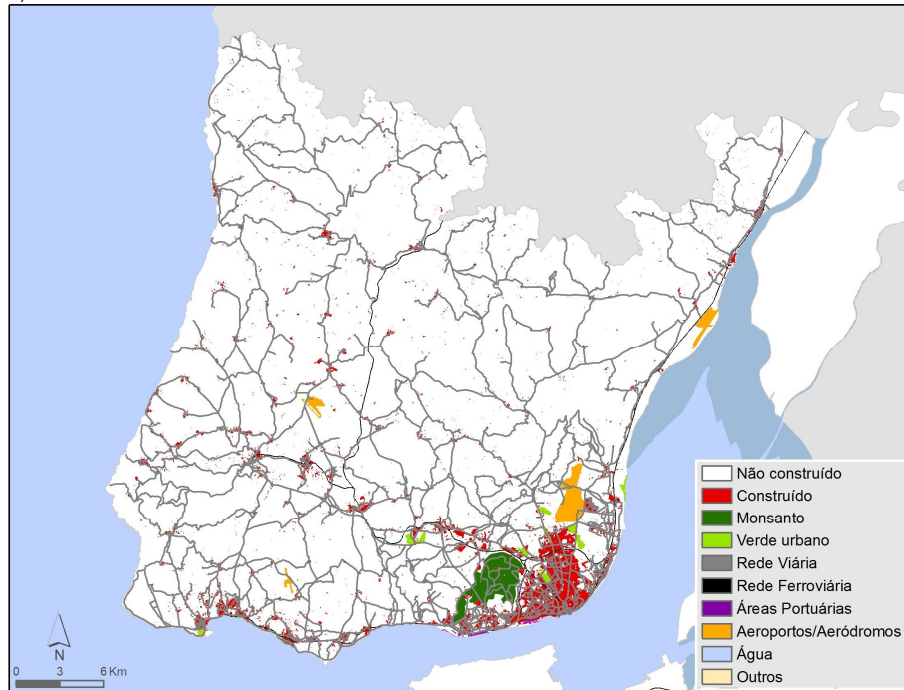
A todas as linhas foi atribuída a velocidade de 50 km/hora, à qual se juntou um tempo de paragem em cada estação de 3 segundos. Não foram contabilizados outros factores como a frequência de comboios. Independentemente das velocidades associadas, quer às estradas quer às linhas de caminho-de-ferro, existirá sempre um erro associado devido à vectorização, na medida em que o comprimento dos segmentos de recta de cada rede não será o real comprimento da mesma devido à generalização associado ao processo de vectorização e também à escala da informação de base (1:50000).

Como nota final, deve referir-se que para os três anos em análise foi considerada a mesma rede viária e ferroviária. Assume-se, assim, que ambas as redes não serão actualizadas, o que implica a não inclusão, por exemplo, das auto-estradas entretanto melhoradas e aumentadas como a A5 ou a A1. Esta tomada de decisão é suportada no pressuposto de que a rede de estradas existente em 1960 imprimia já a estrutura espacial determinante na expansão do território construído.

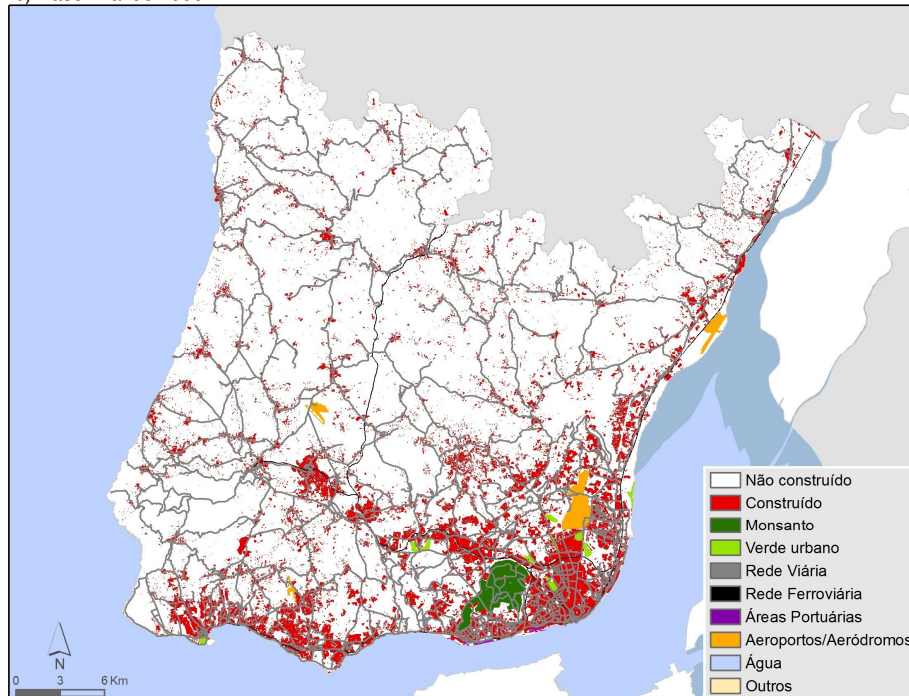
Assim, a partir das bases das áreas construídas, restrições, rede viária e ferroviária foi construída uma base final, em formato raster, da área de estudo (Figura 50).

Figura 50 – Áreas Construídas e restrições, 1960, 1990 e 2004⁹⁷

a) Base final de 1960

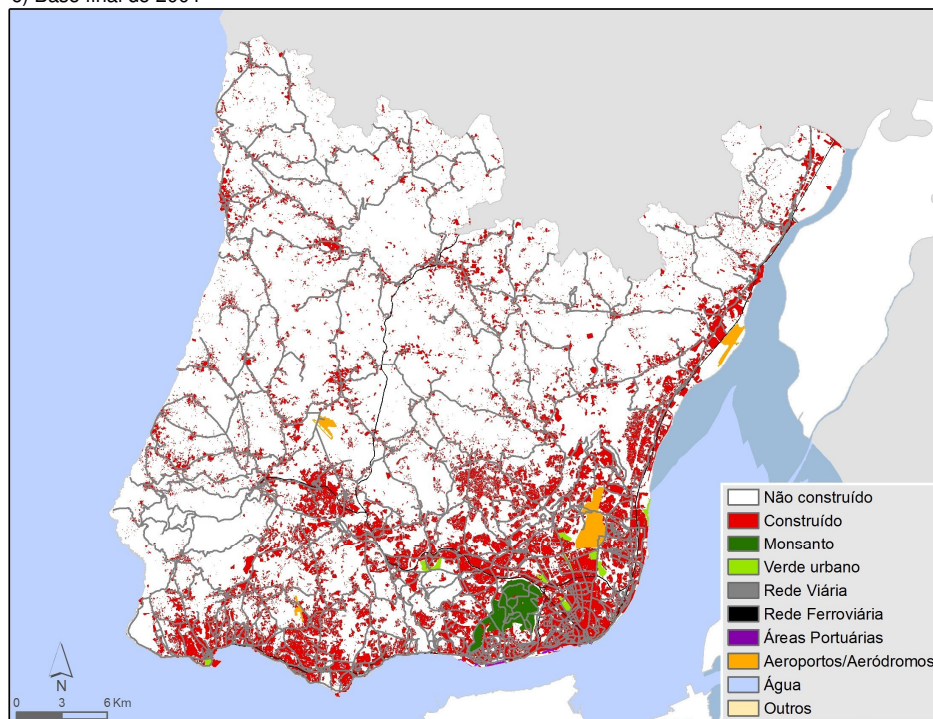


b) Base final de 1990



⁹⁷ Com o intuito de otimizar o tempo de processamento, dada a dimensão da área de estudo, eliminou-se a área do mouchão de Vila Franca de Xira, dado que o construído aí localizado é residual.

c) Base final de 2004



Os dados quantitativos revelam-nos a forte expansão do território construído ocorrida na segunda metade do século XX e início do século XXI (Tabela 6).

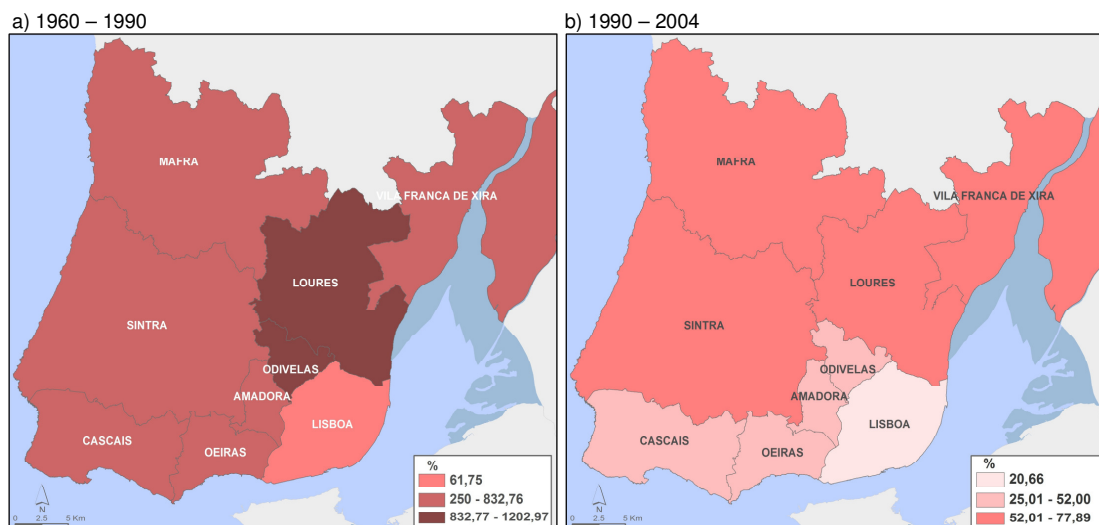
Tabela 6 – Percentagens de áreas construídas e taxas de variação, 1960, 90 e 2004

Margem Norte	1960	1990	2004
Área de construído (m2)	49.771.968,38	163.790.721,08	237.362.607,12
Área de construído (%)	4,24	13,96	20,23
Varição absoluta (m2)	--	114.018.752,70	73.571.886,05
Taxa de variação (%)	--	229,08	44,92
Tx. Var. média anual (%)	--	7,64	3,21

Embora tenhamos períodos de análise de diferente amplitude, i.e., 30 anos para o período entre 1960 e 1990 e 14 anos para o período entre 1990 e 2004, as percentagens de crescimento da área de construído não deixam de ser bastante significativas. Nas primeiras três décadas registou-se um aumento de 229,08%, o que corresponde a uma variação média anual de 7,64%. Já nos últimos 14 anos de análise registou-se um aumento de 44,92% com uma taxa média anual de 3,21. Estes valores vão de encontro às tendências observadas anteriormente relativas às dinâmicas do total de edifícios e de alojamentos. Não deixa de ser relevante o facto de a taxa de variação entre 1960 e 2004 representar 376,90%, com uma taxa média anual de 8,57%. Como curiosidade verifica-se que a área construída por habitante tem aumentado no período em análise, com 32,08m²/habitante em 1960; 64,98m²/habitante em 1990 e 84,95m²/habitante em 2004.

As taxas de variação das áreas construídas (Figura 51) são indicadoras do fenómeno de suburbanização ocorrido na AML, registando-se um mínimo de 61,75%, na cidade de Lisboa (o centro que inicialmente não consegue responder às necessidades habitacionais dos novos habitantes que afluem à cidade e que mais tarde perde mesmo habitantes para as periferias mais próximas) e um máximo de 1203% no concelho de Odivelas (quer este município, quer o município de Loures a ele contíguo foram alvos de uma grande procura de habitação de génese ilegal no início do período).

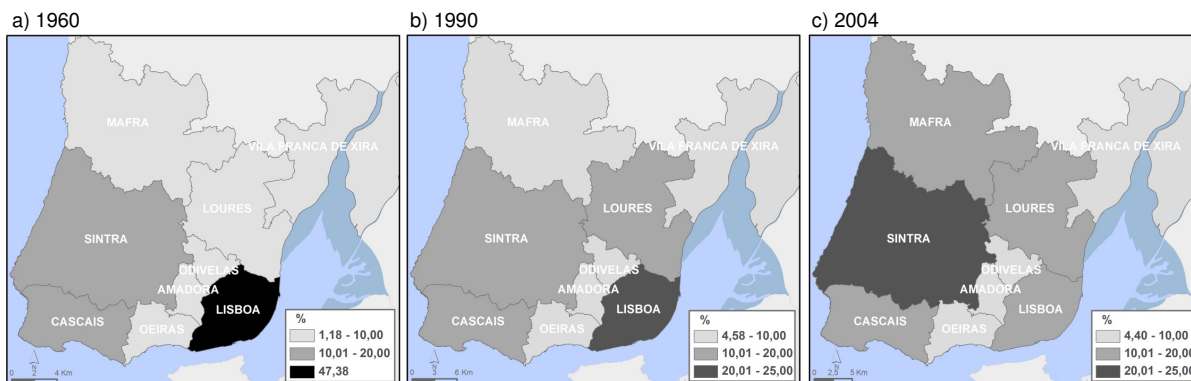
Figura 51 – Taxa de variação das áreas construídas, por concelho



Entre 1990 e 2004 regista-se uma diminuição substancial do ritmo de construção, com uma taxa máxima de 77,89% no concelho de Vila Franca de Xira. Os maiores ritmos de construção são registados na segunda coroa da periferia de Lisboa e não nos municípios tipicamente classificados como subúrbios da cidade centro, como Oeiras, Cascais, Amadora e Odivelas. O município de Sintra assume um duplo papel na medida em que congrega a pressão imobiliária associada a dois tipos de periferia: os subúrbios, no eixo da linha ferroviária e o peri-urbano no resto do território.

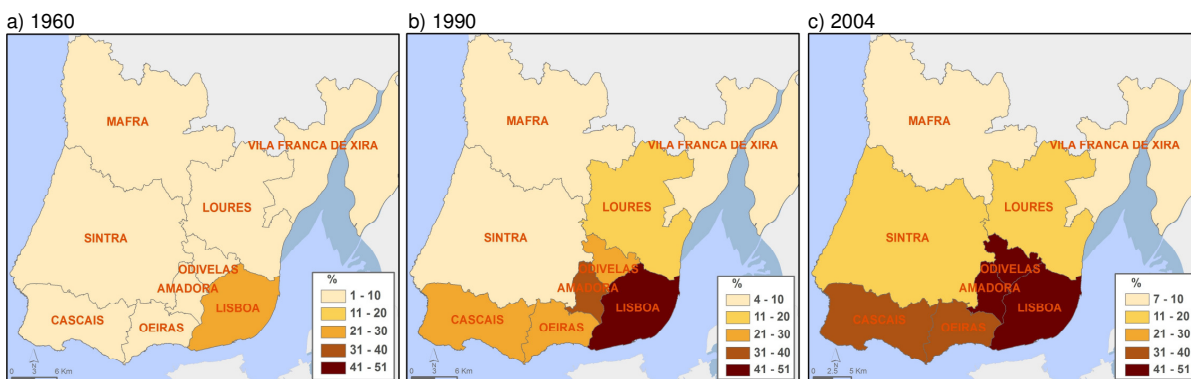
De facto, se olharmos para o peso relativo da área construída de cada concelho, no total de área construída na AML, em 1960, 1990 e 2004, verifica-se que o município de Sintra tem assumido um papel cada vez mais significativo no contexto da aglomeração de Lisboa (Figura 52). Em contrapartida, a diminuição do peso relativo do concelho de Lisboa demonstra bem a tendência para a ocupação nas periferias da cidade.

Figura 52 – Áreas construídas: percentagem de cada concelho relativamente ao total de área construída na AML



A análise concelhia dos dados de construído permite-nos ainda encontrar indícios de que a ocupação do território e a compactação do espaço disponível tem seguido a direcção centro-periferia, o que mais uma vez nos indica a existência de tendências claras de dependência da evolução das áreas construídas em função da distância (Figura 53).

Figura 53 – Áreas construídas: percentagem relativamente à área total de cada concelho



Importa agora analisar a estrutura espacial da distribuição das áreas construídas nos três períodos em análise, com o objectivo de encontrar não apenas tendências gerais de evolução mas também verificar comportamentos e propriedades do sistema territorial que comprovem a hipótese de partida de que estamos perante um sistema complexo.

3. EVOLUÇÃO DAS ÁREAS CONSTRUÍDAS DA AMLNORTE II: EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS DE COMPLEXIDADE

«(...) scientists are learning that what makes the social world complex isn't individual complexity, but the way the people go together, in often surprising ways, to create patterns.» (Buchanan, 2007:19)

Os comportamentos colectivos, que emergem da interacção de muitos indivíduos, geram padrões, estruturas e formas, isto é, revelam organização. As evidências empíricas que procuramos neste capítulo têm precisamente este objectivo, i.e., identificar que tipos de padrões são possíveis de ser encontrados e se os mesmos nos permitem um vislumbre da organização emergente que resultou dos comportamentos às diferentes escalas. O objectivo é encontrar padrões e não particularidades dos indivíduos *«Think Patterns, Not People»* (Buchanan, 2007).

Os territórios são entidades complexas, produtos da evolução social, cultural e económica que se materializam no espaço-tempo. Na micro escala decorrem dos milhares de interacções entre os seus constituintes, i.e., os indivíduos, as vizinhanças, as empresas, as instituições, etc. Nesta escala não é possível ignorar as relações económicas na base de transformações importantes, como a transformação da base produtiva ou as economias de aglomeração. A localização de actividades e diferentes estratos sociais da população que habita diferentes partes dos territórios, incorrem numa diferenciação espacial e funcional objecto de análise nos diversos modelos de dinâmica espacial.

A materialização no espaço destas interacções produz territórios construídos i.e., estruturas emergentes à macro escala com formas e padrões específicos a cada área de estudo. Estes padrões podem ser considerados como o resultado dos processos de auto-organização das escalas inferiores e como apresentam estruturas e padrões, a sua análise deverá indicar algumas tendências de organização e evolução dos territórios.

A análise que de seguida se apresenta, estruturada em três subcapítulos, terá assim como principal propósito a identificação de indícios de auto-organização e emergência nas estruturas espaciais encontradas que nos permitam elaborar um discurso de aproximação à complexidade no território. No primeiro subcapítulo analisar-se-á a não linearidade na distribuição do objecto de estudo (áreas construídas) em função de vários tipos de distância, variável que se considera determinante na estruturação do espaço e que vai ao encontro de vários casos de estudo internacionais dos quais se apresenta primeiramente uma síntese.

O segundo subcapítulo procura encontrar evidências da emergência de hierarquias espaciais resultantes de processos de auto-organização presentes no território. Por fim, no terceiro subcapítulo, será analisada a estrutura espacial das áreas construídas com a determinação do seu comportamento fractal nas três datas em apreço, com o intuito de classificar e comparar as unidades morfológicas encontradas com as tipologias de espaço existentes na AMLNorte.

3.1. A não linearidade da distribuição das áreas construídas e determinantes espaciais

O território é o resultado da acção, directa ou indirecta, das n -dimensões que interagem no espaço geográfico. As interacções entre os indivíduos, entre estes e as múltiplas estruturas a diferentes escalas, como o são as empresas, as estruturas governativas, a cultura, as relações sociais, a paisagem, os recursos naturais, o percurso histórico, etc., resultaram na emergência de um território onde a actividade humana actua e se desenvolve.

À escala micro, a acção de cada indivíduo, no espaço que ocupa e por onde se move e actua, é tão importante como a do seu vizinho. Não obstante, o conhecimento isolado da vida de um indivíduo acrescenta tanta informação à compreensão da evolução do território como «o conhecimento das moléculas de água acrescenta ao entendimento da dinâmica de um tsunami» (Buchanan, 2007). Em contrapartida, o comportamento agregado de grupos de indivíduos (i.e., a dinâmica dos agentes do sistema) pode permitir a identificação de padrões que sustentam a emergência de estruturas espaciais. Disto são exemplo os fluxos populacionais decorrentes das deslocações casa-trabalho, e a conseqüente emergência e/ou consolidação das tipologias de espaços funcionais, como o são os subúrbios ou as áreas peri-urbanas.

A materialização destas e outras dinâmicas traduzem-se, a nível espacial, numa partição do território em áreas onde predomina um ou outro uso/ocupação do solo. Estas áreas apresentam características próprias como a geometria (ex. a forma do seu perímetro) e a organização interna dos seus elementos (ex. a distribuição segue um padrão aleatório), mas também características de contexto local, como os tipos de classes de uso/ocupação que partilham a sua vizinhança, e/ou características supra-locais como por exemplo a dependência (económica, social ou outra) face a um aglomerado populacional de hierarquia regional.

No tempo, as dinâmicas do sistema imprimem alterações na organização do espaço. Os processos que conduzem à mudança de usos interagem a diferentes níveis de organização (Brammoh e Onishi, 2007), mas são também eles afectados pelos usos já existentes - veja-se a capacidade de atracção de novas construções das vizinhanças locais de áreas previamente construídas. Os mecanismos de feedback positivos que alimentam a ocupação do espaço são uma das características do processo de crescimento (i.e., conversão de áreas não construídas em áreas construídas), embora possam variar (no tempo e no espaço) na sua intensidade, já que estes são também afectados por outros inputs do sistema, como o contexto económico ou a regulação territorial. A não linearidade presente quer na localização das classes de uso/ocupação do solo, quer nas mudanças a estas afectas, é indicadora de que os processos de génese de produção de território, além de múltiplos e variados, não apresentam proporcionalidade simples entre causas e efeitos.

Na micro escala, exemplos de não linearidade nos processos de génese na formação de tecido construído podem estabelecer-se, por exemplo, na relação entre a escolha de localização da

residência e a localização do emprego. Clark *et al* (2003) analisaram esta relação em Seattle (EUA) entre 1989 e 1996, com o objectivo de perceber a sensibilidade às distâncias a percorrer, na escolha de localização ou realocação do emprego ou da residência. Os resultados revelam diferenças de comportamento entre famílias com duas fontes de rendimento e o indivíduo singular, embora em ambos os casos se tenha verificado que o tipo de decisão futura era dependente da condição anterior à mudança. No geral, ambas as tipologias de família diminuíram as distâncias após uma mudança, principalmente aqueles que apresentavam já longas distâncias entre casa e trabalho, à excepção dos que viviam a menos de 8 milhas (~13km), sobretudo em indivíduos singulares. Nas famílias com dois rendimentos, os autores encontraram também diferenças de género na medida em que, nos casos em que existiu apenas mudança de residência e não de emprego, as mulheres percorriam menores distâncias entre a casa e o trabalho, em contrapartida, a situação era inversa para as mudanças de residência e de emprego.

O anterior caso de estudo é apenas um exemplo das múltiplas interações que existem nas tomadas de decisão dos agentes do sistema e que se materializam na estrutura espacial de um território. Não obstante, as escolhas das famílias ou indivíduos na localização da residência são também dependentes à partida da disponibilidade e oferta de áreas construídas, e neste aspecto encontramos um outro tipo de agente com forte implicação no crescimento destas áreas, nomeadamente o promotor/construtor privado. Já no fim da década de 60, Craven (1969) alertava para o facto de ser este o maior fornecedor de habitação e o maior agente de mudança.

« (...) the developer is a catalyst who interprets, albeit inaccurately, major forces in the urban environment; an initiator of action based on this interpretation and a challenger of public policies which obstruct such action.» (Craven, 1969:2)

Craven (1969), numa análise ao sistema britânico e especificamente no condado de Kent, para os anos de 1956, 1959 e 1964, identificou diferentes estratégias espaciais em promotores/construtores com diferentes características, nomeadamente, a dimensão da empresa e o principal local de actuação. Assim, os agentes locais de menor dimensão actuavam sobretudo em pequenas parcelas, e em processos de *infill*, enquanto que os agentes de maior dimensão procuravam grandes áreas para construir, a maiores distâncias dos principais aglomerados, mas bem servidas pelo sistema de transportes - resultados que vão ao encontro do trabalho desenvolvido por Wolfe sobre em Seattle (EUA), para o ano de 1961 (citado por Craven, 1969). Em contraponto, Kaiser (1966, citado por Craven, 1969) refere que em Greensboro (EUA) são os grandes promotores/construtores que se localizam mais perto da cidade principal.

Como fica evidente, a complexidade inerente à tomada de decisão dos diferentes agentes não se resume apenas aos anteriores casos de estudo apresentados, estes servem apenas para exemplificar que, na escala micro, o conjunto de factores que influenciam o crescimento das áreas construídas apresenta diferentes dimensões e manifesta-se a diferentes escalas, resultando em padrões espaciais diferenciados, nos quais nem sempre as mesmas causas determinam as mesmas consequências.

Mas para além dos diferentes agentes e actores do sistema importam também as componentes do mesmo, isto é, elementos como a rugosidade do terreno, os vários recursos naturais, a materialização física da ocupação humana, como as áreas construídas, as infra-estruturas de transporte, as áreas protegidas, etc. Estes determinam e são determinados pela acção e dinâmica dos agentes, como fica patente nos seguintes casos de estudo.

Bourne (1969, citado por Wilder 1985) desenvolve um dos primeiros estudos à escala da parcela, com o objectivo de detectar os determinantes de uso/ocupação do solo na cidade de Toronto (Canadá). Como determinante global, responsável pelas alterações registadas, identificou a posição relativa das parcelas face à distância ao centro populacional principal (i.e., as parcelas mais próximas do centro apresentavam maior probabilidade de sofrerem processos de sucessão⁹⁸). No entanto, do conjunto destas parcelas Bourne (1969, citado por Wilder 1985) verifica que seriam as características específicas de cada sítio (ex. o tamanho da parcela ou a situação no tecido urbano) que determinavam aquelas que seriam na verdade alteradas, revelando o forte carácter probabilístico das alterações de uso/ocupação:

«Urban space is severely compartmentalized by the tendency for real estate sub-markets to operate independently, reinforced by zoning ordinances and the inertia of inheritance from past periods. (...) As a result, succession tends to be complex, discontinuous in both space and time, slow in pace, and to contain a strong probabilistic basis.» (Bourne, 1971:2)

Apesar das interdependências notadas nos processos de conversão ou sucessão (quer na cidade, quer na periferia), o autor identificou estabilidade no espaço e no tempo em determinados usos, facto que permite a existência de padrões de evolução. A estabilidade referida prende-se com as interações e interdependências entre determinados usos, como são disso exemplo, a passagem da classe de uso armazenagem para a classe industrial, ou no caso da conversão de espaços, a transição de uso agrícola para residencial, ou mesmo a manutenção, a longo termo, do tecido construído, embora o mesmo possa sofrer processos de intensificação (sendo esta também uma regularidade encontrada pelo autor):

«Nevertheless, once an area is occupied by a given class of use the environment created is such that land is often removed from subsequent occupance by different uses, unless succession is of a significant scale to alter this environment. Land fragmentation, heterogeneity of ownership, and property obligations make this scale of change immensely difficult. Thus, existing patterns and use environments should persist through succession.» (Bourne, 1971:4)

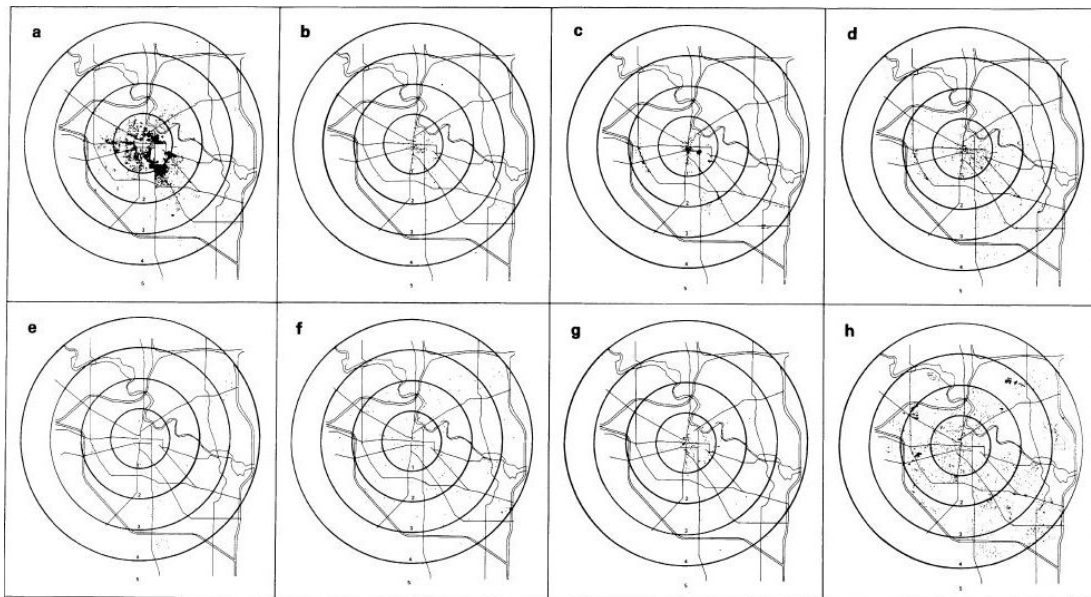
⁹⁸ O termo sucessão foi inicialmente utilizado em ecologia para descrever a evolução de comunidades naturais por substituição sequencial (sucessão ecológica), tendo sido adoptado em sociologia para designar o processo pelo qual uma área social é ocupada por membros de outra área social e usualmente de um grupo social diferente (Bourne, 1971). No uso do solo refere-se, por exemplo, à substituição de uso agrícola por construído, alteração decorrente do facto deste último gerar maiores mais-valias – i.e., a concorrência entre usos dita a competição pela localização (Bourne, 1971).

Num estudo semelhante, Wilder (1985) desenvolve uma análise à micro-escala, em Ann Arbor (EUA), para os anos de 1975 e 1982, para detectar os determinantes espaciais envolvidos na conversão de áreas não construídas para construídas ou na alteração de uso. Mais uma vez são identificadas duas escalas de determinantes:

«Individually, land use activities display fairly distinct location preferences. At an aggregate level, Ann Arbor possesses a “core area” of heterogeneous land uses and a “periphery” of fairly homogeneous activities. (...) In these respects, Ann Arbor differs little from most North American cities.» (Wilder, 1985: 335)

Apesar das diferenças de cada uso, Wilder (1985) refere que a localização relativa é um factor comum aos diversos usos e esta influência é atribuída a factores de acessibilidade como se verifica na Figura 54.

Figura 54 – Distribuição espacial de usos do solo por áreas de distância ao CBD, Ann Arbor, 1975



Classes de Uso: a: multifamiliar; b: residencial/comercial; c: comercial; d: serviços; e: industrial; f: recreio/lazer; g: transportes, comunicações e outras infra-estruturas, h: baldios
Fonte: Wilder, 1985

A problemática das distâncias relativas é também encontrada noutros territórios contrastantes como é o caso da cidade de Lagos (Nigéria). Aqui, Braimoh e Onishi (2007) verificam que a probabilidade de conversão do território em áreas residenciais e/ou industriais e comerciais diminui com o aumento da distância às estradas. Num conjunto de 21 variáveis analisadas (topográficas, superfícies de distâncias custos, populacionais, índices de vizinhança, índices espaciais e potencial de rendimento) os autores encontram também resultados diferenciados para as várias tipologias de uso do solo. Por exemplo, 90% das variáveis são relevantes para explicar as mudanças de uso do solo residencial, enquanto que apenas 52% destas parecem ser relevantes nas alterações de usos industrial e/ou comercial. Mesmo as variáveis que são comuns a ambos os usos apresentam comportamentos ou magnitudes diferenciados, como por exemplo na frequência de área não

construída na vizinhança de 270 m e 1260 m. Ou seja, a conversão para uso residencial conhece um aumento de probabilidade na primeira vizinhança, mas um comportamento inverso na distância de 1260m. A conversão para uso industrial apresenta uma interacção negativa com as mesmas variáveis mas numa magnitude bastante superior à do uso residencial.

Numa análise agregada, i.e., conversão das áreas não construídas em áreas construídas, Batisani e Yarnal (2009) verificaram que na Pensilvânia (condado de Centre), EUA, entre 1993 e 2000, os principais determinantes espaciais tinham sido os factores biofísicos, como a topografia, a capacidade dos solos para uso agrícola (a transição ocorreu sobretudo em antigas áreas agrícolas, localizadas em vales férteis), e a proximidade a centros populacionais. Em contrapartida, o zonamento e a densidade populacional registaram pouco impacto nas alterações registadas. Contudo, no que diz respeito à capacidade dos solos para uso agrícola e sabendo que a área de estudo é dominada por usos agrícola e florestal, não fica claro se esta deve ser entendida como determinante ou se, por outro lado, deverá ser entendida como uma inevitabilidade estatística.

As especificidades locais (como a estrutura de usos no anterior exemplo) são precisamente um dos factores que incutem não linearidade na distribuição dos diferentes usos do solo e nas alterações associadas, assim como na interpretação dos resultados da investigação desenvolvida nesta matéria. Parece ficar claro que apesar do vasto número de casos de estudo (em diferentes áreas e em diferentes escalas de análise), não existe ainda uma clara noção de determinante espacial e do seu significado, aliada a uma nomenclatura global apoiada num conjunto de metodologias compatíveis entre si.

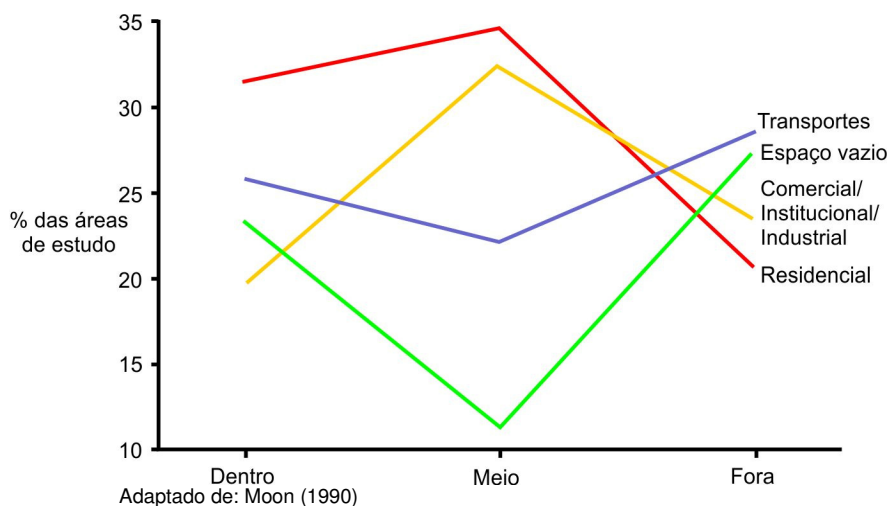
Neste ponto, Lambin *et al* (2001)⁹⁹, desenvolveram uma análise crítica a várias ideias prevalentes sobre as causas de mudança de uso/ocupação do solo. A desflorestação foi uma das transições de uso analisadas e para a qual se referem como determinantes o aumento da população e a pobreza. No entanto, os autores verificaram que na América Latina, na África Central e no Sudeste Asiático existem determinantes e processos de alteração diferenciados. Na América Latina, a fase inicial de desflorestação e colonização por população com fracos recursos é seguida por população com maiores recursos financeiros. Os consequentes investimentos e ganhos de capital, também apoiados por subsídios, alteram as condições dos preços dos solos, fazendo com que a população com menores recursos se desloque para maiores distâncias (onde o preço do solo é ainda acessível), reiniciando o ciclo de transformação do espaço. Já na África Central, a forte dependência face aos recursos naturais (para alimentação e geração de rendimento), aliada a uma fraca regulação e alta corrupção, gera um contínuo de desflorestação que é seguido pela população migrante. Os padrões de novos crescimentos estão intimamente ligados a factores

⁹⁹ A equipa de 26 investigadores, de diferentes áreas de conhecimento, analisaram diversos casos de estudo em várias regiões do mundo, procurando demonstrar que algumas ideias simplificadas sobre os determinantes das alterações de usos do solo devem ser repensadas. O trabalho resultou de um workshop realizado em 2000 na Real Academia Sueca de Ciências e foi organizado pelo programa conjunto *Land-Use and Land-Cover Change* (LUCC - <http://www.igbp.net/page.php?pid=250>) do IGBP (*International Geosphere-Biosphere Programme* - <http://www.igbp.net/>) e do IHDP (*International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change* - <http://www.ihdp.unu.edu/>).

socioeconómicos globais e locais, como a desvalorização da moeda, alterações nos preços de mercado dos bens agrícolas, conflitos sociais e agricultura por contratação. No Sudeste asiático, a análise dos diferentes casos de estudo revelou que os estados desta região procuram a estabilidade sociopolítica e financeira através do lançamento de grandes projectos relativos à floresta, quer sejam a extracção de madeira quer plantações. A dificuldade em cumprir a regulação nas concessões para a extracção da madeira, tem como consequência espacial a emergência de povoadamentos espontâneos.

Em ambientes urbanos, as infra-estruturas, e nomeadamente as de transporte, são um dos factores geralmente referidos como tendo uma forte implicação nas alterações de uso/ocupação. Moon (1990) analisou as mudanças de usos do solo ao redor de 20 estações de comboio (numa área de 0,35 milhas², ~0,91 km²) localizadas nos subúrbios de Washington, D.C e em San Francisco/Oakland, EUA. Do conjunto das áreas em volta das estações analisadas, quatro encontravam-se já construídas a 40% (usos comercial, industrial e institucional), duas mantinham 40% da área ainda não construída e em cinco o uso residencial perfazia 40%. As diferenças de percentagem de área ocupada por construído explicam-se em parte pela idade da estação, com as mais recentes a registarem percentagens de ocupação menos elevadas. Relativamente à distância das estações face ao CBD mais próximo verificam-se também diferenças na distribuição dos diferentes usos do solo como se constata na Figura 55.

Figura 55 – Percentagem de usos do solo por área de estação e posição relativa ao CBD



Segundo Monn (1990) as tendências verificadas poderiam indicar uma onda de desenvolvimento económico no sentido extrínseco relativamente às áreas metropolitanas principais, no entanto, e apesar destas tendências gerais, o autor verifica que individualmente, as áreas analisadas parecem ser influenciadas por condições locais como o mercado, restrições, acessibilidade, população, condições geográficas, etc. (Moon, 1990:86).

Os territórios são a expressão da actividade humana no espaço geográfico. O tecido construído é a dimensão material mais visível dessa actividade, com fortes e diversas implicações no meio. A

multiplicidade de factores que contribuem para a produção de tecido construído e as dinâmicas que se desenrolam no tempo nesse mesmo tecido construído, contribuem para a emergência de diferentes categorias ou tipologias de território, como as cidades, os subúrbios, as áreas peri-urbanas, e as áreas rurais. Estas são o resultado da acção de agentes e componentes que actuam em diferentes escalas (Fisher, 2003). A cada escala de análise são identificados diferentes factores e determinantes que condicionam ou promovem a forma como o espaço geográfico é ocupado e os vários factores explorados nos anteriores casos de estudo apontam para este facto (Tabela 7).

Tabela 7 – Variáveis nos diferentes casos de estudo analisados

Espaciais	Outras
Elevação (m)	Alteração do valor acrescentado da indústria e serviços
Declives (grau)	Potencial de população
Distância a água (m)	Alteração do potencial de população
Distância a áreas protegidas (m)	Idade das parcelas ou dos edifícios
Distância ao CBD (m)	Movimentos populacionais entre unidades espaciais analisadas
Distância às estradas (m)	Tipologia de alojamento e número de quartos
Distância à rede de água (m)	Tipo de promotor/construtor
Distância à rede de esgotos (m)	Promotor/construtor locais
Distância a centros urbanos (m)	Promotor/construtor locais não locais com sucursais na área de estudo
Distância-tempo a centros industriais (min.)	Promotor/construtor locais não locais com sucursais fora da área de estudo
Distância-tempo ao principal centro comercial (min.)	Densidade populacional
Distância-tempo às estradas principais (min.)	
Distância-tempo ao porto (min.)	
Distância-tempo ao aeroporto (min.)	
Distâncias pendulares	
Área das residências (m ²)	
Dimensão das parcelas (m ²)	
Capacidade de uso agrícola (fertilidade do solo)	
Frequência de área não construída, residencial e industrial/comercial nas vizinhanças de 270 m, 630 m e 1260 m.	
Zonamento	

Algumas das variáveis são específicas a cada estudo, mas uma grande parte das variáveis espaciais são comuns aos diferentes estudos, nomeadamente as variáveis relacionadas com a topografia, como os declives ou a elevação e as variáveis relacionadas com a distância. A distância, e as distâncias a vários componentes dos sistemas, afiguram-se mesmo com uma das variáveis mais analisadas e parece ser um dos determinantes que mais se aproxima da invariância de escala, no sentido em que é um factor comum às diferentes escalas analisadas. A distância ou os vários tipos de distância permitem-nos a compreensão da distribuição das áreas construídas (ou dos diferentes usos), em função da geometria do espaço-tempo de um território e será esta também uma das variáveis de base à análise da evolução da distribuição destas áreas na AMLNorte que se desenvolve de seguida. Por distância entende-se a medida de separação/proximidade entre dois, ou mais, objectos, num dado espaço e numa determinada métrica. Especificamente, a distância será a medida utilizada para a identificação de padrões de distribuição das áreas construídas no espaço em análise e a quantificação da estrutura desses mesmos padrões.

3.1.1. A não linearidade na distribuição espacial das áreas construídas da AMLNorte

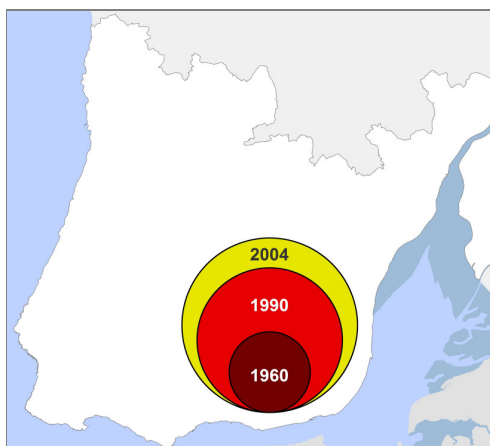
Entre 1985 e 2000 a transição de áreas agrícolas para áreas construídas caracterizou-se como uma das principais mudanças de ocupação do solo a nível nacional (Caetano *et al*, 2005). No conjunto das NUTS II, a região da Grande Lisboa registou a segunda maior taxa de alterações com 8,4% (Grande Porto 11,4%), sendo de realçar que a única classe de ocupação a conhecer uma variação positiva foi a classe dos *Territórios artificializados* (Caetano *et al*, 2005).

A forma como estes territórios se materializam e expandem no espaço geográfico condiciona o equilíbrio do sistema territorial que nele assenta, já que a morfologia das áreas construídas terá implicações directas e indirectas na gestão e equilíbrio daquele mesmo sistema. Por exemplo, a maior ou menor compactação e concentração das áreas construídas (e dos diferentes usos) determinará um menor ou maior custo associado ao transporte público e/ou privado, derivado do aumento/diminuição das distâncias a percorrer.

Exemplos como o anterior ganham importância em contextos (locais e globais) de crise económica e elevados preços de combustíveis como o momento presente. Porém, mesmo em contextos onde os custos com o petróleo e derivados não se evidenciam, a morfologia das áreas construídas quando traduzidas numa forte dispersão provocam a fragmentação de espaços e interrompem a comunicação de áreas funcionais do sistema que contribuíam para a sua dinâmica e equilíbrio internos. Veja-se por exemplo a diminuição dos espaços agrícolas, florestais e naturais/semi-naturais e as conseqüentes perdas generalizadas ao nível de autonomia alimentar, de matérias-primas, de biodiversidade e qualidade ambiental dos espaços habitados.

Neste sentido, a Figura 56 demonstra como seria possível obter, para a mesma quantidade de área construída, diferentes configurações espaciais, ainda que extremas. Isto é, o círculo, com um nível de compactação máximo corresponderia a uma optimização máxima das áreas construídas, no total de espaço disponível na AMLNorte, contudo, a distribuição das áreas construídas nos três períodos (1960, 1990 e 2004) revelam-nos que a distribuição espacial tem seguido outras formas que interessa compreender.

Figura 56 – Área de círculo equivalente à área construída de 1960, 1990 e 2004, AMLNorte



Partindo da observação das bases das áreas construídas de 1960, 1990 e 2004 (Figura 50a, b e c – p. 90) é possível delinear a hipótese de partida, i.e., a de que existem elementos estruturadores, a diferentes escalas, na organização das áreas construídas, nomeadamente:

- a) A cidade de Lisboa - dado o seu carácter de pólo principal e estruturador de longa data na AMLNorte, resultando e resultado de um modelo territorial monocêntrico. Não obstante, assistiu-se, a partir da segunda metade do século XX, a um forte crescimento das periferias, caracterizado numa primeira fase, sobretudo, pelo avanço de áreas residenciais. Numa segunda fase, e particularmente a partir dos anos 90, iniciam-se os primeiros focos de descentralização de empresas para os concelhos mais próximos de Lisboa, como são exemplo os parques empresariais, de ciência e tecnologia instalados no município de Oeiras. Esta mudança gradual, mas consistente, marcaria o início do processo de transição para o modelo policêntrico, caracterizado por um aumento da autonomia das periferias (Pereira e Nunes da Silva, 2008; Salgueiro, 2001). Embora ainda não totalmente consolidado torna-se uma opção política preconizada na actual alteração ao PROTAML (CCDRLVT, 2009) seguindo as ideias estabelecidas no PROT em vigor (aprovado em 2002) e objecto da actual alteração. Embora tais alterações influenciem a dinâmica e expansão do tecido construído, considerar-se-á a distância ao centro de Lisboa como determinante espacial dado que: 1) a dimensão temporal da estrutura espacial das áreas construídas é, em norma, largamente superior às transformações internas que aí ocorrem, 2) o possível policentrismo existente é ainda fortemente marcado pela cidade centro, como são disso indício as deslocações pendulares, i.e., no total das deslocações da AMLNorte (eliminando as deslocações internas de cada concelho), as com destino à cidade de Lisboa representavam, em 1991, 75% e em 2001 66% do total¹⁰⁰ - embora em trajectória decrescente são ainda representativas) e 3) o facto do período de estudo (1960 a 2004) acompanhar ambos os modelos territoriais obriga também à consideração da escala metropolitana representada na distância à cidade de Lisboa.
- b) As sedes de concelho - na medida em que se tem como hipótese que as sedes de município exercem uma dinâmica semelhante à do centro da cidade de Lisboa, embora a uma escala local e com diferentes intensidades. Dito de uma outra forma, espera-se encontrar uma replicação da capacidade de atracção e concentração das áreas construídas de diferentes “pontos” estruturais em diferentes escalas.
- c) A rede viária – esta confere uma forte estrutura espacial de longa duração que determina fortemente a ocupação do território, dada a necessidade intrínseca de deslocação, comum a indivíduos e actividades. A distância a que nos reportamos não é, nem pretende ser, uma análise de acessibilidade ou a evolução desta no tempo, embora se reconheça que a melhoria da rede de estradas (com a inclusão de auto-estradas, ou alargamento de

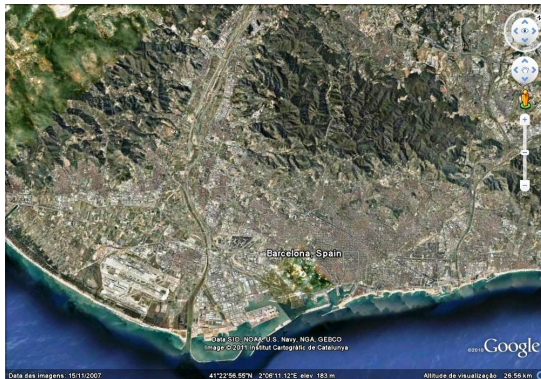
¹⁰⁰ Percentagens calculadas a partir dos dados do Recenseamento Geral da População de 2001 e 1991, nomeadamente no quadro «população residente, a exercer uma profissão e estudantes, por concelho/freguesia de residência e concelho de trabalho ou estudo» (INE, 2001; INE 1991).

faixas de rodagem, etc.) incute uma deformação no binómio espaço-tempo, nomeadamente com a diminuição dos tempos de percurso (pelo menos se não forem contabilizadas as perdas de acessibilidade resultantes da congestão de tráfego ou do custo associado ao pagamento de portagens, por exemplo).

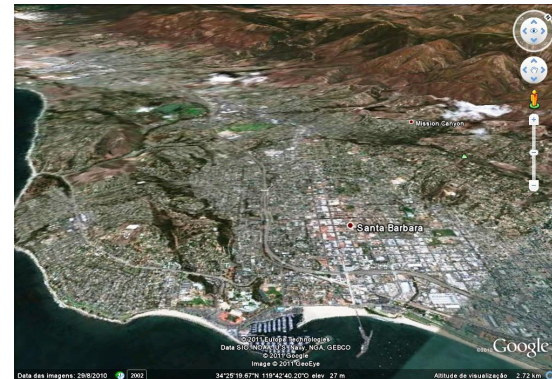
- d) As estações de caminho-de-ferro – funcionando estas como pontos de acesso a uma infra-estrutura de transporte que permite a deslocação de indivíduos entre os diferentes municípios e principalmente o acesso à cidade de Lisboa. A disposição espacial das estações de caminho-de-ferro reforça, ou poderá reforçar, a consolidação de padrões já existentes que poderão ter na sua génese outros factores.
- e) Os declives – partindo da ideia de que estes conferem “atrito” na distribuição das áreas construídas, já que os custos da ocupação aumentam com o aumento do declive. Assume-se, porém, que esta variável ganha um maior papel apenas em áreas onde predominam declives acentuados, funcionando estes como áreas “estanque” à expansão do tecido construído como se verifica, por exemplo, na área de Barcelona (Espanha) ou Santa Barbara (EUA) (Figura 57).

Figura 57 – Áreas de expansão constringidas pela morfologia do terreno

a) Barcelona, Espanha



b) Santa Barbara, EUA



O objectivo do presente sub-capítulo será analisar a distribuição das áreas construídas em função da sua proximidade aos elementos estruturadores supracitados. Desta forma, defende-se que a distância é um determinante na formação do conjunto das áreas construídas e actua a diferentes escalas

Relembrando que a hipótese de fundo trata o espaço geográfico e a formação de territórios como um sistema complexo, não podemos deixar de reflectir sobre as consequências da interacção entre duas ou mais funções. Esta questão ganha importância se tivermos em conta, por exemplo, a existência de diferentes formas de ocupação do espaço como o são o disperso e o compacto. Ou seja, estas categorias apresentam comportamentos díspares relativamente à proximidade a Lisboa. Na sua formação (à escala micro) “escondem-se” processos de decisão de indivíduos e famílias que no seu conjunto revelam o padrão no qual os pequenos aglomerados mais dispersos

tendem a localizar-se mais afastados do núcleo principal e as grandes manchas compactas a menores distâncias.

A problemática das opções individuais, na formação de áreas construídas fora das grandes cidades, foi abordada por Geoffrey Caruso (2005). O autor abordou a questão da expansão urbana explorando a emergência e a morfologia das áreas periurbanas em quatro países: França, Holanda, Bélgica e Reino Unido. Especificamente procurou compreender a morfogénese dos padrões residenciais periurbanos e os processos que estão na sua origem, com o objectivo de testar se a diversidade dos padrões espaciais periurbanos poderiam resultar das mudanças nas escolhas dos indivíduos, relativamente à localização da residência. Uma das conclusões é que a morfologia espacial das áreas periurbanas varia em muito de local para local, e é dependente de características regionais e locais, como o processo de planeamento. Recorrendo à modelação concluiu que a morfologia é fortemente dependente do peso relativo das preferências das famílias/indivíduos face ao bairro, por exemplo no que diz respeito às amenidades sociais (como os bens públicos) e ambientais (como os espaços livres). Como hipótese de partida, Caruso assumia que as forças de aglomeração-dispersão à escala local (do bairro) e à escala regional estavam na origem de um padrão de usos mistos à volta da cidade. Esta hipótese foi integrada numa abordagem de simulação microeconómica, espacial, dinâmica, discreta e dependente do percurso tomado (*path-dependent*). Os resultados da simulação permitiram identificar alguns determinantes das escolhas residenciais como a importância dada aos espaços verdes (quanto maior essa preferência, maior a tendência para uma ocupação dispersa em áreas de matiz mais rural); os custos de deslocação (quanto menores maior a tendência para a expansão da área periurbana); o preço das parcelas de terreno (os preços variam não apenas com a distância mas também com a qualidade do meio que a envolve, é então um equilíbrio entre escalas); a dimensão temporal da expansão urbana, sendo que as cidades precisam de atingir um determinado tamanho limite para que a “cintura” periurbana se desenvolva; a existência de cinturões verdes que diminuem o preço das parcelas na área central das cidades e aumentam o seu valor nas áreas próximas a estas; padrões de segregação e políticas sociais (como subsídios ao transporte e ao rendimento) que podem aumentar o grau de suburbanização das famílias mais carenciadas (Caruso, 2005).

Da anterior análise à micro-escala verifica-se que da panóplia de factores que constringem ou potenciam as diferentes formas de ocupação do espaço, a distância configura-se mais uma vez como uma variável directa ou indirecta na formação do tecido construído. Espera-se, portanto, encontrar indícios de que a organização do espaço em função da distância será um dos padrões emergentes, característicos dos sistemas territoriais.

Assim, com o objectivo de explorar as ideias anteriormente expostas procedeu-se à construção das superfícies de distância, a partir da base vectorial da rede viária, extraída das cartas 1:50 000 da década de 60 (Figura 48 – p. 88).

A construção das superfícies de distância é sempre um processo incompleto na medida em que nelas se encerram diversos constrangimentos técnicos. Por exemplo, poderão existir diferenças

significativas entre as distâncias reais percorridas e as distâncias medidas em bases vectoriais que assentam em escalas específicas e que sofreram processos de generalização que diminuem o comprimento dos segmentos considerados. Este problema poderá ser contornado com a atribuição de valores de comprimento reais para cada segmento¹⁰¹. No entanto, existem ainda outros factores a considerar como as velocidades máximas consideradas, as horas de ponta, o número de faixas, se as estradas são urbanas ou não urbanas, a topografia, entre outros (Dubuc, 2007). Todos estes factores contribuem para que as velocidades reais sejam muitas vezes diferenciadas das velocidades máximas permitidas por lei. A escolha de uma velocidade média (que não considera por exemplo, a hora do dia, ou a época do ano) é então sempre problemática e a escolha deve ser ponderada em função dos objectivos, do tempo e recursos materiais, humanos e financeiros disponíveis.

A base vectorial da rede viária de 60 (Figura 48, p. 88) foi convertida para formato raster, na qual cada célula terá um custo-tempo de atravessamento. Para este cálculo, transformaram-se as velocidades, de cada tipologia de estrada, em metros/hora, tendo sido necessário acrescentar a velocidade de 5km/hora (5000metros/hora) nas células não classificadas como estrada, sendo esta a velocidade média usualmente considerada para um indivíduo a pé (LaPlante e Kaeser, 2007; Knoblauch *et al*, 1996)¹⁰². Entre o intervalo de valores médios estimados, por diferentes autores, optou-se pelos 5km/h (valor máximo encontrado na bibliografia consultada) dado que a base da rede viária apresenta apenas as estradas à escala 1:50000 e se depreende que nas restantes áreas existam estradas secundárias e locais onde se circule de automóvel. As restantes velocidades resultaram de uma análise das velocidades definidas nos três planos rodoviários nacionais (PRN), nomeadamente de 1945, 1985 e 2000 sintetizados em Figueira de Sousa *et al* (2009). Procurou-se também distinguir as estradas que passam no interior de aglomerações, conforme defendido por Dubuc (2007) referindo Kelly *et al* (2002)¹⁰³. A denominação utilizada procurou apenas criar uma hierarquia de vias de onde se distinguisse apenas as velocidades e não outras características (razão pela qual as denominações utilizadas não apresentam correspondência directa com as definidas nos diferentes PRN). Por fim, transformaram-se os km/hora em tempo de atravessamento em minutos (Tabela 8).

¹⁰¹ Os custos associados a esta opção (tempo e recursos) não se coadunavam com o presente trabalho, razão pela qual não foi aqui incluída.

¹⁰² Também esta velocidade é uma média estimada, sendo que as velocidades dos peões dependem de vários factores como a idade (entre 3,3km/h para idosos e 5km/h para jovens), a condição física, obstáculos, tempo de percurso, declives, multidões, entre outros, assim como a vida da própria cidade. Neste último caso salienta-se um estudo internacional, liderado por Richard Wiseman desenvolvido no início dos anos 90 e no qual foi medida a velocidade média de atravessar sensivelmente 18 metros em várias cidades. Os resultados variam entre 10,55 segundos em Singapura (Singapura) e 31,60 segundos em Blantyre (Malásia). Para mais informações: <http://www.paceoflife.co.uk/> e em http://www.eltis.org/show_news.phtml?newsid=914&mainID=eld=all

¹⁰³ Kelly, M.; Flowerdew, R.; Francis, B.; Harman, J. (2002) Measuring accessibility for remote rural populations. Kidner, D.; Higgs, G.; White, S. (eds.) *Socio-Economic Applications of Geographic Information Science, Innovations in GIS*, CRC Press, USA, Volume 1, Part 5, pp. 199 – 211.
<http://www.informaworld.com/smpp/content~content=a728506350~db=all~jumptype=rss>

Tabela 8 – Minutos de atravessamento, de cada célula, por tipologia

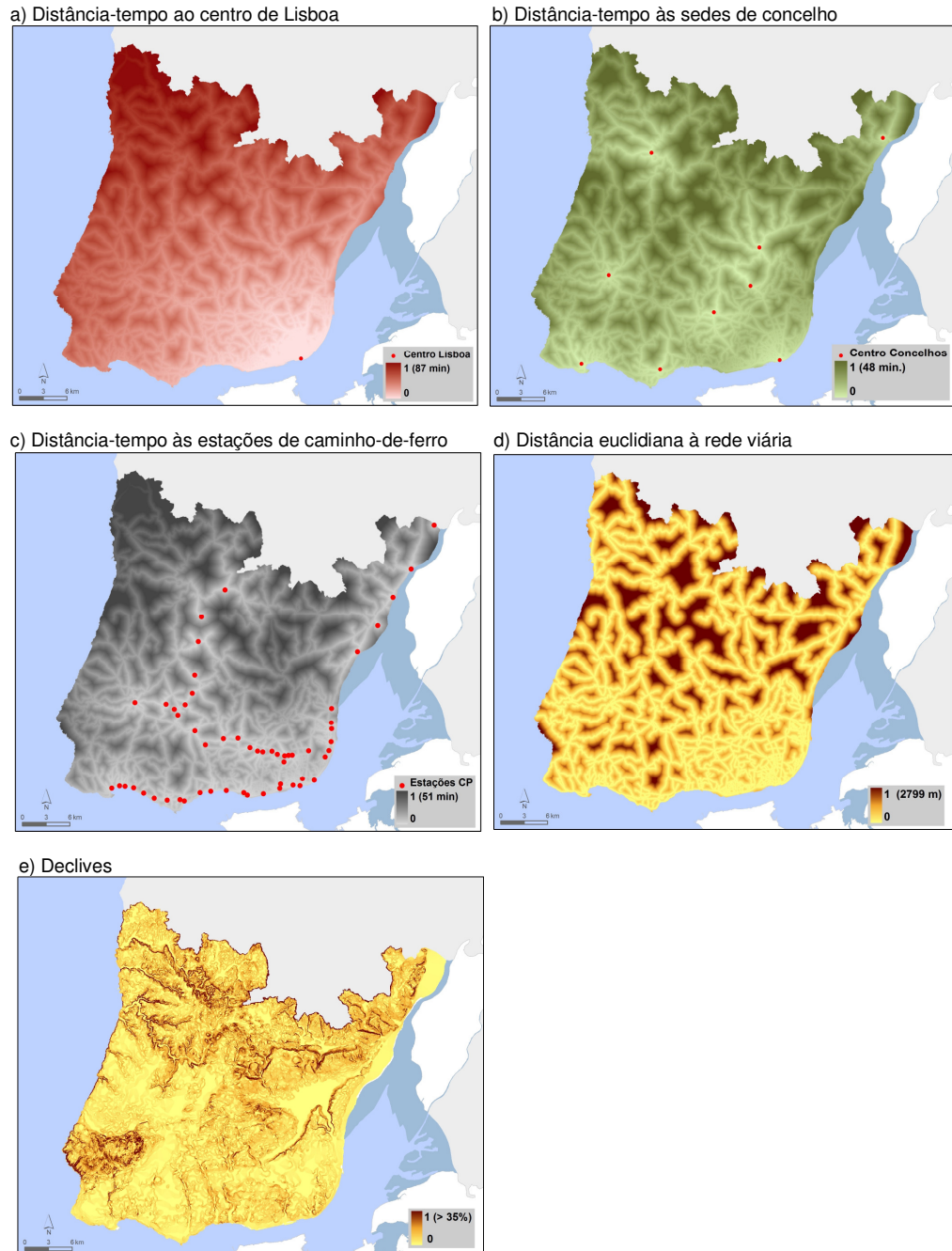
Tipologia	Tipologia (km/h)	Minutos/metro
Pedonal	5	0,01200
Local	40	0,00150
Rural	60	0,00100
Via Principal	70	0,00086
Via Rápida	90	0,00067

Para o cálculo das distâncias pretendidas foi necessário definir e localizar os pontos a partir dos quais se calculam as distâncias, nomeadamente para a distância a Lisboa e a distância às sedes de concelho. A noção de centro de um qualquer espaço geográfico pode encerrar um forte debate em si mesmo, uma vez que poderão ser definidos diferentes tipos de centro, nomeadamente, o centro administrativo (localização da câmara municipal), o centro económico, o centro geométrico, entre outros. O centro económico não foi escolhido na medida em que varia no tempo e a sua definição requeria uma investigação específica que não se adequava aos objectivos propostos nem ao tempo disponível. O centro geométrico apresentava pouca aderência à realidade, pelo que a escolha de qualquer tipo de centro geométrico iria desvirtuar a possível relação existente entre a proximidade aos centros de cada concelho e a distribuição das áreas construídas. Este facto é significativo na medida em que se tem como hipótese que as sedes de concelho se localizam em áreas mais antigas, ou próximas destas, que marcavam já em 1960 a estrutura espacial das principais aglomerações da AMLNorte.¹⁰⁴

Relativamente às sedes de concelho deve referir-se que se consideraram todas as sedes de concelhos actuais, embora seja de realçar que os municípios da Amadora e de Odivelas tenham sido criados administrativamente apenas em 1979 e em 1998, respectivamente. Esta tomada de decisão recai no facto de em ambos os casos existir já uma estrutura espacial e um povoamento predominante. Partindo então desta base calcularam-se as seguintes distâncias-tempo, normalizando os valores para que todas as variáveis tenham intervalos de valores entre 0 e 1 (Figura 58).

¹⁰⁴ O cálculo do centro geométrico pode ser ponderado por variáveis como a densidade populacional, as áreas construídas entre outras. Porém justifica-se a não utilização desta opção na medida em que estas variáveis são variantes no tempo, o que levaria à deslocação espacial dos diferentes centros. Embora esta opção seja em si mesma um interessante tema de investigação, já que a deslocação espaço-temporal dos centros pode identificar algumas dinâmicas territoriais. Contudo, esta problemática não se enquadrava nos objectivos a seguir, pelo que não foi continuada.

Figura 58 – Distâncias calculadas



As estações de caminho-de-ferro foram digitalizadas a partir das cartas 1:50000, as mesmas utilizadas para a extracção da base de áreas construídas de 1960. Foram digitalizadas todas as estações e apeadeiros identificados, embora seja de registar que em alguns casos tenha existido desactivações que não foram actualizadas. De igual forma, a rede viária considerada também não foi actualizada dado que o primeiro objectivo é perceber de que forma o padrão espacial mais antigo terá determinado a espacialização do tecido construído e não tanto observar a expansão do

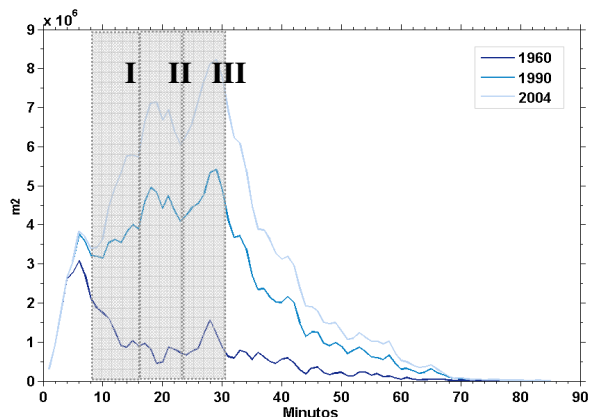
deste como resultado da melhoria das acessibilidades¹⁰⁵. Por outro lado, optou-se pela distância euclidiana às estradas e não pela distância-tempo já que não existiam atributos a distinguir a velocidade das células não classificadas como estrada.

3.1.1.1. Distância-tempo ao centro de Lisboa

A fundação, consolidação e crescimento da cidade de Lisboa no tempo e a proporção de área construída aí existente relativamente ao restante território (da hoje denominada AMLNorte), determinou a estrutura monocêntrica que ainda hoje persiste, sobretudo no que diz respeito à ocupação do espaço por áreas construídas. Decorrente deste facto, espera-se encontrar uma predominância de áreas construídas em distâncias mais próximas a Lisboa, embora seja também de esperar indícios claros da expansão do tecido construído na primeira coroa da AMLNorte.

Estas tendências são claramente visíveis na distribuição das áreas construídas em função da distância-tempo à cidade de Lisboa (Figura 59). Nesta, verifica-se, em 1960, um decréscimo geral destas áreas com o aumento da distância.

Figura 59 – Áreas construídas (m²) por distância-tempo ao centro de Lisboa

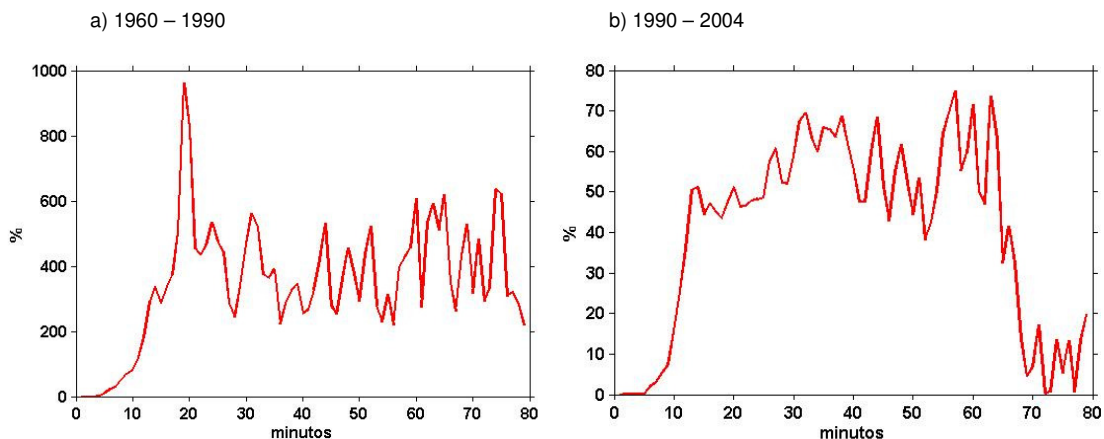


O máximo de área construída em 1960 registava-se aos 5 minutos, aproximadamente – localizado na cidade de Lisboa. O decréscimo das áreas construídas, em função da distância, é interrompido por um segundo máximo aos 28 minutos, que abrange os principais aglomerados dos municípios de Sintra e Cascais – os principais subúrbios da área metropolitana à década.

¹⁰⁵ No futuro seria interessante estudar a distribuição do construído em dois vectores diferentes, nomeadamente em função da distância por estrada a um qualquer ponto de referência e a distância-tempo. Estes dois vectores poderiam, em parte ajudar na compreensão da abertura de uma auto-estrada, por exemplo, e comparar esta via rápida com a restante hierarquia de estradas pré-existentes. Contudo deverá salientar-se que os problemas de congestionamento de tráfego, especificamente nas horas de ponta podem distorcer na realidade uma distância-tempo tida como hipótese pela abertura de uma via rápida. Não obstante, deverão também ser tidos em conta outros factores como a percepção de cada indivíduo na distância que está disposto a percorrer, as condições como o faz, ou outros factores como os custos da habitação. Por outro lado, existe uma diferença assinalável na abertura de uma via rápida numa área onde a forma da ocupação do espaço seja pré-existente e com tendência para a colmatção e rápida saturação dos espaços ainda disponíveis, como a linha de Cascais (e em certo grau também a linha de Sintra) e uma outra onde essa forma seja já existente mas ainda com forte potencial para a expansão, como a possível relação entre a expansão do construído do município de Mafra e a abertura da A8 (auto-estrada do oeste), no início dos anos 90.

O forte crescimento das áreas construídas, ocorrido em todo o território, nas décadas seguintes (Figura 60) alterou significativamente a forma da curva de distribuição, principalmente na região entre os 10 e os 30 minutos, embora seja de registar que no período 1990 – 2004 esta região tenha apresentado, no geral, taxas de crescimento ligeiramente inferiores à região dos 55 aos 68 minutos, sensivelmente.

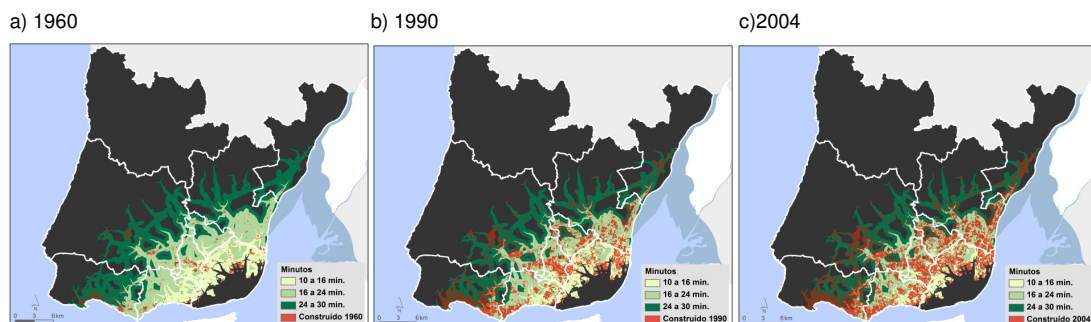
Figura 60 – Taxa de variação das áreas construídas, por distância-tempo a Lisboa



A expansão das áreas construídas na direcção dos subúrbios reflecte-se também no facto de que 50% da área construída da AMLNorte se localizar, em 1960, aos 14 minutos e em 1990 e 2004, aos 23 e 25 minutos, respectivamente. Uma análise mais detalhada da região dos 10 aos 30 minutos (área a cinza na Figura 59) permite-nos identificar três sub-regiões (Figura 61), nomeadamente:

- I (10 a 16 min.) - quando a tendência de decréscimo das áreas construídas, com o aumento da distância a Lisboa é interrompida, e as curvas de 1990 e 2004 denotam um aumento, ao contrário do que acontecia em 1960. A esta sub-região corresponde parte do concelho de Lisboa, Amadora e Oeiras.
- II (16 a 24 min.) – onde se regista um segundo máximo de construção (o primeiro localizava-se aos 5 minutos). Esta sub-região engloba grande parte dos concelhos de Oeiras, Amadora, Odivelas e parte do município de Loures.
- III (24 a 30 min.) – a sub-região onde se verifica o terceiro máximo de área construída (já existente desde 1960) e que compreende áreas do município de Cascais, Sintra, Odivelas, Loures e Vila Franca de Xira.

Figura 61 – Área construída e sub-regiões na distância-tempo a Lisboa, 1960, 1990 e 2004



A sub-região I reflecte sobretudo a expansão da cidade de Lisboa até aos limites do município a Norte, embora se verifiquem já incursões na parte oriental dos municípios de Oeiras e Amadora, prolongando a mancha das áreas construídas para fora dos limites do concelho de Lisboa. A sub-região II apresenta fortes taxas de crescimento, sendo que o máximo de construção se aproxima (em valores absolutos) do máximo de construção da sub-região III (já existente em 1960). Desta forma, o crescimento da sub-região II indica-nos que existiu uma forte procura de espaços mais próximos de Lisboa embora fora dos principais subúrbios. Aqui incluem-se a área ocidental (e litoral) do município de Oeiras, e a parte Sudeste do município de Loures, assim como uma incursão no município de Odivelas. A sub-região III apesar de ser a que se encontra a maiores distâncias da cidade de Lisboa é também aquela que integra os aglomerados com dinâmicas residenciais fortemente instaladas. Dinâmicas estas que continuaram o processo de crescimento nos três momentos analisados (como Cascais e Sintra), mas onde se registam também novos focos de áreas construídas que se vão consolidando no tempo, como nos municípios de Loures e Vila Franca de Xira.

Em termos globais verifica-se que entre 1960 e 1990 é a sub-região II que mais cresce, quer em números absolutos, quer relativos com quase 500% de crescimento. Já no período seguinte, é a sub-região III que regista um maior crescimento com 54% (Tabela 9).

Tabela 9 – Crescimento por classes de distância-tempo ao centro de Lisboa

Classes minutos	Total de área construída (m ²)			Variação absoluta (m ²)		Tx. de variação	
	1960	1990	2004	60/90	90/04	60/90	90/04
[10 – 16[	7.446.800	21.662.900	29.872.300	14.216.100	8.209.400	190,90	37,90
[16 – 24[	6.005.500	35.884.400	52.692.700	29.878.900	16.808.300	497,53	46,84
[24 – 30[	7.155.500	33.648.300	51.865.400	26.492.800	18.217.100	370,24	54,14
Total	20.607.800	91.195.600	134.430.400				

No conjunto da área de estudo, as três regiões representam, face ao total de construção, 62% e 59%, entre 1960-90 e 1990-04, respectivamente, contra 38% e 41% para o restante território. Parece ficar claro que a distância a Lisboa (i.e., a maior proximidade a esta) foi de facto determinante na espacialização das áreas construídas – verificando-se a maior parte no primeiro terço de distância ao centro de Lisboa. Contudo, as distribuições encontradas não demonstram nem explicam porque é que a espacialização das áreas construídas não se deu de forma mais compacta, isto é, porque é que a força de atracção a Lisboa não teve um papel mais preponderante na compactação do espaço mais próximo a Lisboa.

O forte crescimento registado a partir da década de 60 é consistente com as dinâmicas encontradas no mesmo período, e fundamentalmente, na Europa Ocidental (Prieler, 2005), ou seja, o acesso ao crédito, a melhoria da mobilidade (seja pela utilização do transporte individual ou colectivo) e uma melhoria generalizada dos factores económicos interligados na qualidade de vida das populações. Especificamente, as infra-estruturas existentes como as rodoviária e ferroviária, incutiram e determinaram a forma da expansão. No entanto não respondem à questão de se perceber porque Sintra e Cascais se estabeleceram com os “pontos” iniciais de expansão dos

subúrbios em detrimento de áreas mais próximas a Lisboa como a coroa de Oeiras, Amadora, Odivelas e Loures.

A ideia de que as redes de infra-estruturas de transportes explicam os padrões espaciais de crescimento das áreas construídas é por vezes confundida com os factores desse mesmo crescimento. Acerca do crescimento da AML na década de 60 veja-se por exemplo:

The main axes of opportunity drove urban growth, both through specific uses (industrial and/or residential occupational) and through proximity to infrastructures whereby they were directly dependent on routes, fundamentally around railway stations. (...) This also involved intensive exploitation of the territory that implied functionalising the space, which took the form of maximising production. (Morgado, 2007: 868).

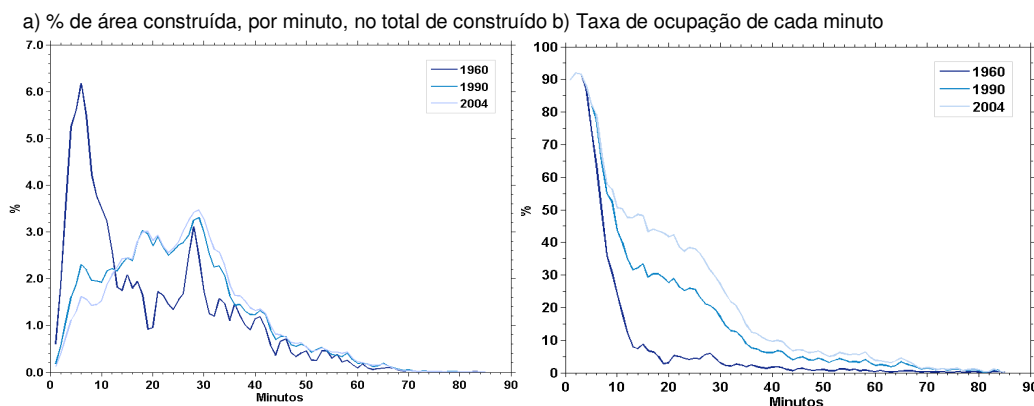
Primeiro, não nos parece óbvio que sejam os eixos principais que incutem o crescimento urbano, por duas razões: i) crescimento urbano não é sinónimo de crescimento de área construída e de expansão da mesma, já que ii) o crescimento urbano apresenta variadas dimensões e a existência de rede viária não determinará à partida um forte crescimento urbano (no sentido económico, por exemplo) se não existirem outras condições para tal, nomeadamente a disponibilidade de crédito e a inovação tecnológica; iii) pelos dados de que dispomos (apresentados mais à frente) não é claro que as estações de caminho-de-ferro tenham sido o factor fundamental na formação e expansão das áreas construídas, embora tenham contribuído localmente para a configuração espacial do tecido construído.

Segundo, a atribuição de funções ao território é independente da magnitude da exploração de que este é alvo. Qualquer espaço geográfico ou território tem uma ou mais funções que o definem, e nem mesmo a intensidade da exploração define se o número e o tipo de funções aí existentes são mais ou menos homogéneos (vejam-se os casos da monocultura intensiva). Também a autora parece induzir a ideia de que existiu uma atribuição clara das funções do território com o intuito de maximizar a sua ocupação ou utilização, contudo, a expansão registada não foi objecto de uma acção centralizada e global, foi antes o resultado de milhares de intervenções de indivíduos ou promotores que dada a fraca política de solos existentes, assim como medidas estratégicas e cooperantes de planeamento, levaram a um crescimento casuístico das áreas construídas (Soares, 2005). Por fim, a ideia de que a forma e o grau de ocupação do território foi orientado para a produção máxima levanta algumas interrogações na medida em que i) não se percebe de que tipo de produção se está a falar, ii) uma vez que o conjunto das áreas construídas não tomou um elevado grau de compactidade, e por conseguinte não optimizou o espaço disponível para a instalação de funções, parece-nos difícil perceber em que sentido se poderá falar em máxima produção¹⁰⁶.

¹⁰⁶ Os estudos levados a cabo por Joan Solans, em 1973, no âmbito dos estudos de Revisão do Plano Director da Região de Lisboa apresentavam já resultados nesta direcção, isto é, segundo o autor, não se explica como é que o "mercado dos

Este facto fica bem patente nas distribuições encontradas na Figura 62a. O peso relativo do tecido construído na década de 60 revelava uma hierarquia na distribuição das áreas construídas, com o predomínio de Lisboa, contudo, nas décadas seguintes, a coroa até aos 30 minutos tem vindo a conhecer uma distribuição mais homogénea das áreas construídas, perfazendo um contínuo que não tem justaposição com os limites administrativos municipais que as englobam. Podemos ver aqui a emergência da conurbação¹⁰⁷ do conjunto das áreas construídas da AMLNorte?

Figura 62 - Peso relativo das áreas construídas e taxa de ocupação por distância-tempo ao centro de Lisboa



A Figura 62b parece apoiar a interrogação anterior, na medida em que nos indica taxas crescentes de ocupação do território compreendido entre os 10 e os 30 minutos, sensivelmente, superiores a 40% em 2004. Não obstante, a forma da curva de distribuição pode numa primeira instância induzir para uma forma de ocupação bem mais optimizada, no que diz respeito à sua compactação do que

solos” necessite de dois hectares de solo expectante por cada três hectares de solo ocupados de modo real e activo (Solans, 2002:169). Embora os dados apresentados por Solans se refiram ao conjunto da área metropolitana e não apenas à margem Norte, pensamos que os mesmos se adequam em grande parte a esta última, visto que na década de 60 e 70, a margem Norte representava a maior percentagem de área construída no conjunto da AML. O autor refere também que a distribuição do solo urbano (edificado + expectante) não segue as curvas teóricas de modelos como a função logarítmica decrescente de Alonso, da construção em função da distância ao centro. Na verdade, é a coroa dos 30 a 40 minutos (que poderá não ter correspondência com as distâncias apresentadas nos gráficos anteriores) que apresenta as maiores dinâmicas de conversão em espaço “urbano”. Solans apresenta como explicação o facto de «*la formación de expectativas, por efecto de la demanda marginal, es proporcional en tamaño absoluto al adquirido por la mancha urbana: por el suelo que entra en “contacto” físico con el suelo urbano, más que por las demandas reales de suelo según accesibilidad que serían las necesarias por efecto del crecimiento y de la propia reestructuración urbana*» (Solans, 2002:169).

¹⁰⁷ Termo proposto por Patrick Geddes, em 1915, no livro *Cities in Evolution*, para designar a emergência de uma região resultante do crescimento, populacional e físico, de duas ou mais cidades, formando um contínuo urbano que extravasa os limites administrativos, embora as cidades que lhe estão na origem mantenham a sua identidade. Geddes exemplifica com a região formada por Liverpool e por Manchester onde «*(...) a city-region of which Liverpool is the seaport and Manchester the market (...); while Oldham, and the many other factory towns, more accurately called “factory districts,” are the workshops.*» Geddes (1915: 31). O problema em falar em conurbação como definido por Patrick Geddes é que o conceito original implica a existência de um sistema policêntrico, isto é, duas cidades relativamente autónomas no que diz respeito à sua diversidade funcional (embora possa existir uma maior ou menor grau de especialização em determinados sectores económicos), que crescem quer através do aumento populacional quer pela expansão física da sua área construída. A distribuição do construído por distância-tempo ao centro de Lisboa não nos permitem verificar directamente a existência de aglomerados que cumpram estes critérios, mas levanta-se a seguinte questão: existirá algum limite mínimo de área construída para que um aglomerado consiga desenvolver-se com um centro urbano de determinada hierarquia? E possível ter uma área construída com uma dimensão elevado sem que esta se apresente com um centro autónomo se nela predominar a função residencial com serviços ou comércio de proximidade, mas e a situação inversa? E será possível a uma área crescer continuamente mantendo sempre o domínio da função residencial ou em algum ponto, ou limite, irá emergir uma maior diversidade funcional que poderá ou não atingir um determinado grau de especialização, conferindo maior autonomia a esse mesmo centro? E será que a distância (em tempo ou física) ao aglomerado principal terá influência na emergência de um maior ou menor policentrismo?

na realidade existe, uma vez que estamos na presença de uma estrutura semi radial (condicionada pelo estuário do Tejo) em que a área de cada minuto aumenta à medida que nos afastamos do centro, atingindo o seu máximo aos 39 minutos.

Assim, em termos de estrutura espacial do território, uma taxa de ocupação de 40% ao minuto 10 tem impactes futuros diferentes de uma taxa de 40% ao minuto 30, na medida em que o tecido construído se pode dispersar por uma área bastante maior dando origem a focos de áreas construídas que podem despontar novos focos de construção, e a emergência de aglomerados de diferentes hierarquias¹⁰⁸.

A distribuição encontrada face à distância ao centro de Lisboa diz-nos também que provavelmente esta não será o único factor a determinar a forma da expansão, já que se assim se fosse seria de esperar encontrarmos uma distribuição compacta, otimizada face à distância, e de facto o que se constata é que a partir dos 10 minutos e mesmo em 2004 a taxa de ocupação de cada minuto é inferior a 50% (Figura 62b). Também o facto da ocupação destas sub-regiões não se revelar uniforme e contínua no espaço, sugere a influência de outros elementos estruturadores.

3.1.1.2. Distância-tempo ao centro do concelho mais próximo

O cálculo da distância-tempo ao centro dos municípios requer a tomada de decisão sobre a) onde considerar o centro e b) que fronteiras utilizar. No primeiro ponto optou-se por seguir o mesmo critério utilizado na distância-tempo a Lisboa, i.e., a localização da sede de concelho. Para o segundo ponto optou-se por não considerar os limites administrativos de cada município, mas sim calcular a distância-tempo de cada célula ao centro do concelho mais próximo. Ou seja, uma dada célula pode pertencer a um dado município, mas estar mais próxima de um outro e é a este último que ficará alocada.

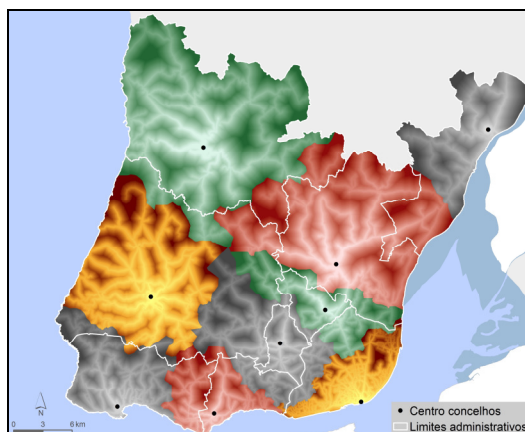
Para esta decisão teve-se como hipótese que as áreas construídas não seguem linearmente os limites administrativos e que terá mais poder atractivo uma área que esteja mais próxima de um centro concelhio, onde se encontra uma série de equipamentos, serviços e actividades, do que o centro administrativo ao qual pertence a maior distância, dado também que as funções administrativas que este oferece não serem uma necessidade do dia-a-dia, ao contrário das actividades de proximidade¹⁰⁹.

¹⁰⁸ Optou-se pelo termo aglomerado na medida em que este não implica necessariamente a noção de cidade, conceito que difere de país para país e que é assente em critérios quantitativos, como o demográfico (embora os limites populacionais variem também de país para país), critérios funcionais ou uma mistura dos dois. Em Portugal a elevação a cidade terá de contemplar um mínimo de 8000 habitantes num aglomerado populacional contínuo e um conjunto de equipamentos colectivos como mencionado na Lei n.º 11/82 de 2 Junho, DR 125, Série I de 1982-06-02, artigos 13º e 14º (www.ine.pt). Também pelo facto de que determinados aglomerados optarem mesmo pela não elevação a cidade, por prestígio ou dependência relativamente ao sector do turismo, como é por exemplo o caso da vila de Cascais.

¹⁰⁹ Admite-se, no entanto, que ao nível micro/local à escala do desenho urbano, os limites administrativos possam ter influência quando por exemplo existam diferenças ao nível da facilidade das regras de ocupação ou construção. Estes casos, porém, não serão aqui retratados.

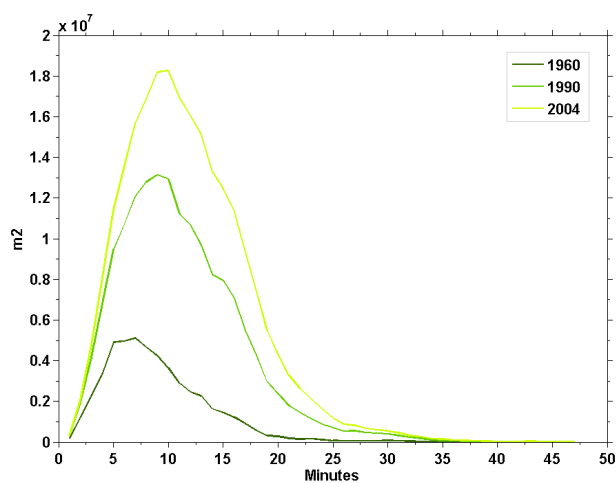
A configuração final das células alocadas a cada concelho revela alterações de forma, relativamente aos limites administrativos reais (Figura 63)¹¹⁰.

Figura 63 – Alocação de células ao centro de concelho mais próximo



A distribuição das áreas construídas pela distância-tempo ao centro do concelho mais próximo apresenta algumas semelhanças com a distribuição das áreas construídas pela distância-tempo ao centro da cidade de Lisboa, mas simultaneamente diferenças fundamentais (Figura 64).

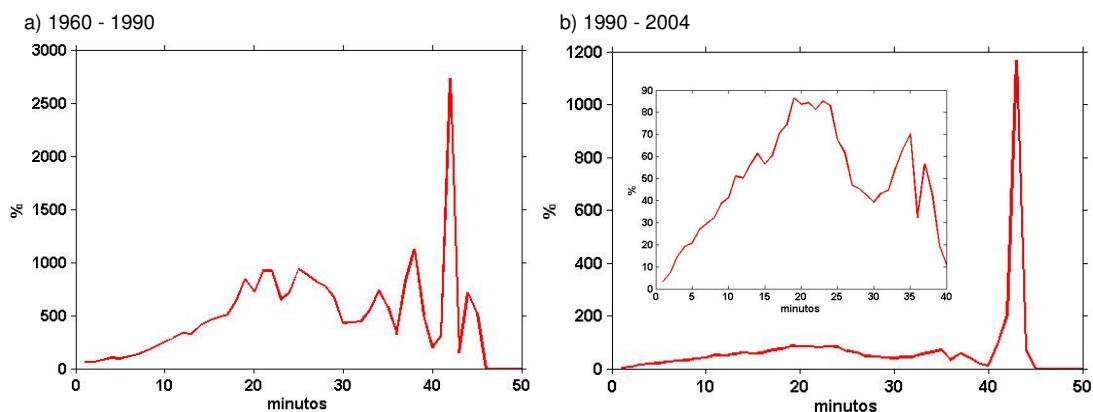
Figura 64 – Áreas construídas (m²) por distância-tempo ao centro do concelho mais próximo



De uma forma geral, verifica-se que existe um decréscimo das áreas construídas com o aumento da distância, e que os picos de construção se têm afastado do centro, embora aqui, a deslocação seja menor. Este facto revela-nos que, ao contrário da distância-tempo a Lisboa, a estrutura espacial, resultante da atracção destes centros, parece ter-se mantido mais estável, embora tenha conhecido um forte crescimento das áreas construídas.

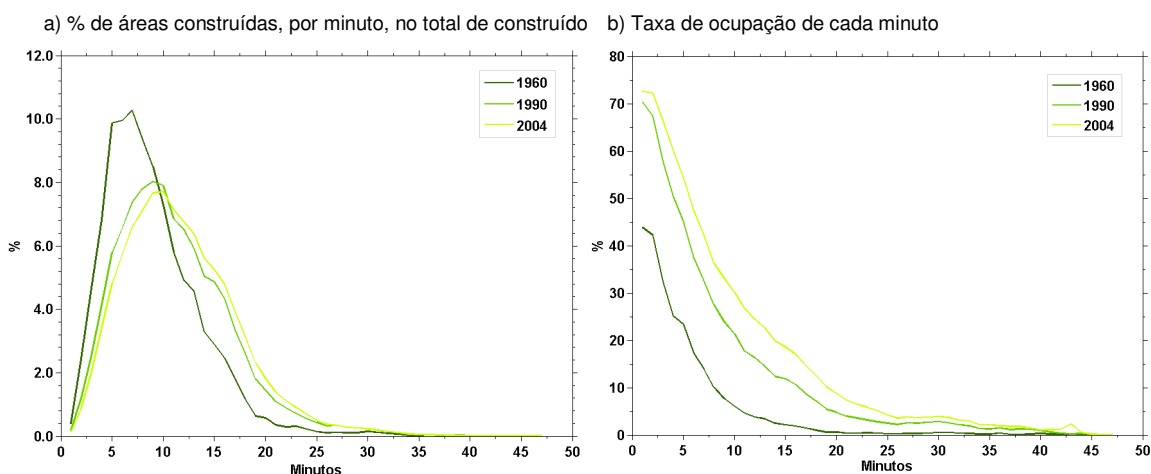
¹¹⁰ Admite-se a relevância de um estudo futuro no qual se desenvolva uma análise comparativa de resultados recorrendo aos dois tipos de limites.

Figura 65 – Taxa de variação das áreas construídas, por distância-tempo ao centro de concelho mais próximo



Relativamente às dinâmicas envolvidas verifica-se que apesar do fortalecimento das áreas mais próximas aos centros de concelho, registaram-se de facto fortes taxas de crescimento nas áreas a partir dos 15 minutos e especialmente a partir dos 20 minutos (Figura 65), em ambos os períodos em análise mas sobretudo entre 1960 e 1990. Esta situação é indicadora de processos de expansão e dispersão pelo território, já que estas mesmas áreas partiam de quantidades absolutas de área construída bastante baixas mas foram afectadas por taxas que variam entre os 300% e os 2000% no primeiro período em análise, e entre os 40 % e os 1000% no segundo período. De facto, e na generalidade, as taxas de variação revelam-se maiores à medida que nos afastamos dos centros dos concelhos. Esta dispersão das áreas construídas pelo território reflecte-se também na descida do peso da área construída em cada minuto no total de área construída como se verifica na Figura 66a com o deslocamento do máximo de percentagem de 1990 para a direita do gráfico, relativamente a 1960, e registando-se o mesmo comportamento em 2004.

Figura 66 – Peso relativo das áreas construídas e taxa de ocupação por distância ao centro de concelho mais próximo



Estes comportamentos são também indicadores de duas dinâmicas diferenciadas, nomeadamente, o preenchimento com esperada compactação dos espaços mais perto dos centros de concelho e

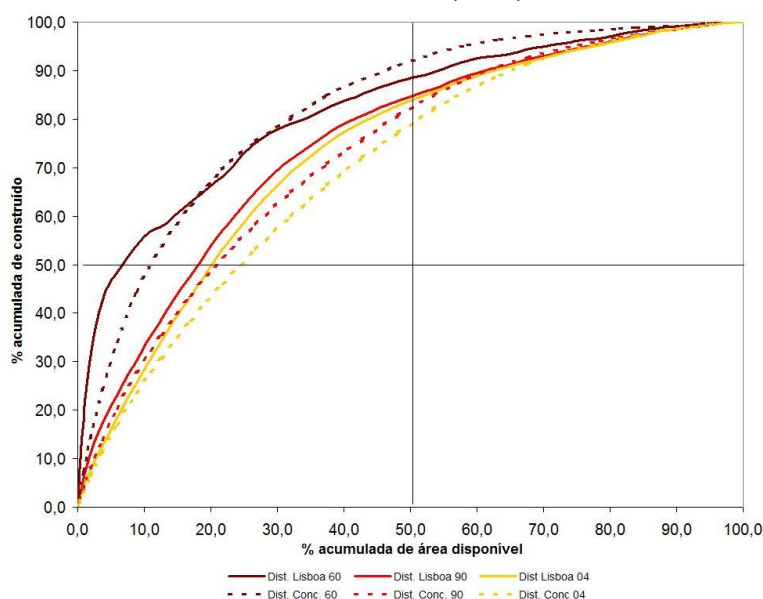
uma outra dinâmica de dispersão pelo território de áreas construídas (dada as baixas taxas de ocupação de cada minuto verificadas na Figura 66b).

3.1.1.3. Análise comparativa da distribuição das áreas construídas em função das distância-tempo ao centro de Lisboa e aos centros de concelhos mais próximos

A análise comparativa entre a distribuição das áreas construídas pela distância-tempo a Lisboa e a distância-tempo aos concelhos sugere-nos algumas tendências de ocupação da AMLNorte que importa relatar.

A Figura 67 representa a percentagem de área construída de cada ano em análise, em função das percentagens acumuladas de área disponível na AMLNorte, contabilizadas a partir do centro de Lisboa e dos centros dos concelhos.

Figura 67 – Percentagens acumuladas de área disponível e área construída por distância a Lisboa e aos centros de concelho, 1960, 1990 e 2004



Partindo do centro de Lisboa (linha a cheio), verifica-se que, em 1960, encontrávamos 50% da área construída em menos de 10% do total de área disponível na AMLNorte. Nos dois momentos seguintes (1990 e 2004) esta proporção alterou-se para valores próximos de 20% da área disponível. Significa isto que, em termos de área construída, o núcleo principal de 1960 (cidade de Lisboa) perdeu importância face ao conjunto global. Este facto é também visível a partir dos centros dos concelhos.

Esta perda de importância dos núcleos iniciais é bastante visível na curva da distância a Lisboa. Em 1960 era notório o forte papel da cidade de Lisboa na concentração de tecido construído numa pequena área do território com a forte inflexão da curva. A segunda inflexão visível, embora menos

pronunciada, representando cerca de 75% da área construída era atingida por volta dos 30% de área construída e aos 28 minutos de distância ao centro de Lisboa – sensivelmente a coroa dos principais subúrbios de Lisboa. Nos seguintes momentos nota-se uma suavização das curvas de 1990 e 2004 reflectindo a perda de importância das áreas construídas da cidade de Lisboa, assim como na diminuição do declive das mesmas.

De salientar que em 50% da área disponível encontramos, em 1960, 90% das áreas construídas na distância-tempo aos centros dos concelhos e que este valor diminui para 80% em 1990 e 2004, o que nos indica um ganho de importância das distâncias mais afastadas dos centros (este comportamento é também encontrado na distância-tempo a Lisboa, embora com menor intensidade). De acordo com a Figura 67 e a Tabela 10, em 1960, cerca de 50% das áreas construídas registava-se em 8% do total de área disponível na distância a Lisboa e em 13,4% na distância aos concelhos, localizando-se estes valores aos 14 e 7 minutos respectivamente. Contudo, em 1990 e em 2004, os respectivos 50%, nos vários centros considerados, são registados a maiores distâncias.

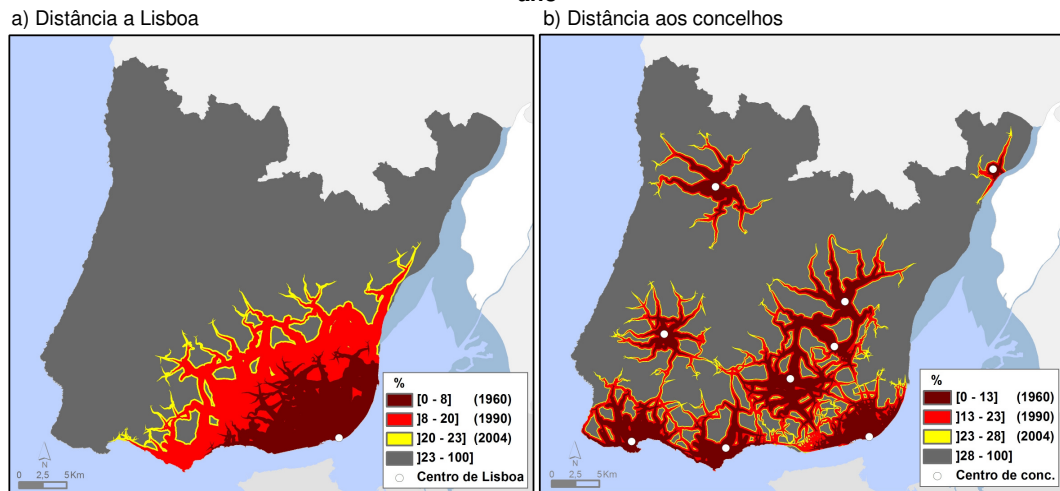
Tabela 10 - % total de área disponível onde se encontra 50% das áreas construídas na distância a Lisboa e na distância aos centros de concelhos mais próximos para 1960, 1990 e 2004

	% acumulada de área disponível onde se registam os 50% das áreas construídas		Minuto onde se registam os 50%	
	Dist. Lisboa	Dist. Concelhos	Dist. Lisboa	Dist. Concelhos
1960	8,0	13,4	14	7
1990	20,0	23,1	23	9
2004	23,0	28,4	25	10

Embora estes dados ainda se encontrem longe de uma distribuição linear entre o construído e a área disponível com proporcionalidade directa entre ambos e a consequente massificação do território ocupado, o facto é que a diminuição dos declives das curvas empíricas encontradas indica-nos que tem existido um importante conversão de áreas não construídas em áreas construídas na área disponível mais afastada dos centros considerados (área a cinza na Figura 68a e b)¹¹¹.

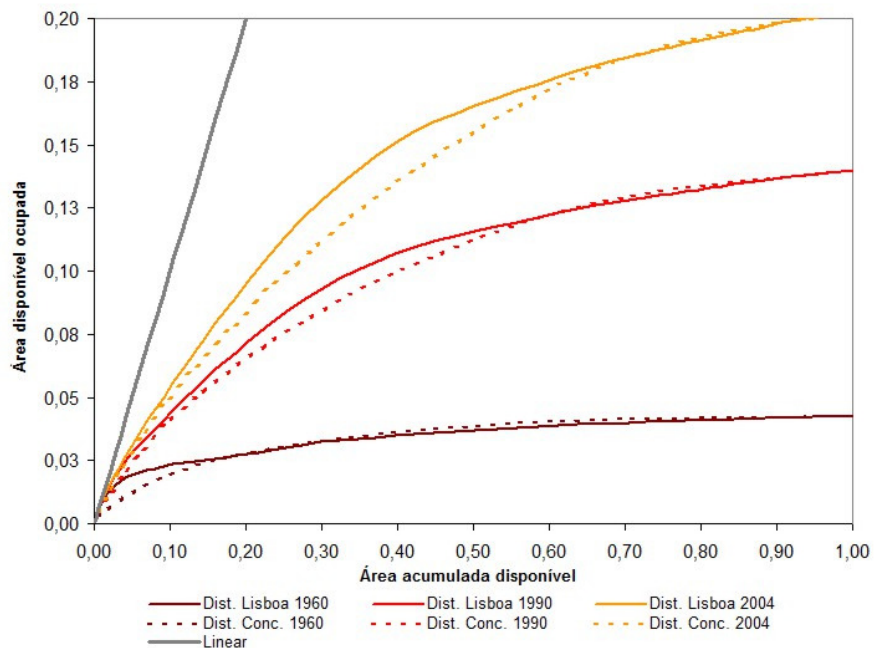
¹¹¹ Às figuras apresentadas deve-se apresentar a nota crítica de que as áreas a cinza que se localizam nos espaços intersticiais entre as ramificações das estradas deveriam ser por lógica também eles ocupados já que será de esperar que novas estradas surgissem nestas áreas, tornando assim, e especialmente nas distâncias aos concelhos, a área dos 50% de 1990 e 2004 mais compacta e com distâncias inferiores ao indicado na Figura 68b. Contudo, e embora esta situação deva ser confrontada com outras soluções no futuro, tomamos como pressuposto que as configurações presentes nas figuras supracitadas nos indiquem uma aproximação às distâncias máximas esperadas de expansão do construído em ambos os casos.

Figura 68 – Percentagem acumulada de área disponível que engloba 50% da área construída de cada ano



Analisando a evolução da ocupação da área disponível da AMLNorte (Figura 69), verificamos que a ocupação do território não tem seguido um comportamento linear (com $y = x$ - linha a cinza cheio), mas sim sub-linear em função do espaço disponível, nas duas variáveis em análise. Contudo, constata-se que o declive das curvas tem aumentado de forma significativa, sobretudo em valores de área disponível até aos 50%, o que aponta para um aumento da compactação dos espaços, e uma gradual aproximação ao regime linear. Em contrapartida, a partir dos 50% de área disponível nota-se um aumento da taxa de ocupação, embora sem correspondência com um aumento significativo do declive das curvas, o que poderá revelar um aumento da dispersão nestes espaços.

Figura 69 – Área ocupada por áreas construídas, AMLNorte, 1960, 1990 e 2004



Esta conversão de usos e ocupação do solo ganha ainda mais relevância sabendo que as áreas disponíveis, representadas na Figura 67, na distância a Lisboa e na distância aos concelhos totalizavam 296,07km² e 397,2km², respectivamente¹¹² (contabilizadas pelo limite de 2004). Ou seja, em qualquer um dos casos existia área suficiente para englobar toda a área construída existente nos três períodos em análise: 49,8km² (1960), 163,8km² (1990) e 237,4km² (2004)¹¹³ e o que se verificou na realidade foi o desperdiçar de um potencial para controlar a dispersão do tecido construído por todo o território. Por outro lado, assiste-se à emergência de dois regimes resultantes de um mesmo processo de crescimento. Isto é, actualmente, as áreas mais próximas dos centros analisados continuam o seu processo de crescimento com a colmatação dos espaços ainda por ocupar, aumentando a compactação. Em contrapartida, o crescimento das áreas mais afastadas destes mesmos centros faz emergir padrões dispersos de ocupação, embora se tenha como hipótese que a continuar o processo de crescimento no futuro estas mesmas áreas apresentarão também processos de colmatação e por conseguinte um aumento da compactação, dado o espaço disponível apresentar um limite de área. Levanta-se assim a questão, se os processos de compactação e dispersão na AMLNorte não serão apenas um mesmo processo que se repete no tempo (embora a génese da tipologia das áreas construídas possa alterar-se no tempo, em função das mudanças ocorridas ao nível económico, cultural e tecnológico).

3.1.1.4. Distância-tempo à estação de caminho-de-ferro mais próxima

A análise das áreas construídas, em função da distância-tempo à estação de caminho-de-ferro mais próxima, permite-nos descer um pouco à escala local. As estações de caminho-de-ferro, sendo pontos de acesso a canais de transporte, irão englobar informação local do sistema (como a proximidade entre a residência e a estação) e a informação global do sistema (como a distância entre a residência e outro qualquer lugar do sistema, servido por esta infra-estrutura de transporte).

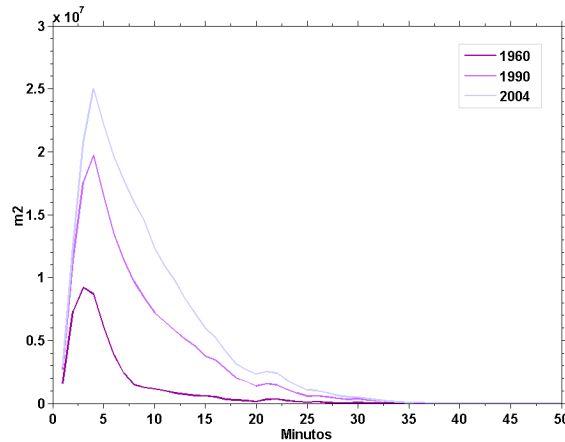
Pressupõe-se que o acesso à estação de caminho-de-ferro seja um factor que os indivíduos tenham em conta num base diária¹¹⁴ e, por conseguinte, depreende-se que estes pontos de acesso devam incutir uma forte atracção no tecido construído. A Figura 70 parece confirmar o pressuposto inicial, na medida em que a distribuição encontrada apresenta uma forte concentração nas distâncias mais próximas às estações.

¹¹² As áreas referidas não excluem áreas não úteis, como por exemplo declives acima de 25%, áreas verdes protegidas (independentemente do regime a que sejam afectas), aeroporto, ou qualquer outro tipo de condicionante.

¹¹³ Para reforçar esta ideia chama-se a atenção para o facto de que a área dos 50% na distância a Lisboa de 1960 totalizava já 122 km², o que poderia englobar todo o construído de 1960 e a maior parte do construído de 1990.

¹¹⁴ O pressuposto enunciado é conducente com o tipo de análise aqui desenvolvida. No entanto, e em futuros estudos, o mesmo deverá ter em conta factores como i) a diminuição do uso do transporte ferroviário como consequência do aumento do transporte individual, ii) as diferentes necessidades das várias tipologias de famílias, iii) a eliminação de determinadas estações e/ou apeadeiros e 4) o impacto que a recente crise financeira e a futura escassez de petróleo poderão provocar nos hábitos de mobilidade dos indivíduos.

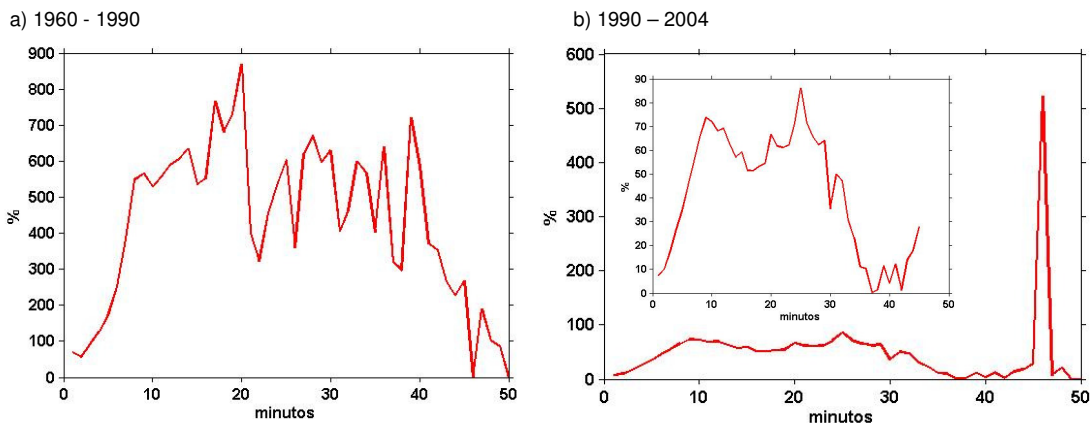
Figura 70 – Áreas construídas (m2) por distância-tempo à estação de caminho-de-ferro mais próxima, 1960, 1990 e 2004



O padrão de distribuição das áreas construídas parece ter-se consolidado no tempo, mesmo com o aumento das últimas décadas do transporte individual. Apesar da consolidação do padrão existente já em 1960, os dados não nos permitem estabelecer relações de causa-efeito entre a existência de uma estrada e a evolução do aglomerado mais próximo. Para isto seria necessário incorporar dados como a data de activação da referida estação e a espacialização do crescimento do tecido construído do respectivo aglomerado. Ou seja, se em alguns casos a estação vem apenas servir uma população já existente, noutros casos poderá de facto despontar o crescimento de novas frentes de construção. O que os dados parecem demonstrar é que a existência das estações de caminho-de-ferro demarcam padrões espaciais no território de longa duração e que, quer a nível local, quer a nível global, a disposição espacial das estações na AMLNorte (Figura 49, p. 89) tem contribuído para a consolidação de eixos na ocupação do território.

As taxas de variação das áreas construídas, por distância-tempo às estações de caminho-de-ferro, revelam, no entanto, fortes taxas de crescimento em todas as distâncias, sobretudo no período de 1960 – 1990 (Figura 71).

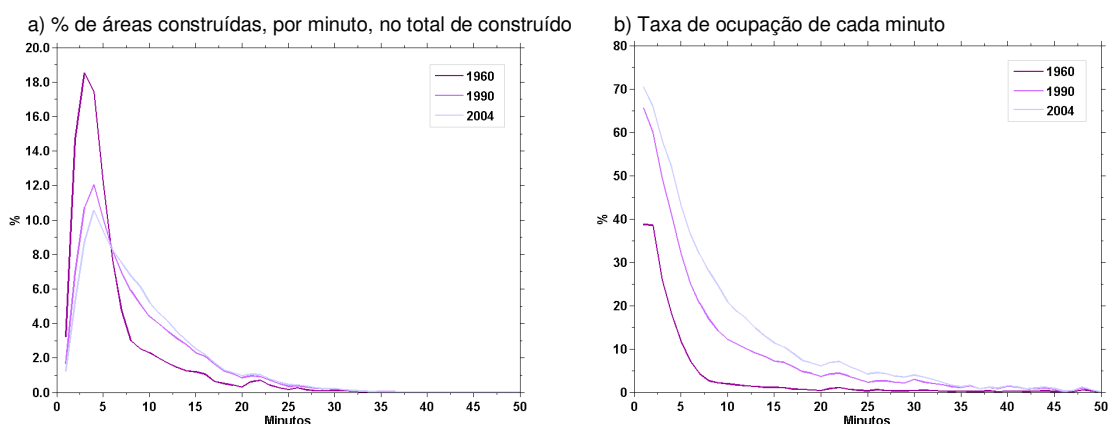
Figura 71 – Taxas de variação das áreas construídas por distância-tempo à estação de caminho-de-ferro mais próxima



No segundo período, 1990 – 2004, denota-se um maior crescimento na região do gráfico entre os 10 e os 35 minutos. Este comportamento pode indicar-nos que apesar da forte dependência da distância na distribuição das áreas construídas, não devem ser menosprezadas as taxas de crescimento a maiores distâncias já que estas revelam dinâmicas emergentes de ocupação do território. Contudo, e reconhecendo que a localização de uma estação é muitas vezes dependente da população servida, é de esperar que estas se localizem em áreas já existentes. Este factor é de maior relevância no caso das estações localizadas, por exemplo, na cidade de Lisboa ou na sua proximidade imediata. Isto é, existe de facto uma sobreposição entre as áreas de influência das estações de caminho-de-ferro e as áreas da distância-tempo a Lisboa e da distância-tempo aos concelhos, razão pela qual a leitura dos resultados deve ser interpretada com algum cuidado¹¹⁵.

Não obstante a anterior advertência, o peso relativo das áreas construídas por minuto à estação mais próxima (Figura 72a) revela que, em oposição às anteriores variáveis, os picos de construção de cada ano em análise não sofreram uma deslocação para maiores distâncias (apesar do seu peso ter diminuído de pouco mais de 18%, em 1960, para cerca de 10% em 2004).

Figura 72 – Percentagens de área construída por distância concelhos

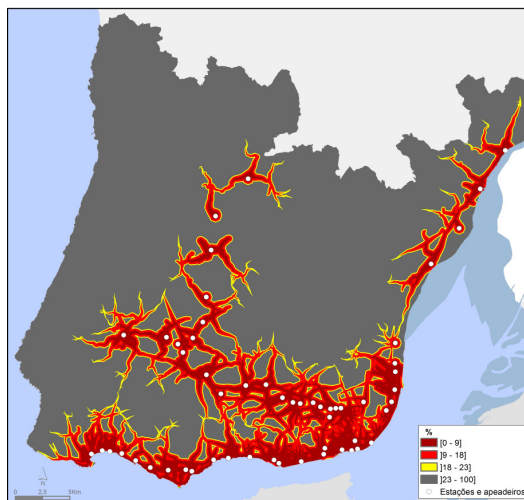


Esta descida foi compensada pelo aumento do peso relativo das distâncias entre os 10 e os 20 minutos, sensivelmente. No entanto, as taxas de ocupação (Figura 72b) indicam-nos que simultaneamente à expansão do tecido construído em distâncias mais afastadas, verificaram-se processos de colmatação das áreas mais próximas às estações de caminho-de-ferro, com o aumento da taxa de ocupação de 40% em 1960 para 70% em 2004.

A análise da localização de 50% das áreas construídas neste tipo de distância revela-nos a formação de um padrão linear, que estabeleceu (e ainda o faz) a ligação entre os principais aglomerados que perfazem os eixos principais da AMLNorte (Figura 73).

¹¹⁵ De futuro sugere-se a integração de um estudo de correlação espacial com o objectivo de melhorar e verificar os resultados aqui apresentados.

Figura 73 – Percentagem acumulada de área disponível onde se localizam os 50% das áreas construídas na distância às estações de caminho-de-ferro, 1960, 1990 e 2004



O elevado número de estações existente, sobretudo nos eixos que estabelecem a ligação entre os principais subúrbios da AMLNorte (nomeadamente Sintra e Cascais), implica que mesmo um diminuto aumento na expansão do tecido construído contribui para a abertura de novas frentes de ocupação com implicações substanciais na área disponível. Vejam-se os dados apresentados Tabela 11, onde o minuto onde se regista 50% das áreas construídas aumentou de 5 para 6 minutos entre 1990 e 2004, embora a área disponível afectada correspondente tenha aumentado de 18 para 23%, respectivamente.

Tabela 11 – Percentagem de área disponível ocupada por área construída e percentagem de área construída englobado na área disponível dos 50% de distância às estações

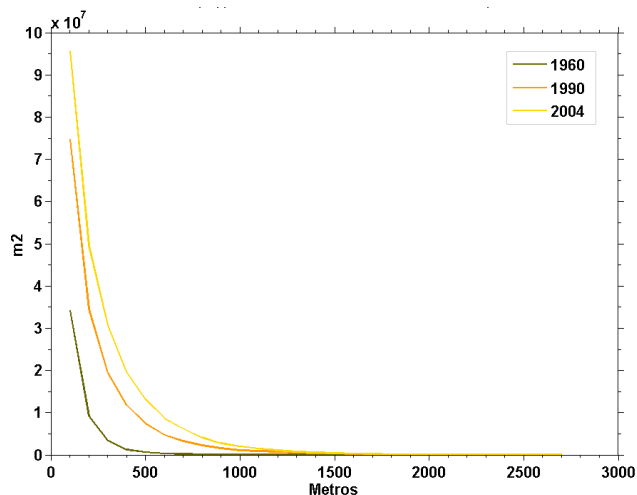
Área dos 50%	% acumulada de área disponível onde se registam os 50% de áreas construídas	Minuto onde se registam os 50%
1960	9	3
1990	18	5
2004	23	6

Aceitando como verdadeira a hipótese de que a existência de áreas construídas gera mais áreas construídas, então, o aumento da área disponível afectada pela localização dos 50% de áreas construídas poderá implicar novas frentes de construção que importará controlar, dada a problemática da dispersão do tecido construído no território.

3.1.1.5. Distância euclidiana à estrada mais próxima

O aumento da dependência do transporte individual, verificado nas últimas décadas, permitiu a descentralização da expansão das áreas construídas. A análise da distribuição das áreas construídas, em função da distância euclidiana à estrada mais próxima, indica-nos que a importância da proximidade à rede viária tem aumentado significativamente nos últimos 40 anos (Figura 74).

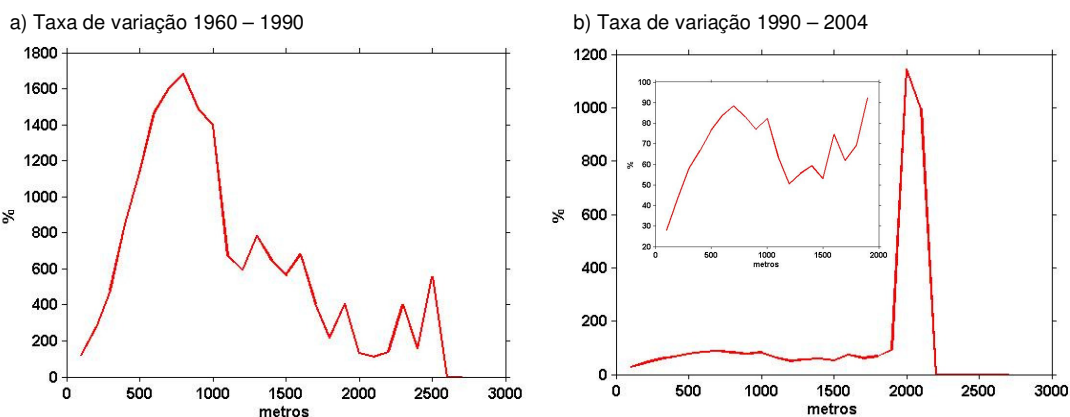
Figura 74 – Áreas construídas (m2) por distância euclidiana à estrada mais próxima, 1960, 1990 e 2004



A dependência à rede viária é verificada pelo rápido decréscimo das áreas construídas com o aumento da distância, localizando-se os picos de construção nas áreas inferiores a 500 metros de uma estrada¹¹⁶.

As taxas de variação (Figura 75a e b) indicam-nos que os maiores crescimentos se localizaram nas distâncias entre os 500 e os 1000 metros, em ambos os períodos em análise, o que explica a diminuição do peso relativo entre 1960 e 2004, nas distâncias inferiores a 500 metros (Figura 75c)¹¹⁷.

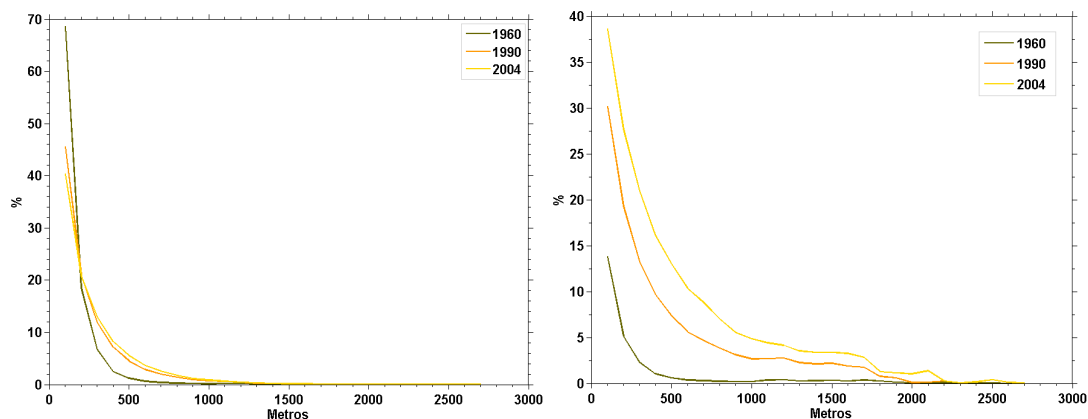
Figura 75 – Taxas de variação, peso relativo e taxas de ocupação das áreas construídas por distância euclidiana à estrada mais próxima



¹¹⁶ De salientar que, como anteriormente referido, são tidas aqui em conta apenas as estradas principais da rede viária de 1960, e que a mesma não foi actualizada.

¹¹⁷ De chamar a atenção que a diminuição do peso relativo pode também ter explicação no facto da rede viária não ter sido actualizada. Ou seja, a diminuição poderia ser menor se se tivessem incorporado novas estradas principais. Contudo, não deixa de ser bastante significativa a manutenção do padrão de distribuição face à rede viária de 1960.

c) % de áreas construídas, por 100 metros, no total de construído d) Taxa de ocupação de cada 100 metros



O aumento das taxas de ocupação (~15% em 1960 para próximo dos 40% em 2004) das distâncias mais próximas a uma qualquer estradas reflectem o facto de esta se apresentar com uma variável cuja acção é independente da região analisada. Isto é, a sua importância na estruturação espacial das áreas construídas é determinante quer se trate de uma área mais próxima a um centro principal, como a cidade de Lisboa, ou uma área mais periférica como Mafra. A acção deste tipo de distância é dependente da densidade de estradas e não da sua localização. No entanto, e dado o seu papel estruturador, é de esperar que a abertura de uma nova estrada principal ou auto-estrada (tipologia que não é aqui abordada) terá fortes implicações no aumento das áreas construídas se e só se existirem outros factores como a pré-existência de aglomerados com dinâmicas próprias¹¹⁸.

3.1.1.6. Declives

A inclusão da análise da distribuição das áreas construídas em função dos declives insere-se na noção de superfície de custo e dos tipos de distância, como a distância-tempo e a distância-custo (Falk e Abler, 1980). Isto é, pressupõe-se que o conjunto das áreas construídas será menor em função do aumento do declive, dado que o aumento deste último implica um acréscimo no esforço de construção. Desta forma, os declives apresentam-se com uma variável estruturante na distribuição espacial das áreas construídas.

O território da AMLNorte apresenta-se, a nível global, com uma área onde predominam declives suaves, com 44,29% do território a registar declives de 0 a 5% (Tabela 12).

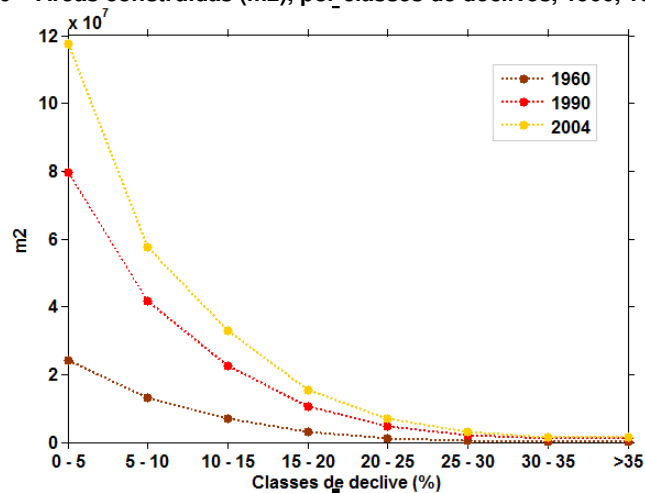
¹¹⁸ De futuro será aconselhável um estudo pormenorizado da evolução da rede viária em função da espacialização temporal do construído.

Tabela 12 – Percentagem de área por classe de declive, AMLNorte

Declive (%)	% de área
0 - 5	44,29
5 - 10	15,44
10 - 15	12,91
15 - 20	9,53
20 - 25	6,26
25 - 30	3,99
30 - 35	2,62
> 35	4,95
	100

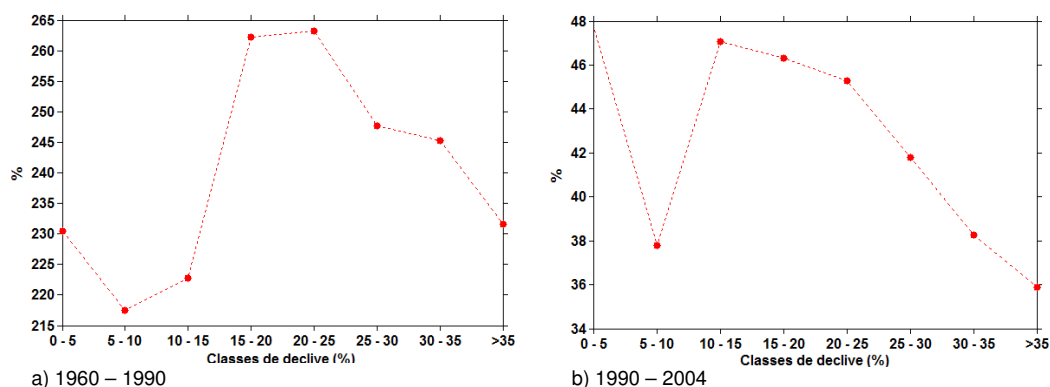
A distribuição das áreas construídas por classes de declive (Figura 76) segue, de uma forma geral a área disponível em cada classe (Tabela 12), numa relação inversa com o aumento do declive.

Figura 76 – Áreas construídas (m²), por classes de declives, 1960, 1990 e 2004



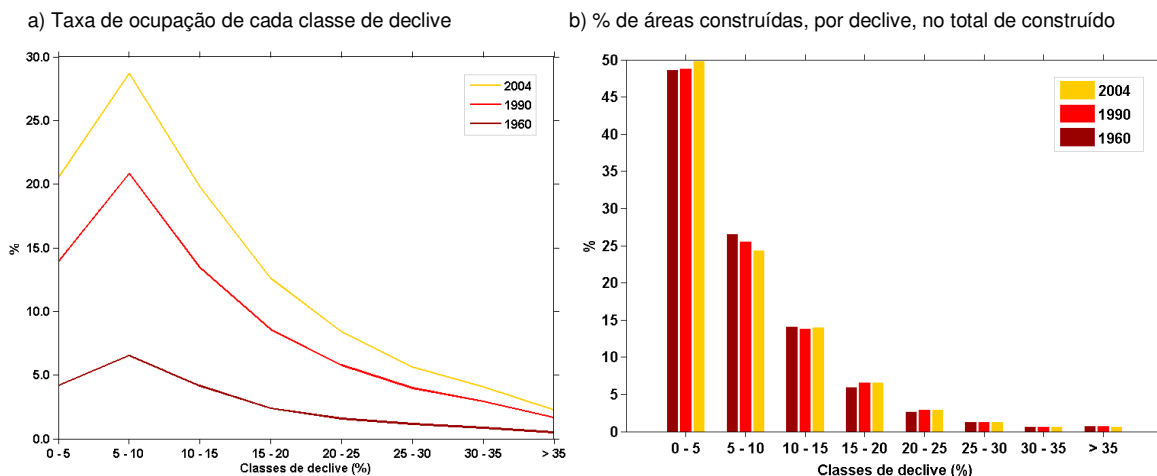
O padrão encontrado não apresenta alterações na sua forma nos três períodos em análise, tendo-se mesmo assistido à sua consolidação com o aumento generalizado de áreas construídas. Porém, as taxas de variação apontam para um maior aumento de áreas construídas nas classes de declive dos 15 aos 35%, no período de 1960 – 1990 (embora as taxas das classes dos 0 aos 15% sejam de igual forma significativas). Já no período de 1990 a 2004 a taxa de crescimento diminuiu lentamente à medida que o declive aumenta (à exceção da classe de 5 a 10% que regista uma taxa de crescimento inferior).

Figura 77 – Taxas de variação de área construída por declive



Os dados apresentados parecem confirmar que as áreas construídas tendem a localizar-se em declives mais suaves, contudo as taxas de ocupação de cada classe de declive (Figura 78a), revelam-nos que existe uma maior concentração de áreas construídas na classe de 5 a 10%.

Figura 78 – Taxa de ocupação e peso relativo de cada classe de declive



Em contrapartida, o peso relativo das áreas construídas de cada ano, por classe de declive (Figura 78b), revela que a única classe que tem perdido representatividade no total de áreas construídas é precisamente a classe dos 5 a 10%. De futuro espera-se incorporar na análise dados sobre áreas de protecção e condicionantes físicas e legais englobadas em cada classe de declive, relacionando-as com os estádios de crescimento do tecido construído dos vários municípios.

3.2. A Hierarquia na Organização Espacial e a Auto-organização

As hierarquias encontradas nos vários sistemas territoriais têm sido alvo de forte investigação, desde os trabalhos de Walter Christaller, em 1933, sobre a teoria dos lugares centrais. Contudo, as

mudanças tecnológicas e económicas, registadas à escala mundial, têm vindo a alterar profundamente as dinâmicas funcionais e territoriais de algumas das hierarquias de cidades caracterizadas por Christaller (Hall, 2005).

No entanto, a distribuição de um conjunto de cidades, num dado sistema territorial, continua a apresentar uma regularidade estatística recorrente em diferentes regiões mundiais, regularidade esta designada por Lei de Zipf, distribuição de Pareto ou regra do *rank-size*, utilizada para descrever fenómenos onde as grandes ocorrências são em menor número (ou raras) e as pequenas ocorrências são bastante frequentes. George Kingsley Zipf analisou variadas distribuições estatísticas, como a ocorrência estatística de palavras em diferentes línguas, a distribuição de estabelecimentos de serviços, nos EUA, entre outros (Zipf, 1947).

A lei de Zipf¹¹⁹ é um caso particular das leis de potência, que se exprimem na forma

$$y = bx^\alpha \quad (14)$$

Em que se admite ser esta a dependência entre y e x , sendo b e α constantes. Aplicando a transformação logarítmica a (14) conduz a uma forma linear cuja representação gráfica devolve uma recta com declive α e intersecção na origem b ¹²⁰:

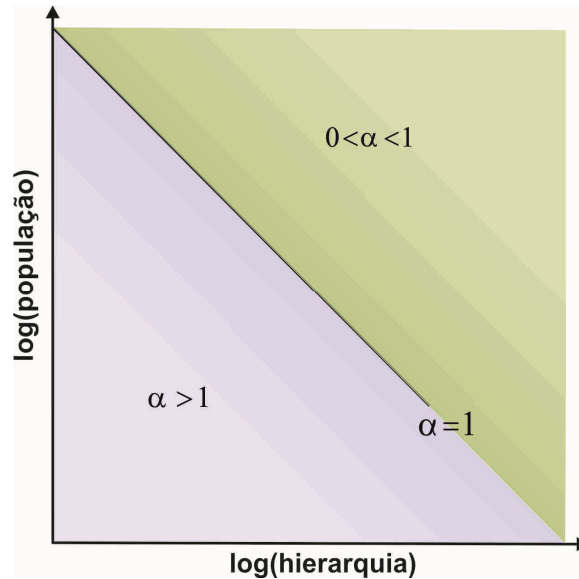
$$\log y = \alpha(\log x) + \log b \quad (15)$$

Zipf procurou também perceber o processo de crescimento e distribuição das cidades, em função do total de população. Assim, y remete-nos para o total de população (dimensão) de cada cidade, sendo que em x as cidades são ordenadas por tamanho crescente. Os parâmetros resultantes do ajuste dos dados (em escala logarítmica) à função linear definida em (15), deveriam conduzir, segundo Zipf, a $b = \text{"maior cidade"}$ e $\alpha = 1$. Numa distribuição de Pareto o valor do expoente α pode assumir diferentes valores, enquanto que a lei de Zipf prevê apenas a unidade (em valor absoluto), como revela a Figura 79.

¹¹⁹ A lei de Zipf relaciona-se também com a lei do crescimento alométrico, inicialmente desenvolvida na Biologia (Nordbeck, 1971) por autores como Snell e Dubois, do fim do século XIX e mais tarde por Huxley, no início do século XX (Gould, 1971; Pilbeam e Gould, 1974), quando estudavam a relação não linear entre o peso do cérebro e o peso do corpo de organismo, procurando verificar se a mesma poderia ser generalizada a todos os mamíferos (Gould, 1971). A lei do crescimento alométrico define que o tamanho de uma qualquer parte y está relacionada com algum x de referência (seja este o corpo inteiro, o resto do corpo com excepção de y , ou alguma outra parte do corpo seleccionada como referência) (Huxley, 1950:465).

¹²⁰ Procura-se, assim, analisar o crescimento diferenciado e proporcional na evolução do tamanho dos organismos, i.e., entender como se escalam as componentes de um sistema, perante o crescimento global do mesmo (onde $b > 0$ e $a > 0$).

Figura 79 – Expoentes da Lei de Zipf

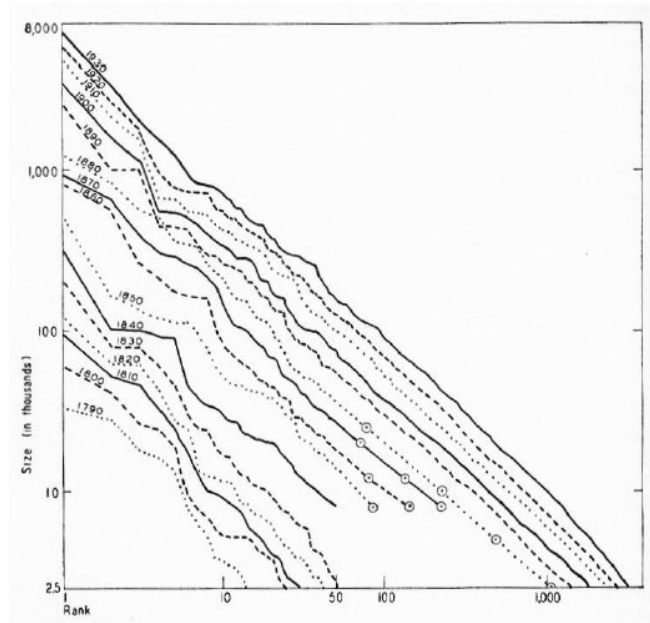


De uma forma geral, quando $\alpha = 1$, deverá existir uma distribuição equilibrada do número de cidades de cada hierarquia. Porém, o número de ordens (ou hierarquias) existentes em dado sistema irá variar em função da dimensão da maior cidade, i.e., quanto maior a cidade de hierarquia 1, maior será o número de cidades de pequena e média dimensão passíveis de existir. Os desvios à Lei de Zipf indicam-nos que à medida que o declive diminui $0 < \alpha < 1$ (em valor absoluto), a dimensão das cidades será tendencialmente mais semelhante (no limite, todas as cidades teriam igual dimensão, o que só poderia acontecer se o sistema em estudo não fosse limitado espacialmente. Para um sistema limitado espacialmente, significa que o mesmo englobaria apenas uma cidade – entendida aqui como contínuo de áreas construídas). Para $\alpha > 1$, aumenta a desigualdade entre a dimensão das cidades do sistema territorial em causa, uma vez que estando os eixos em escala logarítmica, uma pequena descida em x, provocará uma diferença significativa entre a dimensão das cidades de diferentes hierarquias.

Um dos problemas de base ao estudo da distribuição de cidades reside precisamente na ou nas várias definições possíveis de serem utilizadas para a contabilização do número de habitantes, num dado território. As várias noções existentes podem incluir critérios populacionais, administrativos, estatísticos, funcionais/económicos e físicos (Batty, 2003; Pumain, 2003; Benguigui *et al*, 2006), o que dificulta as análises comparativas entre territórios. Não obstante, apresenta-se de seguida um conjunto de trabalhos que procuraram analisar a distribuição de sistemas de cidades de diferentes regiões do globo, em diferentes escalas e momentos temporais.

Batty (2003) retoma o trabalho desenvolvido por Zipf (1949, citado por Batty, 2003) sobre o sistema urbano americano, no qual incluiu todas as cidades com população superior a 2.500 habitantes, entre 1790 e 1930 (Figura 80).

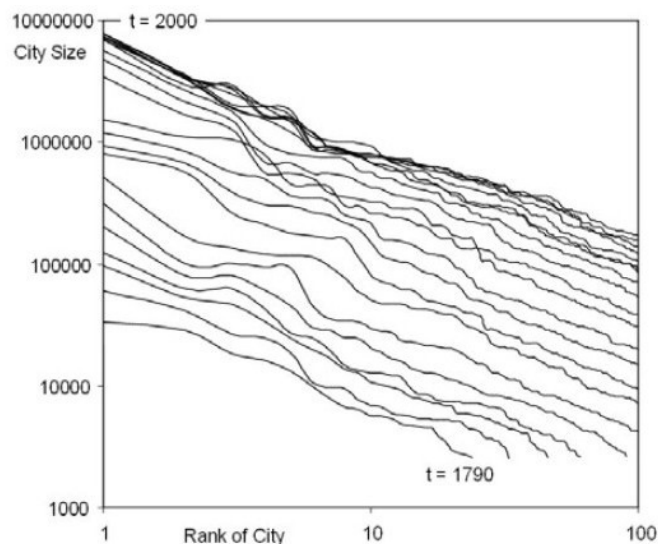
Figura 80 – Análise de Zipf para o sistema urbano americano, entre 1790 e 1930



Fonte: Batty, 2003

Zipf estima apenas as curvas para as áreas metropolitanas de 1940, com população superior a 50.000 habitantes, obtendo $\alpha = 0,983$, para as primeiras 100 áreas metropolitanas e $\alpha = 1,036$, para o conjunto das 140 maiores áreas metropolitanas (Batty, 2003). Por sua vez, Batty (2003) estendeu a análise para o ano 2000, mas apenas para as 100 primeiras cidades, definidas pelos Censos Norte-americanos (Figura 81).

Figura 81 – A lei de Zipf para o sistema urbano americano, 1790 – 2000

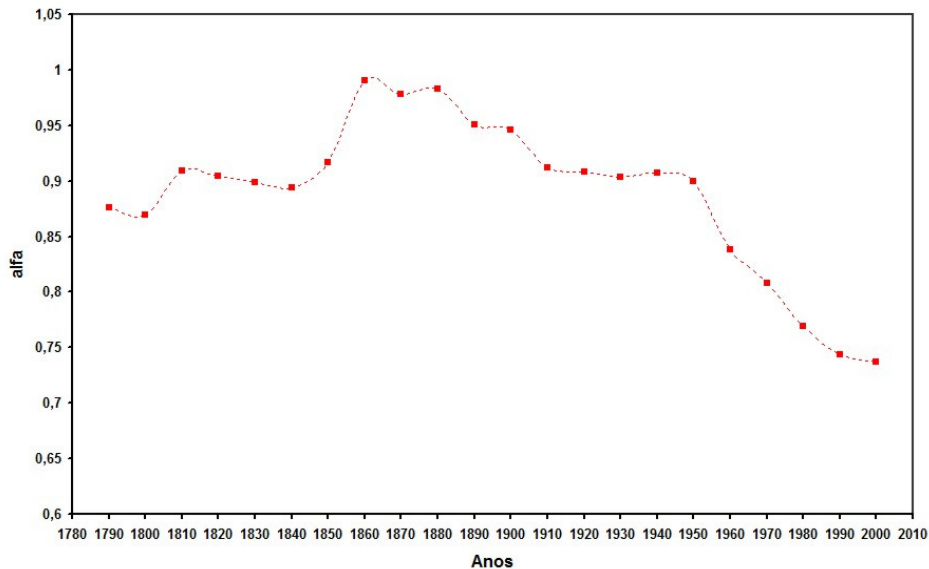


Fonte: Batty, 2003

A comparação entre as duas figuras anteriores permite-nos verificar que a relação encontrada se mantém ao longo do tempo, apesar do crescimento geral das cidades, embora pareça apresentar uma tendência geral para a diminuição do expoente alfa (o autor não apresenta os valores

estimados de α). Esta tendência indica que as maiores cidades se têm mantido nas hierarquias mais elevadas, apesar de parecer que se aproximam de um limite de crescimento, enquanto o resto do sistema mantêm, ainda, fortes taxas de crescimento (Figura 82).

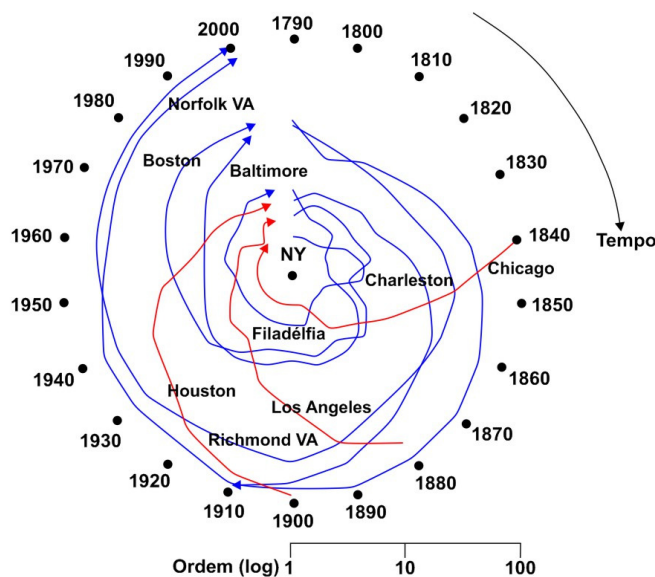
Figura 82 – Evolução do expoente alfa no sistema urbano americano, entre 1790 e 2000



Adaptado de: Batty, 2003 (alfa é apresentado em valor absoluto)

No período analisado por Batty (2003) existem 267 cidades distintas, sendo que apenas algumas se mantêm em todo o período analisado. O autor analisa as mudanças ocorridas no ranking das cidades e refere que estas alterações revelam as dinâmicas de ocupação do território ocorridas nos EUA (Figura 83).

Figura 83 – Trajectórias de dez cidades principais do sistema urbano americano, 1790 - 2000



Adaptado de: Batty, 2003. A azul as cidades que diminuíram de ordem hierárquica e a vermelho as que aumentaram.

Na figura anterior verifica-se que Nova Iorque manteve sempre o seu lugar como primeira cidade do sistema urbano americano. Em oposição, Charleston desaparece dos primeiros lugares por volta de 1910. O aumento e consolidação da ocupação territorial no Oeste e Sul do continente norte-americano são revelados pela entrada, nas primeiras hierarquias, de cidades como Los Angeles e Houston (Batty, 2003).

Em 1980, Rosen e Resnick (citado por Soo, 2005) desenvolvem uma análise comparativa entre 44 países, e a uma outra escala, um conjunto de aglomerações urbanas, nos EUA. No primeiro caso, nem sempre foi possível encontrar uma distribuição de Pareto, e nos casos que tal era possível (32 países num total de 44) obtiveram-se valores de expoente $\alpha \neq 1$ (o que contradiz a lei de Zipf). No segundo caso, Rosen e Resnick (1980, citado por Soo, 2005) obtiveram valores de expoente muito próximos de 1. Soo (2005) elabora também uma análise comparativa, com dados actualizados para um total de 75 países e obtém vários casos com valores superiores a 1¹²¹. O autor defende que este desvio à lei de Zipf poderá indicar o aumento da suburbanização, embora refira também que as diferenças no conceito utilizado para a definição de cidade, ou aglomerado urbano, podem influenciar os resultados. Soo (2005) utiliza, como limite mínimo, o limiar dos 10.000 habitantes para que uma cidade seja incorporada na amostra. Dos 75 países analisados pelo autor, apenas 3 não correspondem aos analisados por Rosen e Resnick (1980, citado por Soo, 2005).

Tabela 13 – Resultados de alfa para diferentes continentes

Continentes	Cidades			Continentes	Aglomerações		
	$\alpha < 1$	$\alpha = 1$	$\alpha > 1$		$\alpha < 1$	$\alpha = 1$	$\alpha > 1$
África	3	4	3	África	1	1	--
América N.	--	1	2	América N.	2	1	--
América S.	4	4	2	América S.	3	2	--
Ásia	5	8	10	Ásia	3	2	--
Europa	2	3	21	Europa	5	2	2
Oceânia	--	--	1	Oceânia	2	--	--
Total	14	20	39	Total	16	8	2

Fonte: Soo, 2005

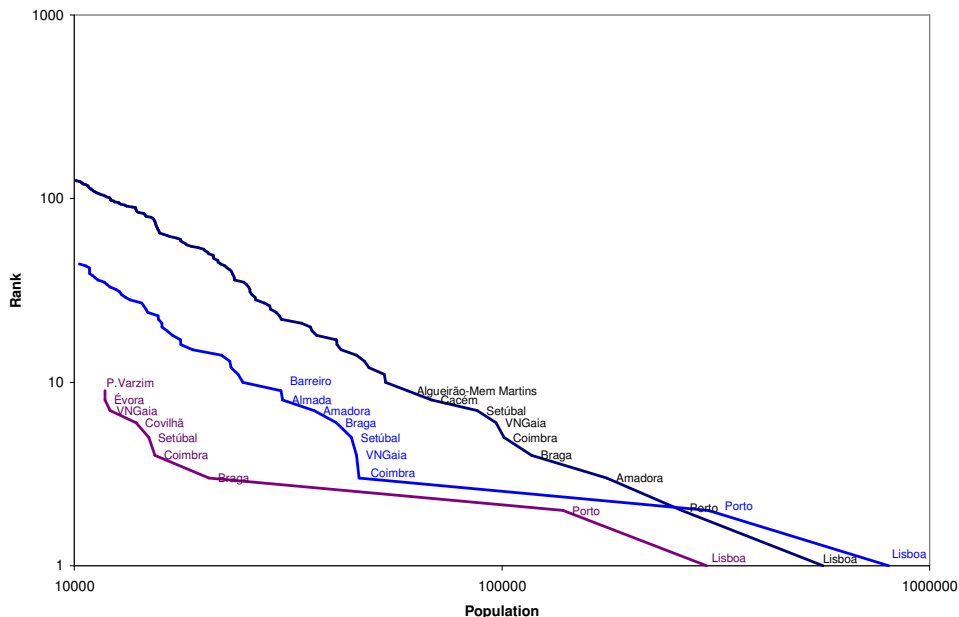
Da tabela anterior verifica-se que a Europa é o continente que apresenta maiores desvios à lei de Zipf com 21 países a apresentarem valores de expoente superiores a 1, o que segundo Soo, poderá indicar que a população na Europa se encontra mais distribuída entre os sistemas de cidades, do que os restantes continentes. Contudo, e uma vez que é também este continente que apresenta o maior número de amostras (países), parece-nos que esta conclusão deverá ser suportada em evidências empíricas complementares. Não obstante, os resultados encontrados levantam duas questões pertinentes, nomeadamente: i) será que a lei de Zipf tem um comportamento diferenciado entre as várias regiões do globo? e ii) poderão os vários factores institucionais, e os vários níveis de desenvolvimento explicar estas diferenças? (Soo, 2005).

¹²¹ Soo (2005) estima o expoente alfa a partir de dois estimadores, nomeadamente o método dos mínimos quadrados e o método de Hills, contudo apresentamos aqui apenas os resultados do método dos mínimos quadrados já que nos permite uma análise comparativa com os resultados de outros casos de estudo.

No caso das aglomerações¹²², Soo (2005) analisa as aglomerações urbanas para um conjunto de 26 países e nestas verifica-se que o expoente apresenta valores mais baixos do que para o resultados a partir do conjunto de cidades de cada país. Apenas dois países (Holanda e Reino Unido) apresentam valores de expoente maiores do que 1, enquanto 16 dos 26 países apresentam valores inferiores a 1. Ou seja, no caso das aglomerações urbanas parece existir uma distribuição mais desequilibrada em termos de dimensão e número de aglomerações, em cada país. Este facto poderá indicar que as grandes aglomerações urbanas começam a apresentar um comportamento semelhante ao das cidades de hierarquias superiores (Soo, 2005), talvez devido ao contínuo alastramento do tecido construído.

O crescimento do sistema urbano português, entre 1890 e 2001, é analisado por Delgado e Godinho (2007). Como centros urbanos consideraram todas os aglomerados com mais de 10.000 habitantes, em cada censo analisado. Entre 1890 e 1920, mais de 80% da população vivia nas cidades de Lisboa e Porto, assistindo-se, a partir dos anos 50, ao início da expansão do processo de urbanização, que se consolida nas décadas seguintes – em 2001, cerca de 70% da população portuguesa que vivia em centros urbanos, com pelo menos 10.000 habitantes, localizava-se nas áreas metropolitanas de Lisboa e Porto (Delgado e Godinho, 2007). As alterações ao sistema urbano português são notórias nas curvas do modelo do *rank-size* para três dos anos analisados, nomeadamente, 1890, 1960 e 2001 (Figura 84).

Figura 84 – Rank-size (log-log) para o sistema urbano português



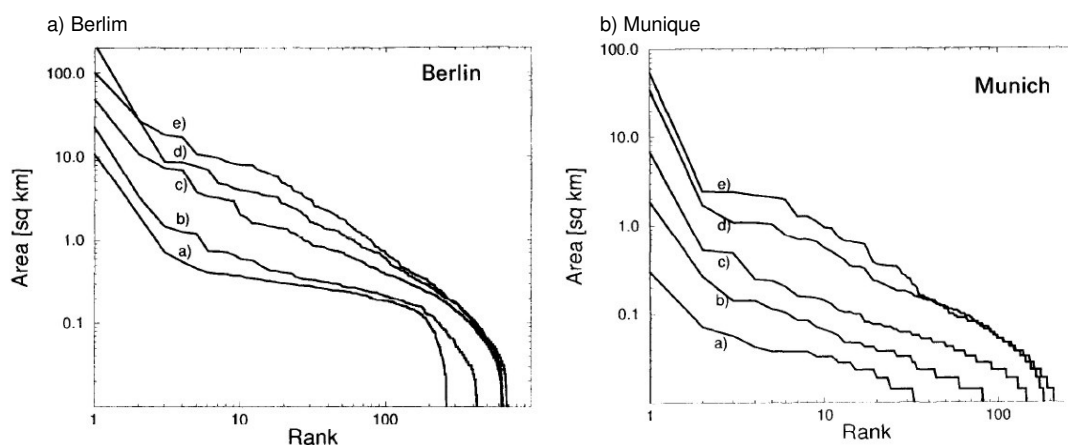
A figura anterior reflecte não só a diminuição do peso relativo de Lisboa e Porto (no que diz respeito aos quantitativos demográficos) no contexto nacional (com a emergência e crescimento de

¹²² O autor definiu como aglomeração a região dominada por uma cidade central e as comunidades vizinhas ligadas pela área construída contígua.

aglomerados intermédios), mas também a substituição de cidades/aglomerados de diferentes regiões do país (como Évora e Covilhã, ambas localizadas no interior) por aglomerados contidos administrativamente nas duas áreas metropolitanas de Lisboa e Porto (Delgado e Godinho, 2007), como Amadora e Vila Nova de Gaia. O valor estimado para α revela fortes alterações no sistema português, na medida em que entre 1890 e a década de 50, o expoente apresenta valores superiores a 1, o que significa um sistema urbano pouco equilibrado, entre o número de aglomerados de grandes dimensões e o número de aglomerados das restantes hierarquias. A década de 60 apresenta o valor mais próximo do valor previsto por Zipf ($\alpha = 1$), sendo que os momentos temporais seguintes se afastam consecutivamente deste valor, atingindo 1,363 em 2001.

O total de população é apenas uma das formas de calcular a dimensão de um aglomerado. O conjunto das áreas construídas que o definem podem também contribuir para a análise da ocupação territorial, já que nem sempre existe uma relação directa entre o total de área construída e o total de população. Schweitzer e Steinbrink (1998) foram os primeiros a analisar a lei de Zipf, tendo em conta as áreas construídas e não a população, comparando as cidades de Berlim, entre 1800 e 1945, e Munique, entre 1800 e 1965 (Figura 85).

Figura 85 – Evolução da distribuição de Zipf para as cidades de Berlim e Munique



Fonte: Schweitzer e Steinbrink, 1998. Berlim: a) 1800, b) 1875, c) 1910, d) 1920, e) 1945. Munique: a) 1800, b) 1850, c) 1900, d) 1950, e) 1965.

Embora os autores não apresentem os valores estimados de alfa para cada uma das cidades¹²³, verifica-se que em ambas apenas as hierarquias intermédias parecem conformar-se com a recta prevista pela distribuição de Pareto. Os desvios à distribuição de Pareto revelam que ambas as cidades são dominadas por um cluster principal de área construída, cuja dimensão se apresenta substancialmente maior do que os restantes clusters, em todas as datas analisadas. As restantes hierarquias apresentam dimensões bastante próximas. Nas décadas seguintes, parece existir uma

¹²³ Em Schweitzer e Steinbrink (1998) parece ficar implícito que os valores estimados para ambas as cidades são apresentados numa publicação anterior à qual não conseguimos ter acesso, nomeadamente: Schweitzer, F.; Steinbrink, J. (1994) *Die Berliner Bebauungsstruktur*. *ARCH+ Zeitschrift für Architektur und Städtebau*, 122, 34.

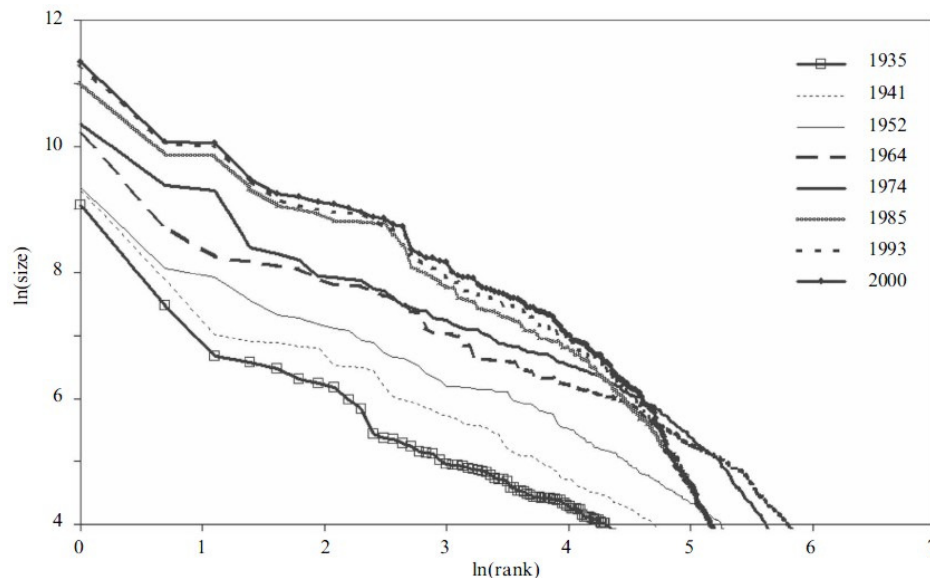
tendência para que o sistema se apresente mais equilibrado, face ao número de clusters presentes em cada hierarquia.

A partir do trabalho de Schweitzer e Steinbrink (1998), Benguigui *et al* (2006) analisam o crescimento de clusters de áreas construídas para a cidade de Telavive (Israel), entre 1935 e 2000 (num total de oito momentos temporais: 1935, 1941, 1952, 1964, 1974, 1985, 1993 e 2000). Os clusters de áreas construídas são definidos pela contiguidade dos oito pixels mais próximos, classificados como área construída (a área mínima considerada foram 45.000 m²).

No início do período em análise, o maior cluster compreendia apenas a cidade de Telavive. Com o decorrer do processo de urbanização, o cluster principal incluía já outras cidades próximas de Telavive (Benguigui *et al*, 2006). O número de clusters aumentou entre 1935 e 1964, diminuindo até 1985, mantendo-se constante nos momentos seguintes. Esta variação no número de clusters é explicada pelos autores através de dois fenómenos, especificamente: i) a criação de novos clusters e ii) a agregação de pelo menos dois clusters formando um novo cluster, o que induz a diminuição do número total de clusters de um dado território. Na cidade de Telavive ambos os fenómenos ocorreram em simultâneo, embora os dados indiquem a predominância de um dos processos, em diferentes períodos (Benguigui *et al*, 2006). Os autores apresentam ainda duas hipóteses explicativas da estabilidade do sistema a partir de 1985: i) ou o número de novos clusters compensou a redução do número total resultado do processo de agregação, ou ii) ambos os processos pararam.

Benguigui *et al* (2006) examinam a evolução do sistema através da análise da adequação da distribuição dos clusters de áreas construídas à distribuição de Pareto e à lei de Zipf (Figura 86).

Figura 86 – Evolução da Lei de Zipf para a cidade de Telavive, entre 1935 e 2000



Fonte: Benguigui et al, 2006

De acordo com os autores, as curvas de 1935, 1941 e 1952 apresentam um bom ajuste dos dados à equação linear, embora se denote um aumento dos desvios à recta a partir de 1964 e sobretudo nos últimos três anos (1985, 1993, 2000), como revela a estimativa de erro apresentada na Tabela 14, assim como os valores do expoente para cada ano.

Tabela 14 – Resultados do ajuste de dados à Lei de Zipf, para a cidade de Telavive

Primeiro período		Segundo período		Terceiro período	
Ano	Expoente	Ano	Expoente	Ano	Expoente
1935	$0,95 \pm 0,07$	1964	$1,03 \pm 0,06$	1985	$1,49 \pm 0,13$
1941	$0,99 \pm 0,04$	1974	$1,15 \pm 0,09$	1993	$1,53 \pm 0,15$
1952	$0,99 \pm 0,04$			2000	$1,56 \pm 0,16$

Fonte: Benguigui et al, 2006

Os autores verificaram que, no terceiro período (o que apresenta maiores desvios à distribuição de Pareto), apenas os grandes polígonos seguiam uma distribuição linear e que os polígonos mais pequenos poderiam ser ajustados com uma função exponencial, o que, segundo os mesmos, parece contribuir para uma conclusão que contradiz a de Schweitzer (1997), i.e., a de que quanto mais desenvolvida a área construída, maior seria o desvio à distribuição de Pareto (Benguigui *et al*, 2006). Contudo, não fica claro, quer em Schweitzer (1997), quer em Benguigui *et al* (2006), o que se entende por “maior desenvolvimento dos clusters de áreas construídas”.

Para o primeiro período, e embora não consigam adiantar uma explicação para o facto de existir um bom ajuste à distribuição de Pareto, os autores referem que tal poderá ser o resultado do predomínio do processo de criação de novos clusters, consequência da onda de imigração para Israel, com o conseqüente aumento da procura de áreas residências. No segundo período, com o aumento generalizado das condições económicas da população assistiu-se ao início da propagação de áreas construídas para maiores distâncias do cluster principal, continuando o processo de criação de novos clusters, ao mesmo tempo que os já existentes aumentavam a sua área construída. No terceiro período, assiste-se ao domínio do processo de aglomeração de clusters, pelo que as desigualdades entre as diferentes hierarquias aumentaram. A partir de 1985 as poucas alterações registadas podem ser explicadas pelo facto de já não existir muito território para ocupar, à excepção das áreas protegidas e destinadas à agricultura (Benguigui *et al*, 2006).

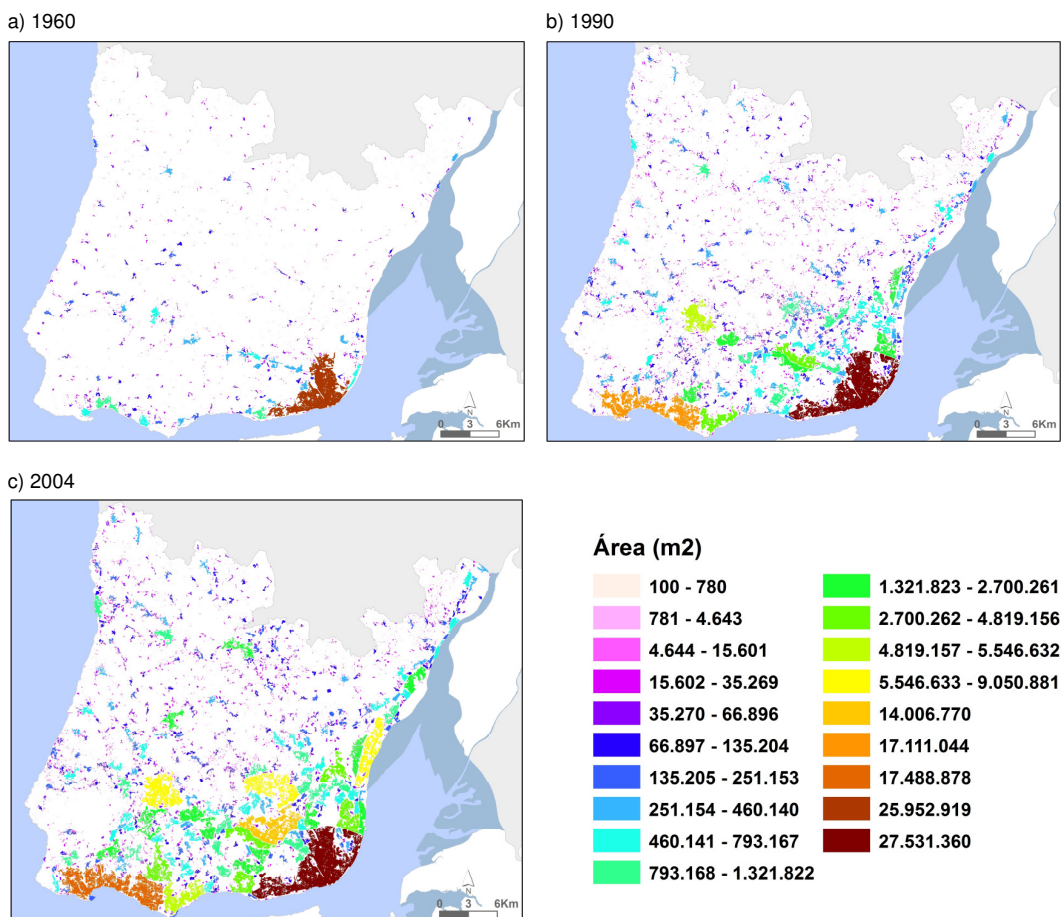
A variabilidade no tempo do expoente da distribuição de Pareto para as áreas construídas de regiões metropolitanas é também estudada por Fragkias e Seto (2009). A análise de três áreas metropolitanas na China, para o período entre 1988 e 1999, revelam valores de expoente entre 0,8 e 1.1. Segundo os autores, esta variação no tempo poderá ser indicadora de diferentes estádios de crescimento e organização das áreas construídas, que importará estudar no futuro, de acordo com um conjunto de factores tais como: i) a organização política da economia e a sua interligação com o planeamento e ordenamento do território, nomeadamente nas diferenças entre economias mais centralizadas ou economias de mercado e ii) um planeamento fortemente centralizado e assente numa abordagem top-down versus um planeamento dirigido pelas micro dinâmicas, assente na abordagem bottom-up.

Para a análise da evolução e crescimento das áreas construídas na AMLNorte, entre 1960 e 2004, desenvolver-se-á uma análise inspirada no trabalho de Benguigui *et al* (2006) e que de seguida se apresenta.

3.2.1. A Hierarquia nas áreas construídas da AMLNorte

A noção de hierarquia envolve necessariamente a noção de dimensão dos elementos que constituem a estrutura hierárquica. No presente caso, esses elementos são os polígonos que representam as áreas construídas, e a dimensão a área (m²) (Figura 87).

Figura 87 – Áreas construídas por área (m²), 1960, 1990 e 2004¹²⁴



A análise visual da Figura 87 sugere a existência de uma dependência, no tempo e no espaço, do padrão espacial existente em 1960. Se entendermos a dimensão dos polígonos como hierarquias (sendo que o maior polígono corresponde à hierarquia 1) vemos que, em grande parte, o

¹²⁴ A divisão em classes da figura anterior foi obtida através da inspeção visual dos polígonos, em função da sua dimensão, relativamente a outros semelhantes. Experimentaram-se diferentes números de classes, optando-se por um total de 19 classes (apesar de dificultar a leitura das figuras). No futuro seria interessante experimentar outros critérios de divisão do número de classes, para além da apreciação visual, para comparação de resultados.

crescimento (em área, visível nas distribuições de 1990 e 2004) ocorreu na vizinhança dos polígonos das hierarquias de maior dimensão. Contudo, nas áreas correspondentes hoje aos concelhos de Odivelas e Loures e ainda na parte norte do concelho de Lisboa, verificou-se uma forte dinâmica de crescimento, aparentemente não visível na distribuição espacial das áreas construídas de 1960.

O peso relativo das hierarquias dos polígonos de áreas construídas, face ao número total de polígonos existentes na AMLNorte, parece confirmar que a estrutura geral da distribuição espacial destas hierarquias se manteve relativamente estável nos três momentos em análise (Tabela 15).

Tabela 15 – Peso relativo das hierarquias de áreas construídas, da AMLNorte

Hierarq.	Área (m2)	N.º de polígonos			Percentagem face ao total de polígonos em:			Percentagem face ao total de área em:		
		1960	1990	2004	1960	1990	2004	1960	1990	2004
19	100 - 780	1.838	6.458	5.948	39,77	46,90	46,35	1,55	1,74	1,11
18	781 – 4.643	1.999	4.949	4.487	43,25	35,94	34,96	7,51	6,13	3,82
17	4.644 – 15.601	480	1.518	1.382	10,39	11,02	10,77	7,89	7,68	4,94
16	15.602 – 35.269	150	417	503	3,25	3,03	3,92	7,01	5,92	4,98
15	35.270 – 66.896	75	178	182	1,62	1,29	1,42	7,24	5,31	3,77
14	66.897 – 135.204	41	106	158	0,89	0,77	1,23	7,44	6,15	6,31
13	135.205 – 251.153	14	61	68	0,30	0,44	0,53	5,21	6,60	5,34
12	251.154 – 460.140	17	37	33	0,37	0,27	0,26	11,48	7,67	4,46
11	460.141 – 793.167	6	26	33	0,13	0,19	0,26	6,87	8,94	8,59
10	793.168 – 1.321.822	1	9	16	0,02	0,07	0,12	2,66	5,35	7,19
9	1.321.823 – 2.700.261		5	12		0,04	0,09		6,59	8,59
8	2.700.262 – 4.819.156		3	5		0,02	0,04		7,53	7,19
7	4.819.157 – 5.546.632			2			0,02			4,63
6	5.546.633 – 9.050.881			3			0,02			9,99
5	14.006.770		1			0,01			8,55	
4	17.111.044			1			0,01			7,32
3	17.488.878	1			0,02			35,14		
2	25.952.919		1			0,01			15,85	
1	27.531.360			1			0,01			11,78
Total		4.622	13.769	12.834	100	100	100	100	100	100

1 – Polígono correspondente ao núcleo principal do concelho de Cascais; 1 – Polígono correspondente à cidade de Lisboa

O predomínio do número de polígonos (num total de 83,02%), das hierarquias 19 e 18, em 1960, não se reflecte numa hegemonia destas mesmas classes no que diz respeito à área construída, representando apenas 7,5% e 1,55% respectivamente. Em contraponto, os dados reflectem bem a hegemonia do maior polígono (onde se encontra englobada a cidade de Lisboa), com 35,14% do total de área, em 1960. Contudo, este mesmo polígono conhece uma diminuição do seu peso relativo nos dois momentos seguintes, com 15,85% e 11,60%, respectivamente.

As restantes hierarquias apresentam uma relativa homogeneidade de distribuição da área construída, com excepção de três casos particulares:

- 1) A hierarquia 19, que se justifica pela diminuta dimensão dos polígonos que a compõem.
- 2) A hierarquia 12, com 11,48% também pelo maior número de polígonos que a ela assiste (17) quebrando a tendência da diminuição do número de polígonos em função da posição hierárquica da classe. Estes polígonos representam centros urbanos já bem marcados na

década de 60, nomeadamente alguns polígonos ainda no concelho de Lisboa, mas que fazem a transição para o actual concelho da Amadora; algumas partes do centro urbano do actual concelho da Amadora e alguns centros do concelho de Sintra, nomeadamente a actual freguesia de Aqualva-Cacém e o núcleo urbano que rodeia os paços de concelho de Sintra, em síntese os principais aglomerados urbanos que estruturam todo o eixo da linha de Sintra. Encontram-se nesta classe também o aglomerado urbano envolvente aos paços de concelho do município de Oeiras, e ainda neste concelho o núcleo de Algés com fronteira com o concelho de Lisboa. A norte é incluído o centro urbano dos paços de concelho de Mafra e na fronteira leste da margem da AML o núcleo urbano do município de Vila Franca de Xira;

- 3) A hierarquia 10 que inclui apenas o polígono que representa a área central construída do concelho de Cascais (a azul), em 1960.

No primeiro período em análise (1960 – 1990) o aumento do número de polígonos é bastante significativo (de 4.622 para 13.769). No segundo período (1990 – 2004), o número de polígonos diminui, o que indica que existiu agregação de polígonos existentes (já que não são tidas em conta as situações de desaparecimento de áreas construídas). Sugere-se então, que na AMLNorte, à semelhança do caso da cidade de Telavive (Benguigui *et al*, 2006), poderão co-existir os dois processos de crescimento apresentados por Benguigui *et al* (2006), nomeadamente: 1) a criação de novas áreas construídas e 2) a agregação de áreas construídas já existentes.

De facto, as variações registadas nos dois períodos em análise indicam que apenas nas classes 17 a 19 (e ainda na n.º 12) se verifica um crescimento do número de polígonos (1960 – 1990), seguido de uma diminuição dos mesmos (1990 – 2004). Nas restantes classes o número de polígonos aumenta nos dois períodos analisados, o que significa uma constante entrada de polígonos nas hierarquias mais elevadas. Especificamente existe entrada de novos polígonos, entre a hierarquia 11 e 19 (1960-1990) e entre as hierarquias 12 e 19 (1990-2004), ou seja, não existe emergência de novos polígonos com áreas superiores a cerca de 800 mil metros quadrados.

As dinâmicas encontradas na variação do número de polígonos podem ser sintetizada em quatro tipologias de mudança, nomeadamente (Tabela 16 e Tabela 17):

1. Novos polígonos que emergem e que não têm contiguidade com nenhum polígono já existente.
2. Polígonos que não sofreram alterações.
3. Polígonos com alterações:
 - 3.1. Um só polígono que cresceu.
 - 3.2. Mais do que um polígono que cresceram e se agruparam dando origem a apenas um polígono de maior dimensão.

Tabela 16 – Tipologias de mudança, 1960/1990

Cod.	Tipologia	N.º polígonos 1960 - 90	1960		1990	
			Área (m2)	%	Área (m2)	%
1	Polígonos novos	11.102	--	--	26.714.216,7	16,31
2	Sem alterações	459	535.569,9	1,08	535.569,9	0,33
3	Com alterações	4.163	49.236.398,4	98,92	136.540.934,4	83,36
	Total alterações	--	--	--	87.304.535,9	53,30
31	1 polígono que cresce	1.666	4.074.873,4	8,19	15.735.456,2	9,61
	Dif. 1960 - 1990	--	--	--	11.660.582,8	7,12
32	2 ou mais polígonos que crescem e se agregam	2.497 (60) 542 (90)	45.161.525	90,74	120.805.478,1	73,76
	Dif. 1960 - 1990	--	--	--	75.643.953,2	46,18
	Total	4622 (60) 13.769 (90)	49.771.968,4	100	163.790.721,1	100

Tabela 17 – Tipologias de mudança, 1990/2004

Cod.	Tipologia	N.º polígonos 1990 - 04	1990		2004	
			Área (m2)	%	Área (m2)	%
1	Polígonos novos	1.406	--	--	5.987.893,3	2,52
2	Sem alterações	9.432	16.046.408,5	9,80	16.046.408,5	6,76
3	Com alterações	4.337	147.744.312,6	90,20	215.328.305,4	90,72
	Total alterações	--	--	--	67.583.992,7	28,47
31	1 polígono que cresce	1.367	13.999.346,9	8,55	21.887.612	9,22
	Dif. 1990 - 2004	--	--	--	7.888.265,1	3,32
32	2 ou mais polígonos que crescem e se agregam	2.970 (90) 629 (04)	133.744.965,7	81,66	193.440.693,4	81,50
	Dif. 1990 - 2004	--	--	--	59.695.727,7	25,15
	Total	13.769 (90) 12.834 (04)	163.790.721,1	100	237.362.607,1	100

Entre 1960 e 1990 registaram-se 11.102 novos polígonos de áreas construídas, representando 16,31% da área total, de 1990. As fortes dinâmicas de crescimento associadas a este período revelam-se também no diminuto número de polígonos (459) que não conheceram qualquer tipo de alteração e que representavam, em 1960 apenas 1,08% do total de área da AMLNorte, e em 1990 0,33%. A terceira tipologia representa os polígonos que sofreram alterações nos dois períodos e compreende duas subclasses, nomeadamente: i) quando um polígono já existente cresce e ii) quando as alterações se deveram ao crescimento e agregação de dois ou mais polígonos.

Ao nível de alterações, verifica-se que 98,92% da área construída de 1960 sofreu alterações, sendo que a área final alterada (em 1990) representa 83,36% do total de área construída da AMLNorte. Desta, o total de área realmente alterada entre 1960 e 1990 representa cerca de 53% do total de área de 1990. No segundo período analisado, 90,20% do total de área existente em 1990 sofre alterações, mantendo-se a mesma proporção em 2004, embora o total de área ocupada represente apenas 28,47%

De entre as duas subclasses de alterações, e em ambos os intervalos, é a classe 32 (crescimento e agregação) que apresenta maior representatividade, com 90,74% da área construída de 1960 a sofrer processos de crescimento e agregação de áreas construídas, como indica a diminuição do

número de polígonos de 2.497, em 1960, para 542 em 1990. No segundo período, 1990 regista 2.970 polígonos que pelo processo de agregação diminuem para 629 em 2004.

As tipologias de mudança (1), (2) e (31) ocorrem sobretudo nas hierarquias de dimensão mais pequena (ex., 18 e 17), quer ao nível do número de polígonos, quer ao nível dos totais de área, em ambos os intervalos em análise (Anexo II e Anexo III). Na tipologia (32), e no que diz respeito ao número de polígonos, são também as hierarquias de menor dimensão que apresentam maior representatividade, contudo, as hierarquias de maior dimensão ganham relevância se analisarmos as mudanças ao nível da área construída (Anexo II e Anexo III). A espacialização das tipologias de alteração (Figura 88 e Figura 89) indicam-nos uma clara dependência espacial do tecido construído pré-existente, quer em 1960, quer em 1990 e sobretudo para a tipologia de crescimento e agregação (32).

Figura 88 – Tipologias de alteração 1960/1990

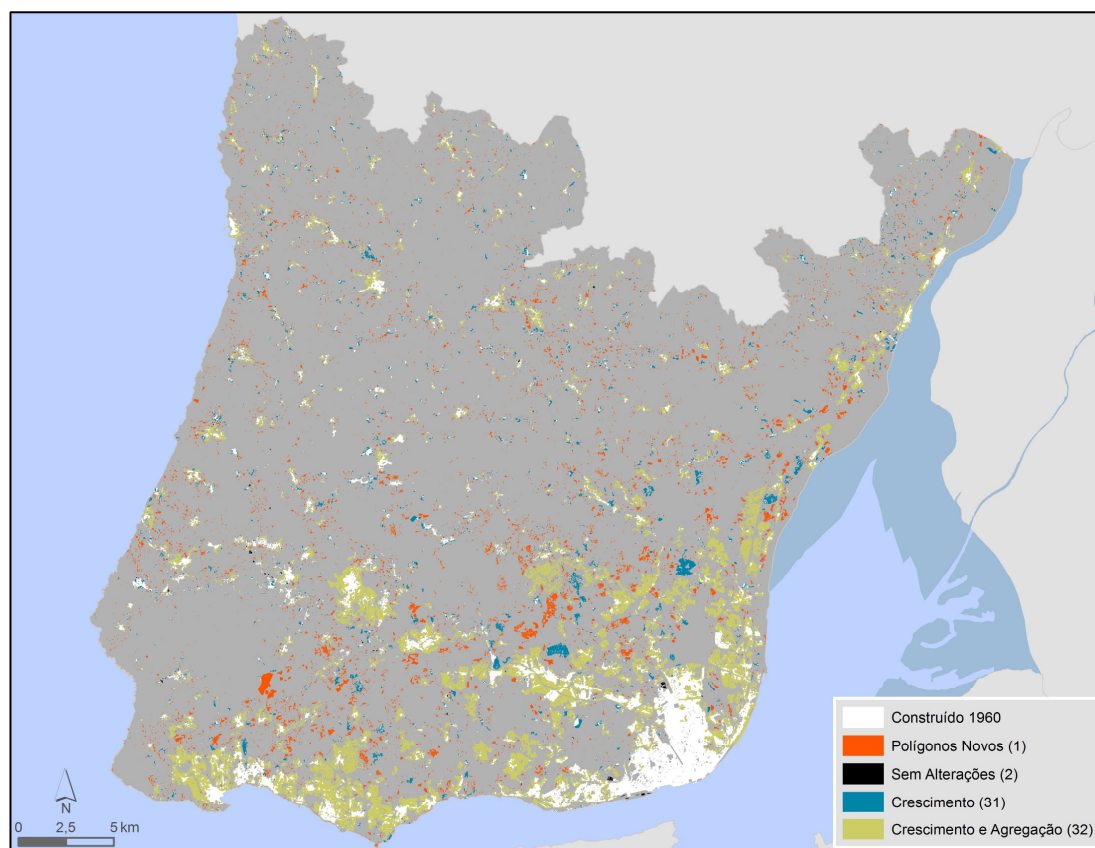
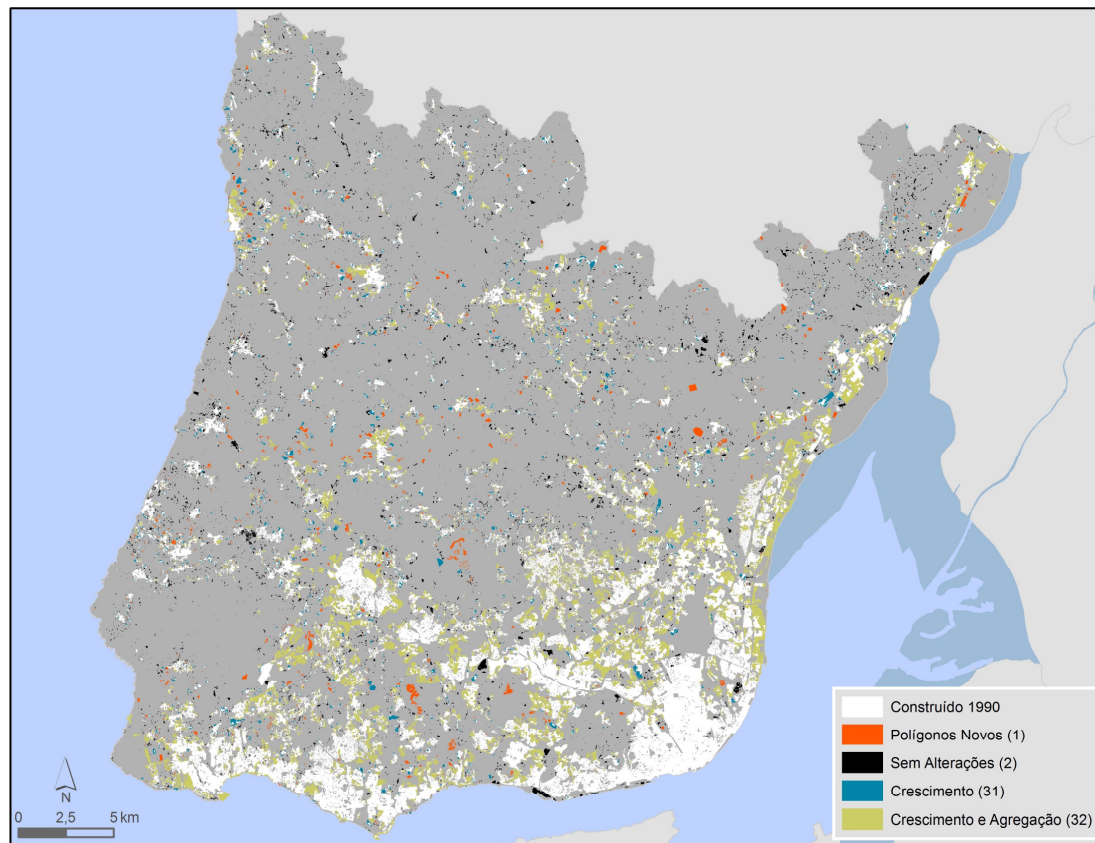


Figura 89 – Tipologias de alteração 1990/2004



A análise efectuada sugere a presença de relações hierárquicas no crescimento e espacialização das áreas construídas, no período em análise, o que poderá indicar a existência de processos de auto-organização que resultam da miríade de inter-relações nas várias escalas que formam o sistema territorial da AMLNorte. A distribuição de Pareto, e o caso especial da Lei de Zipf, podem contribuir para verificar a presença de mecanismos de auto-organização, como apresentado nos exemplos dos pontos anterior, e que aplicamos de seguida ao objecto de estudo (áreas construídas), da AMLNorte.

3.2.1.1. A Lei de Zipf aplicada às áreas construídas da AMLNorte

A Lei de Zipf, aplicada às áreas construídas, procura analisar a distribuição dos polígonos relativamente às hierarquias existentes. Adaptando as equações (14) ($y = bx^\alpha$) e (15) ($\ln y = \alpha(\ln x) + \log b$) para a problemática das áreas construídas, definimos y como a dimensão das áreas construídas (m^2) e x como as ordens (hierarquias) ordenadas do maior polígono para o menor. O expoente da distribuição de Pareto é dado por α (representando o declive da recta, na relação linear na equação 15). Se a Lei de Zipf se verificar, então $\alpha = 1$. A dimensão estimada do maior polígono é dada por b (Figura 90 e Tabela 18).

Figura 90 – Distribuição de Pareto para a AMLNorte, 1960 - 2004

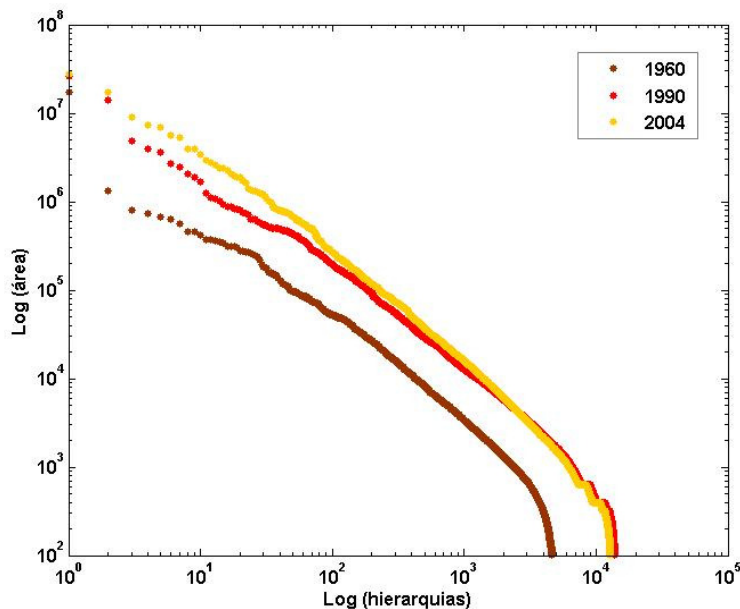


Tabela 18 – Parâmetros estimados para a distribuição de Pareto

	α	b	R^2
1960	1,4239	7,7242	0,9541
1990	1,4266	8,3989	0,9739
2004	1,5339	8,7733	0,9793

As distribuições encontradas sugerem a presença de leis de potência dadas pela distribuição de Pareto, o que poderá significar a presença de mecanismos de crescimento comuns a todas as escalas. Contudo, existem desvios à distribuição de Pareto, assim como à Lei de Zipf (em todos os anos analisados, $\alpha \neq 1$), que importa reportar e compreender, nomeadamente:

- 1) Em 1960, e nas primeiras hierarquias (polígonos de maior dimensão) é possível identificar o fenómeno enunciado por Jefferson (1939) como a “lei da cidade primária” (quando um sistema de cidades é dominado por uma cidade principal, cujo o tamanho é pelo menos duas vezes maior do que a segunda cidade). No presente caso, o polígono que dominava a AMLNorte correspondia à cidade de Lisboa, a qual apresentava uma dimensão largamente superior à proporção indicada por Jefferson (1939). Nos momentos temporais seguintes, a expansão dos subúrbios diminui a diferença entre o maior polígono e os restantes, e à semelhança de outros casos (Schweitzer, 1997 e Benguigui et al, 2006) verifica-se que o crescimento do maior polígono parece ter estabilizado.
- 2) As hierarquias de menor dimensão (cauda da distribuição) apresentam um claro desvio à lei de potência (verticalidade da distribuição), o que significa a existência de um limite mínimo de área a partir do qual se formam hierarquias no território. Saliente-se também

que não só o número de pontos (tamanho da amostragem) é finito, como não podem existir áreas construídas infinitamente pequenas, pelo que este desvio à lei de potência é esperado à partida. Assim, optou-se por recalcular os parâmetros da distribuição das áreas construídas, eliminando a cauda da distribuição dos três anos. A escolha do limiar a partir do qual os polígonos de menor dimensão não são considerados (*cut-off*), baseou-se apenas na visualização da distribuição. Os limites identificados para cada ano são: 690m², em 1960; 639 m², em 1990 e 784m², em 2004¹²⁵. (Figura 91 e Tabela 19)

Figura 91 – Distribuição de Pareto para a AMLNorte, com *cut-off* 1960 - 2004

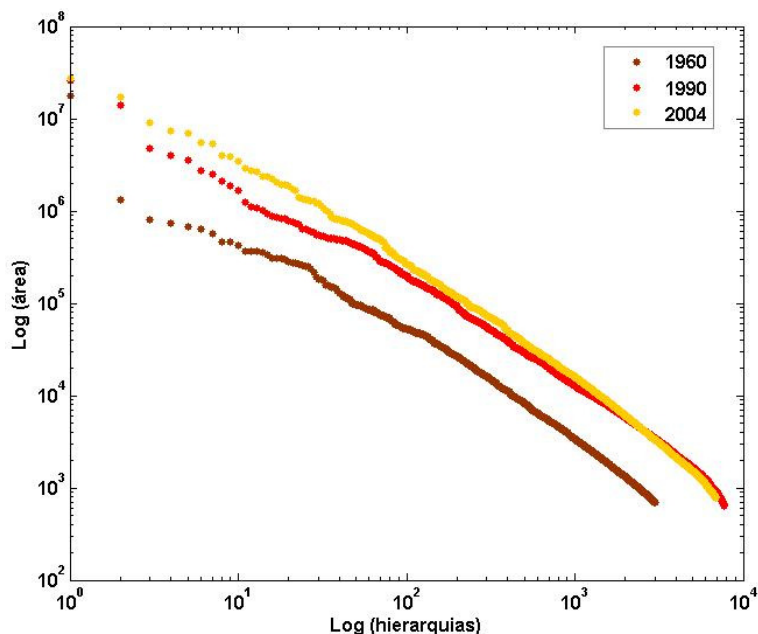


Tabela 19 – Parâmetros estimados para a distribuição de Pareto, com *cut-off*

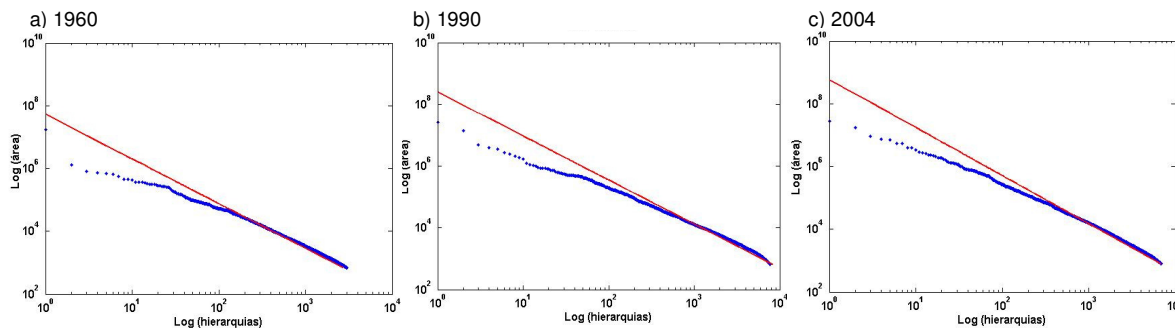
	α	b	R^2
1960	1,2474	7,2409	0,9917
1990	1,2731	7,9139	0,9898
2004	1,3787	8,2888	0,9936

O R^2 do ajuste dos dados apresenta uma melhoria significativa, a qual se traduz em valores de α mais próximos de 1 (embora se mantenha a tendência para o aumento do declive ao longo da série temporal), assim como os valores estimados para b .

A comparação entre a recta estimada e a distribuição das áreas construídas permite-nos enunciar algumas características da organização do sistema territorial da AMLNorte (Figura 92).

¹²⁵ A partir dos limites anunciado eliminaram-se 1620 polígonos, em 1960, num total de 4622; 5958, em 1990 (num total de 13769) e 6019, em 2004 (num total de 12834).

Figura 92 – Recta estimada na distribuição de Pareto para a AMLNorte, 1960 – 2004



A partir das figuras anteriores é possível verificar que existem dois comportamentos diferenciados entre o conjunto de hierarquias de maior dimensão e as de menor dimensão, sendo que a transição entre ambos ocorre sensivelmente a partir de $\log_{hierarq.} = 10^2 \Leftrightarrow \sim 44.000m^2$ (contudo, não será de menosprezar o facto de que o maior número de polígonos se encontra em hierarquias de menor dimensão, influenciando o ajuste dos dados e o respectivo declive da recta – situação que deverá ser analisada com maior cuidado no futuro).

Estes comportamentos sugerem que, nas hierarquias de grande dimensão, predominam processos de crescimento e agregação, o que significa que além do número de polígonos diminuir, este é acompanhado de crescimentos significativos em área construída. Como consequência, a diferença de tamanho entre polígonos de diferentes hierarquias terá tendência a aumentar, conduzindo a um aumento do declive ($\alpha > 1$).

A emergência de um grande número de novos polígonos, entre 1960 e 1990, seguida do seu crescimento generalizado provoca também uma descompensação do sistema face ao número de polígonos existentes em hierarquias de maior dimensão, como é disso indicativo a estimação da dimensão dos maiores polígonos e a comparação com o seu valor real. Por exemplo, a cidade de Lisboa em 1960 apresenta um valor real de ~17 milhões de metros quadrados, mas o seu valor estimado (através da determinação da intercepção da recta de ajuste com o eixo do YY') é de ~53 milhões. Em 1990, o mesmo polígono englobava ~26 milhões e o seu estimado é aproximadamente 250 milhões. Em 2004, a diferença é ainda mais significativa, entre os ~27 milhões de área construída no maior polígono e o seu valor estimado de ~594 milhões. Ou seja, e por absurdo, ou o polígono representativo da cidade de Lisboa tem uma dimensão inferior aquela que devia ter em função da dimensão das restantes hierarquias, ou os polígonos de menor dimensão apresentam áreas construídas maiores do que na verdade deveriam ser, por comparação com a dimensão do maior polígono existente no sistema em análise.

Os comportamentos diferenciados, juntamente com os indícios de auto-organização no sistema, podem ser estudados a partir de uma outra característica dos sistemas complexos, nomeadamente a dimensão fractal, que apresentamos no ponto que se segue.

3.3. A Medida Fractal das Áreas Construídas

Na década de 60, Benoit Mandelbrot cunha o termo fractal para caracterizar as estruturas geométricas que apresentam uma dimensão topológica fraccionária, isto é, não euclidiana, como são o caso de muitos dos objectos encontrados na natureza. Desde então o estudo dos fractais tem sido utilizado em diferentes áreas, desde as ciências naturais às ciências sociais (ver, por exemplo, Barnsley, 1998, Liebovitch, 1998 e Barabási e Stanley, 1995), e a aplicação dos fractais ao estudo da forma e função urbanas não tem sido excepção neste quadro (ver, por exemplo, Batty, 2005; Batty e Longley, 1994, Frankhauser, 1994).

De uma forma geral, a interpretação da dimensão fractal das áreas construídas permite-nos obter uma indicação do grau de ocupação do espaço. Assim, dimensões fractais mais próximas de 2 indicam-nos áreas fortemente compactas, áreas mais próximas de 1 são áreas com crescimento linear, por exemplo ao longo de eixos de comunicação. Finalmente, áreas com valores inferiores a 1 representam áreas de cariz mais rural onde predominam áreas muito dispersas. Batty e Longley (1994) apresentam uma síntese dos valores de dimensão fractal encontrados para diferentes cidades e em diferentes anos (Tabela 20).

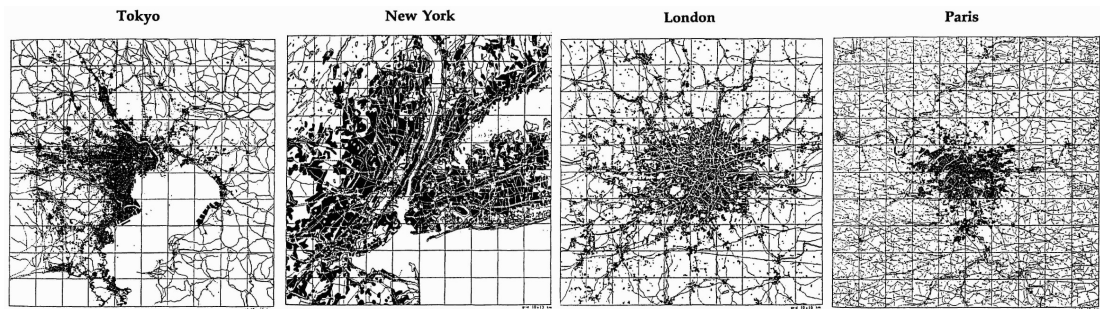
Tabela 20 – Dimensão fractal de diferentes cidades

Padrões urbanos			Padrões de crescimento		
Cidade	Ano	Dimensão Fractal	Cidade	Ano	Dimensão Fractal
Albany	1990	1,494	Londres	1820	1,322
Pequim	1981	1,93	Londres	1840	1,585
Berlim	1980	1,73	Londres	1860	1,415
Boston	1981	1,69	Londres	1880	1,700
Budapeste	1981	1,72	Londres	1900	1,737
Buffalo	1990	1,729	Londres	1914	1,765
Cardiff	1981	1,586	Londres	1939	1,791
Cleveland	1990	1,732	Londres	1962	1,774
Columbus	1990	1,808			
Essen	1981	1,81	Berlim	1875	1,43
Guatemala	1990	1,702	Berlim	1920	1,54
Londres	1962	1,774	Berlim	1945	1,69
Londres	1981	1,72			
Los Angeles	1981	1,93			
Melbourne	1981	1,85			
Cidade do México	1981	1,76			
Moscovo	1981	1,60			
Nova York	1960	1,710			
Paris	1960	1,862			
Paris	1981	1,66			
Pittsburgh	1981	1,59			
Pittsburgh	1990	1,775			
Potsdam	1945	1,88			
Roma	1981	1,69			
Seul	1981	1,682			
Estugarda	1981	1,41			
Sidney	1981	1,82			
Taipei	1981	1,39			
Taunton	1981	1,636			
Tóquio	1960	1,312			

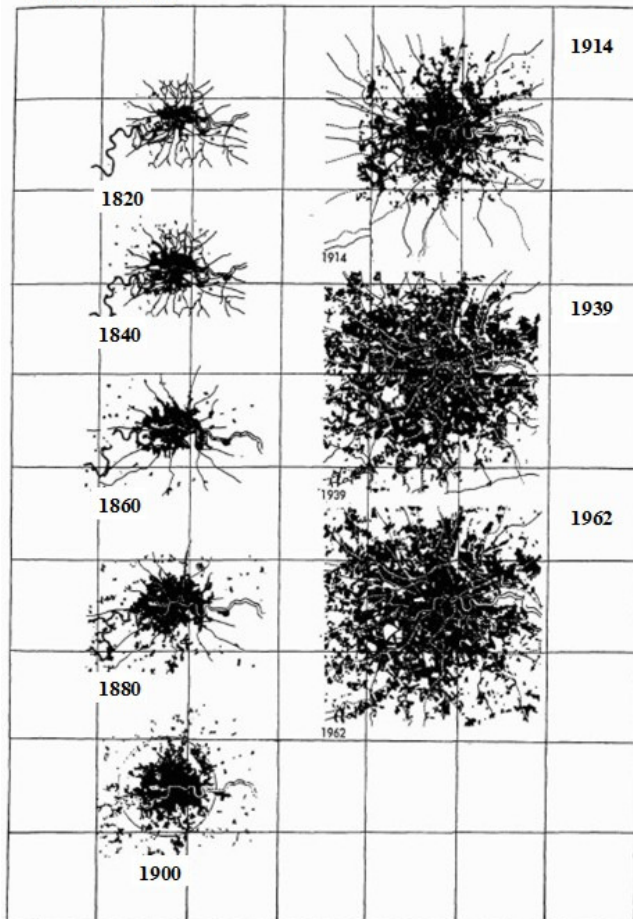
Fonte: Batty e Longley, 1994:242.

A tabela anterior resulta de uma compilação de trabalhos realizados por diferentes autores e com diferentes métodos de cálculo da dimensão fractal, razão pela qual a sua leitura não permite uma comparação directa; não obstante, e como defendem Batty e Longley (1994) é possível salientar alguns pontos: i) todas as dimensões variam entre 1 e 2 como seria de esperar teoricamente, ii) grande parte dos valores varia entre 1,6 e 1,8 (média de 1,7), o que sugere tendências comuns entre cidades de diferentes regiões do globo (Figura 93).

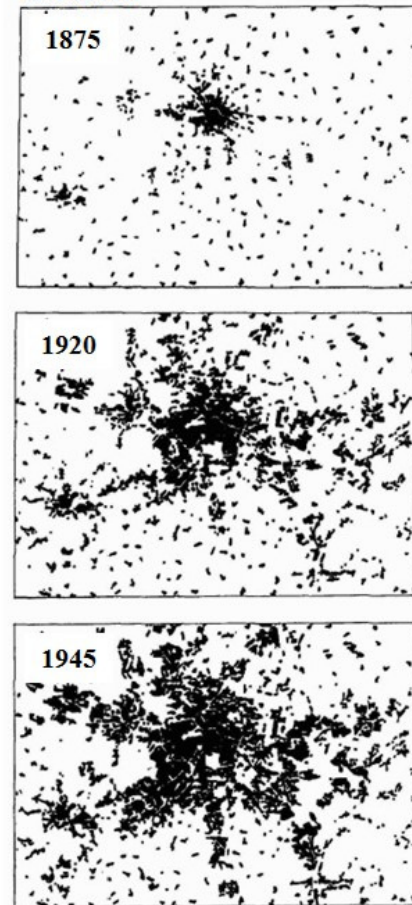
Figura 93 – Áreas construídas das diferentes cidades



Londres



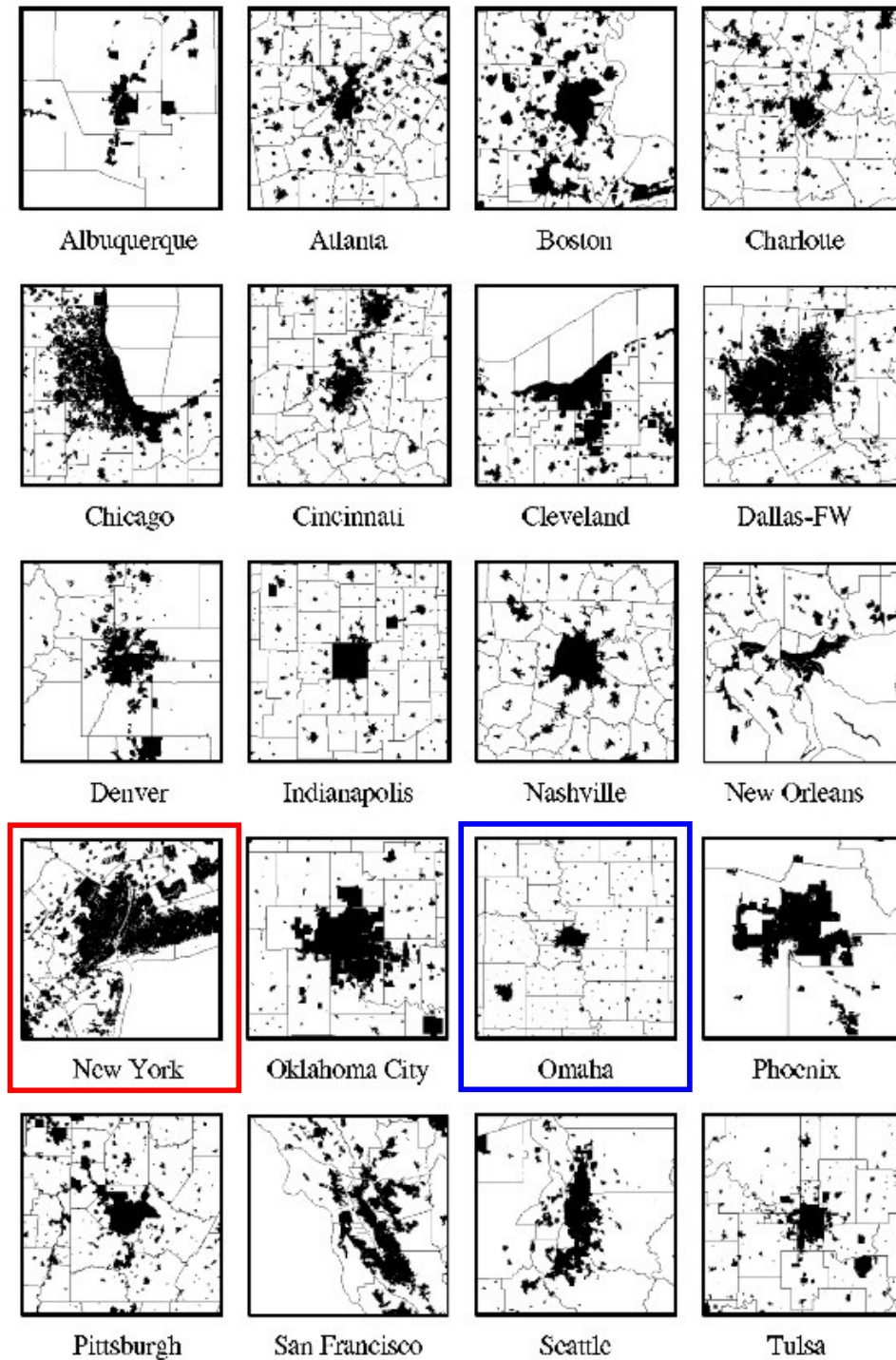
Berlim



Fonte: Batty e Longley, 1994.

Os resultados anteriores vão de acordo à noção de que a dimensão fractal de um território indica-nos, sobretudo, o grau de preenchimento do espaço por áreas construídas (Shen, 2002). Numa análise comparativa entre 20 cidades dos EUA, Shen (2002) obtém valores entre 1,28 e 1,70 (Figura 94).

Figura 94 – Áreas construídas de 20 cidades nos EUA



Fonte: Shen, 2002 (a vermelho o valor máximo de D; a azul o valor mínimo de D).

A análise efectuada por Shen (2002) refere-se a uma medida global de dimensão fractal dos territórios analisados. Uma vez que as representações cartográficas na Figura 94 se encontram à escala, as dimensões fractais calculadas pelo autor (Tabela 21) apenas reflectem o grau de ocupação do território considerado para cada cidade, e não da cidade em si.

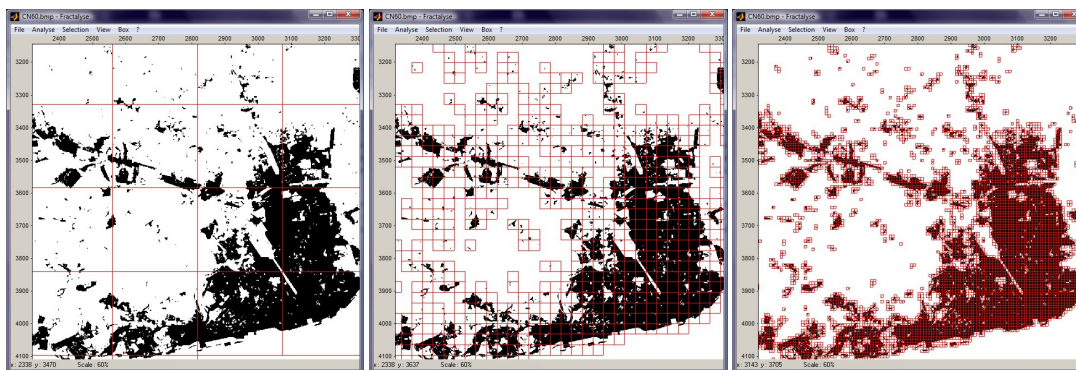
Tabela 21 – Dimensões fractais de 20 cidades nos EUA

Cidade	Dimensão Fractal	Cidade	Dimensão Fractal
Nova York	1,7014	Pittsburgh	1,4981
Dalas	1,6439	Nashville	1,4973
Chicago	1,6437	Atlanta	1,4950
Phoenix	1,6388	Nova Orleães	1,4745
São Francisco	1,6285	Cincinnati	1,4666
Boston	1,6022	Charlotte	1,4643
Cleveland	1,5869	Albuquerque	1,4294
Cidade de Oklahoma	1,5660	Tulsa	1,4250
Seattle	1,5473	Indianápolis	1,4129
Denver	1,5114	Omaha	1,2778

Fonte: Shen, 2002:427.

Existem vários métodos para o cálculo da dimensão fractal (ver, por exemplo, Klinkenberg, 1994), sendo o *box counting* um dos mais utilizados. Resumidamente, no *box counting*, calcula-se primeiro o número de “caixas” N_k , todas de tamanho ϵ_k , necessárias para cobrir o objecto em análise (Figura 95). Variando iterativamente o tamanho ϵ_k (geralmente por duplicação ou por diminuição para metade), permite-nos obter uma distribuição de N_k em função de ϵ_k .

Figura 95 – “Caixas” de tamanho ϵ no método *Box counting*



Nota: imagens geradas com o software *Fractalyse*¹²⁶ (a preto a área construída da cidade de Lisboa de 1960).

A dimensão fractal (D) é então dada pelo declive da recta de regressão resultante do ajuste linear do gráfico de $\log N_k$ (ordenadas) representado em função de $\log \epsilon_k$ (abscissas):

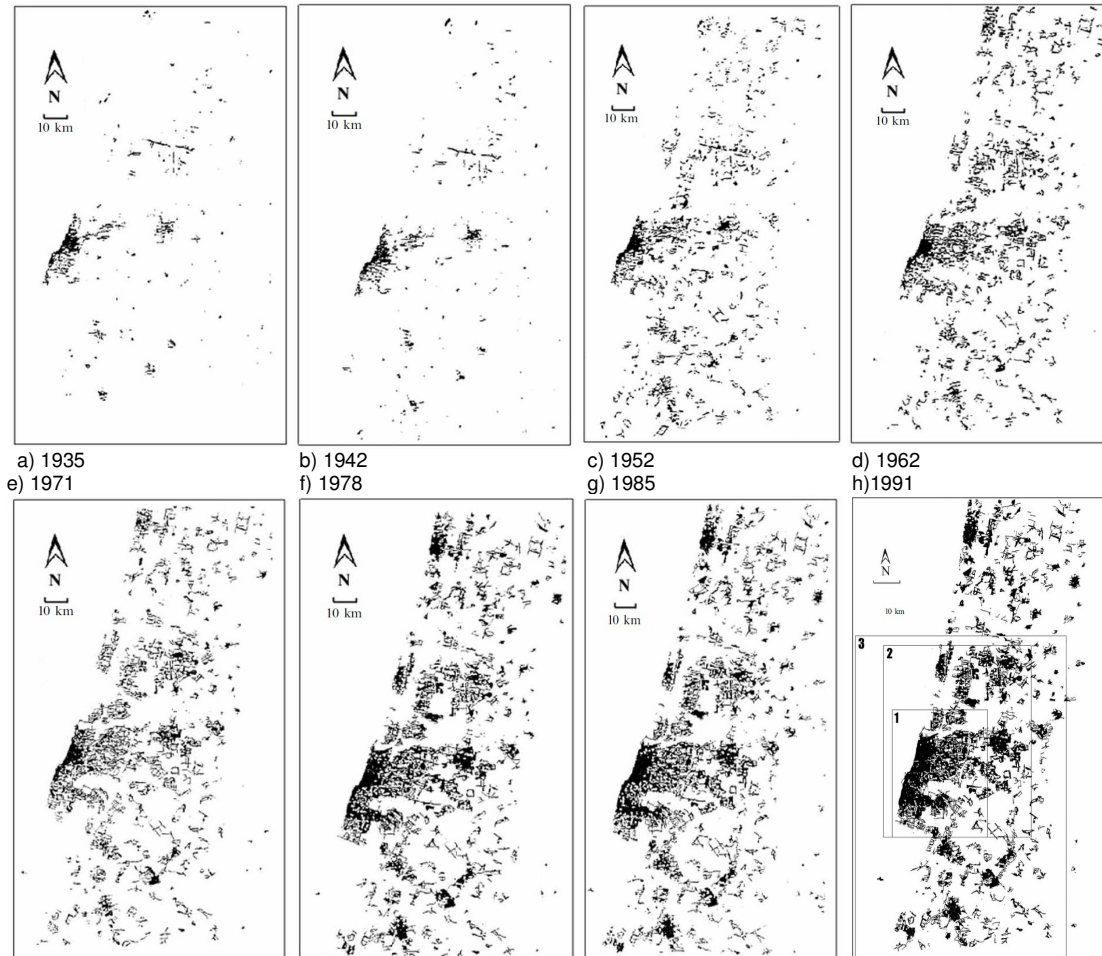
$$\log N_k = -D \log \epsilon_k + c \quad (16)$$

¹²⁶ O software *Fractalyse* foi desenvolvido por Gilles Vuidel da equipa *City, mobility, territory* do centro de investigação ThéMA, CNRS, França e é o resultado dos trabalhos desenvolvidos por Pierre Frankhauser e Cécile Tannier. O software pode ser descarregado gratuitamente em <http://www.fractalys.org/en-home.html>.

Onde c é uma constante a determinar¹²⁷.

Benguigui *et al* (2000) analisam a evolução da dimensão fractal das áreas construídas na área metropolitana de Telavive (Israel), entre 1935 e 1991 (Figura 96). O método escolhido para o cálculo da dimensão fractal foi o *box counting*.

Figura 96 – Áreas construídas da área metropolitana de Telavive



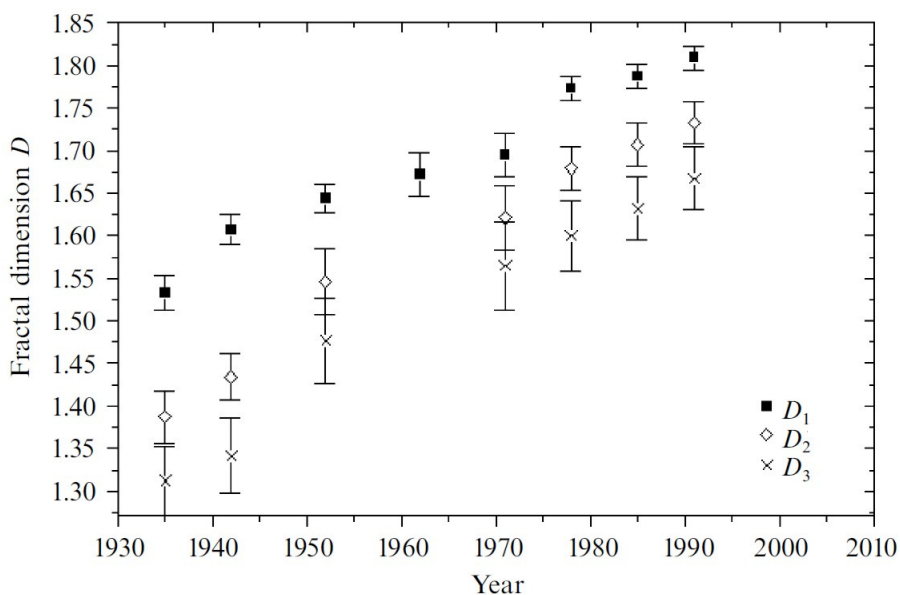
Fonte: Benguigui *et al*, 2000.

A partir dos limites administrativos da área metropolitana de Telavive, os autores determinaram três subáreas de estudo (Figura 96h). A primeira subárea corresponde à área central da região administrativa e inclui a cidade de Telavive e outros cinco aglomerados contíguos a esta e que sempre se caracterizaram (no período de estudo) como centros urbanos. A segunda subárea inclui a primeira e a área a norte desta (onde se concentra uma parte significativa de áreas construídas, por oposição à área a Sul de Telavive. A terceira região compreende grande parte da metrópole (as áreas a norte deste limite foram excluídas por o uso dominante ser agricultura).

¹²⁷ O método do box-counting será descrito com maior detalhe no ponto 3.3.1

O resultado do cálculo da dimensão fractal para as três subáreas, em cada um dos momentos temporais analisados, indicam-nos que no geral a dimensão fractal tem conhecido um aumento generalizado, embora se registem valores mais elevados de dimensão fractal da subárea 1 para a subárea 3¹²⁸(Figura 97).

Figura 97 – Evolução da dimensão fractal das subáreas em estudo em Telavive



Fonte: Benguigui *et al*, 2000.

A subárea 1 apresenta um maior aumento de D entre 1970 e 1980, explicado não pelo aumento de população mas sim pelo aumento das condições económicas da população, ou seja, a consequente procura de habitações com maior área de construção levou ao aumento do espaço ocupado dos subúrbios mais próximos e simultaneamente aumentou a área construída por outros usos do solo que não o residencial. As subáreas 2 e 3 registam maiores crescimentos entre 1940 e 1950, período onde se registaram fortes crescimentos populacionais decorrentes da criação do Estado de Israel em 1948 e a partir do qual se desenvolvem centros urbanos secundários.

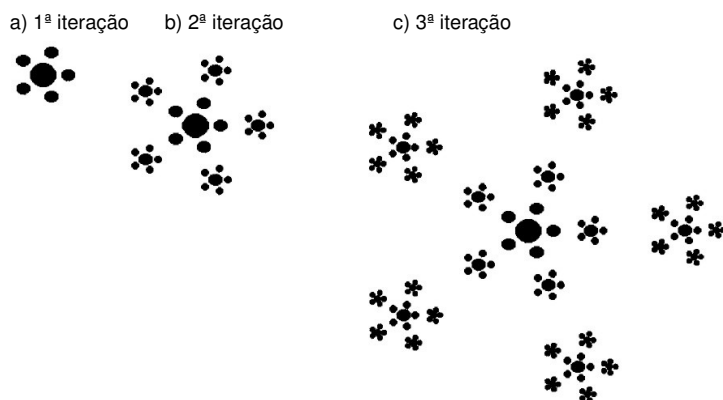
Os autores referem que pelo facto de a subárea 3 se ter tornado fractal apenas a partir de 1985 se poderá concluir que uma dada área metropolitana nem sempre será fractal e que este comportamento pode ser progressivo ao longo do tempo. Embora esta seja uma possibilidade de interpretação dos resultados pensamos que poderão existir outras alternativas, nomeadamente se entendermos o crescimento das áreas construídas como um multi-fractal e não como um monofractal (como será discutido mais à frente). Assim sendo, diferentes locais de uma área metropolitana podem ser descritos por diferentes expoentes de crescimento (Barabási e Stanley,

¹²⁸ Os autores consideram que cada subárea terá um comportamento fractal se os valores estimados de dimensão fractal apresentarem um $R^2 \geq 0.996$. Neste sentido a interpretação dos resultados da subárea deve ser lida com algum cuidado já que apenas os anos de 1985 e 1991 se apresentam dentro dos valores admitidos.

1995), que poderão traduzir quer diferentes estádios de crescimento quer diferentes dinâmicas de ocupação do espaço.

Num outro artigo (Benguigui e Czamanski, 2004), os autores procuram demonstrar que o processo que justifica a existência e a formação de um padrão fractal no crescimento das áreas construídas de uma área metropolitana é o processo de *leapfrogging*¹²⁹. Para este objectivo desenvolveram um algoritmo que gera um fractal determinístico composto por um processo iterativo de formação de um número constante de círculos (que representam subcentros) à volta de um centro principal (Figura 98).

Figura 98 – Construção de um fractal determinístico



Fonte: Benguigui e Czamanski, 2004.

Numa segunda fase os autores introduziram um factor de aleatoriedade na determinação do raio dos círculos gerados e das suas respectivas localizações, em cada iteração. Ao contrário do padrão gerado de forma determinista, os padrões gerados assemelham-se mais às distribuições encontradas para sistemas de cidades reais (Figura 99).

Figura 99 – Fractal com factor aleatório



Fonte: Benguigui e Czamanski, 2004.

¹²⁹ Por *leapfrogging* entende-se o processo de crescimento e expansão das áreas construídas para áreas não contínuas ao(s) centro(s) urbano(s) mais próximos, colocando em causa a hipótese do modelo de difusão do construído pelo território. Este tipo de crescimento promove um aumento da dispersão no geral de uma área metropolitana na medida em que aumenta novas frentes de construção. As áreas intersticiais entre "bolsas" de construção podem manter-se "vazias" por vários anos.

Para a comparação com um caso real, os autores transformaram os clusters de áreas construídas, da área metropolitana de Telavive, de 1985, em círculos (Figura 100).

Figura 100 – Áreas construídas da área metropolitana de Telavive, 1985

a) Áreas construídas originais



b) Áreas construídas em círculos



Fonte: Benguigui e Czamanski, 2004.

O conjunto das áreas construídas representadas por círculos apresenta a mesma estrutura que o conjunto das áreas construídas reais, na medida em que as dimensões fractais apresentam valores bastante aproximados, com 1,83 e 1,85, respectivamente. Pelo trabalho desenvolvido os autores concluem que o processo de leapfrogging é um mecanismo importante no crescimento das cidades e fornece uma explicação simples para o comportamento fractal destas (Benguigui e Czamanski, 2004:83).

Frankhauser (2004)¹³⁰ defende que o estudo da dimensão fractal das áreas urbanas permite aumentar o conhecimento sobre o fenómeno da dispersão, i.e., será possível distinguir diferentes tipos de padrões urbanos de acordo com a sua organização espacial, nomeadamente no que diz respeito aos diferentes processos de formação que definem a sua génese, como são o caso de áreas fortemente planeadas versus áreas “orgânicas” (Frankhauser, 2004:3). Do conjunto de 15 cidades europeias analisadas, a equipa encontrou indícios de que o planeamento urbano e de forma mais geral o contexto histórico de evolução de uma cidade influenciam a morfologia da mesma (Frankhauser, 2004:12). A dimensão fractal das áreas centrais das cidades analisadas apresenta valores entre 1,8 e 1,95¹³¹. Nos casos em que existem subcentros à volta do núcleo

¹³⁰ O artigo referenciado sintetiza o trabalho de investigação desenvolvido por uma equipa internacional, num total de 5 países, nomeadamente: França, Alemanha, Bélgica, Suíça e Itália. O autor, Pierre Frankhauser foi responsável pela investigação em França, conjuntamente com L. Quiévreux.

¹³¹ A equipa desenvolveu três índices relacionados com a dimensão fractal, nomeadamente o índice de uniformidade (que corresponde à dimensão fractal da superfície ocupada por construído) e o índice de dendricidade (dimensão fractal das fronteiras dos clusters principais do conjunto das áreas construídas). Aqui reportamo-nos apenas aos resultados para o índice de uniformidade, na medida em que é o que se aproxima mais ao trabalho desenvolvido e que será apresentado no próximo sub-ponto.

principal, os autores registaram um decréscimo na dimensão fractal, no caso de Estugarda, por exemplo, obtiveram-se valores entre 1,61 e 1,73. As áreas menos planeadas e cujos crescimentos sofreram menos constrangimentos apresentam valores menos elevados, nomeadamente entre 1,5 e 1,74 para a região periférica da cidade de Estugarda.

A partir dos resultados encontrados o autor apresenta uma síntese da relação entre a dimensão fractal e padrões espaciais (Tabela 22).

Tabela 22 – Dimensão fractal e padrões espaciais das áreas construídas

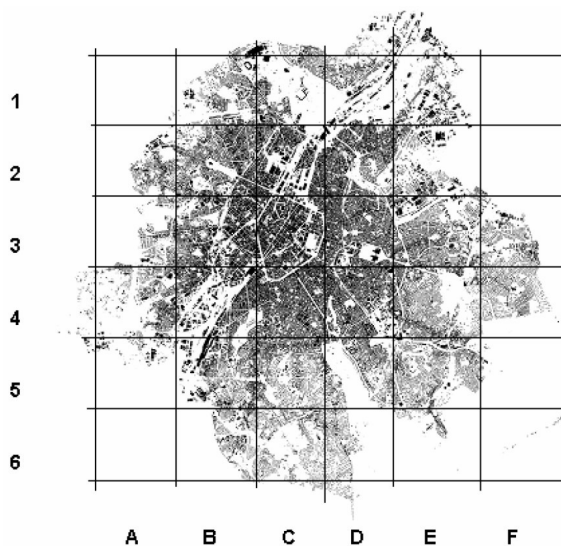
Padrões Espaciais	Características	Dimensão Fractal
Centros das cidades	Homogéneas, padrões com pouco contraste	1,8 – 1,95
Áreas residenciais sem espaços públicos, fronteiras suaves	Homogéneas, padrões com pouco contraste	1,8 – 1,99
Novas cidades, planos “Corbusianos”, com espaços públicos de diferentes dimensões	Padrões espaciais planeados fortemente contrastantes	1,6 – 1,77
Fronteiras dendríticas irregulares e contrastadas	Crescimento progressivo pouco controlado	1,64 – 1,85

Fonte: Frankhauser, 2004.

Frankhauser (2004) defende como uma das conclusões o uso da dimensão fractal para a caracterização de padrões espaciais para fins de planeamento. Partindo da análise da tabela anterior parece-nos no entanto uma conclusão demasiado generalista, visto que padrões espaciais bastante diferenciados podem apresentar dimensões fractais que se sobrepõe no intervalo de valores apresentados. Também o facto do autor não apresentar valores de dimensão fractal inferiores a 1,6 levanta algumas questões, nomeadamente sobre as áreas que poderão ser mais afectas ao fenómeno da dispersão.

Por sua vez, a análise da intra-diversidade urbana foi também analisada por De Keersmaecker *et al* (2003), tendo como caso de estudo a cidade de Bruxelas (Figura 101).

Figura 101 – Áreas construídas da cidade de Bruxelas



Fonte: De Keersmaecker, *et al*, 2003.

Para analisar a diversidade interna os autores dividiram a área de estudo num grelha de 6x6 células de 2750x2250 metros, destas apenas 26 células foram contabilizadas para análise. No conjunto da área de estudo, a média de valores de D é de 1,822, com um mínimo de 1.338 e um máximo de 1,961. Partindo dos valores de dimensão fractal de cada célula, os autores sintetizam e classificam os padrões espaciais da cidade Bruxelas, em função da dimensão fractal, da seguinte forma (Tabela 23):

Tabela 23 – Classificação dos padrões espaciais encontrados na cidade de Bruxelas

Grupo	Subgrupo	Dimensão fractal média (D)	Células	Descrição
Urbano	U1	1,92	B2, D2, C3, E3, C4, D4	Centro da cidade mais antigo, anterior à independência da Bélgica em 1830
	U2	1,89	C2, B3, D3	CBD
	U3	1,79	C1, D1, B4, E4, B6, B1, E5	Áreas residenciais mistas + industrial do século XX
Suburbano	S1	1,82	A2, E2, A3, F3, F4, C5, D5, C6	Urbano com jardins do século XX
	S2	1,44	E1, A4	Áreas rurais, grandes superfícies industriais e equipamentos colectivos

Fonte: De Keersmaecker, *et al*, 2003.

Os fractais são estruturas intrinsecamente hierárquicas (Frankhauser, 1998) e o conjunto de casos de estudo acima apresentados parecem confirmar a existência de hierarquias. De facto, a geometria da distribuição das áreas construídas, quando traduzida numa medida de dimensão fractal, indica-nos a existência de elementos que ocorrem a diferentes escalas (Frankhauser, 1998). A identificação de um comportamento multi-fractal sugere-nos a presença de diferentes padrões ou estruturas espaciais que podem decorrer de diferentes estádios de crescimento ou de formas de ocupação do espaço (orgânico versus planeado). Para o planeamento e ordenamento do território, o desenvolvimento de uma metodologia de classificação do estádio de evolução do território permitiria a identificação antecipada de possíveis padrões de dispersão não desejáveis, e será esta a abordagem seguida para o caso de estudo – a aglomeração de Lisboa.

3.3.1. A fractalidade das áreas construídas da margem norte da AML

Numa primeira fase calcularam-se as dimensões fractais globais (para o conjunto da AMLNorte), dos três anos em análise (Tabela 24). Para o cálculo da dimensão fractal optou-se pelo método do *box-counting*, presente no software *Fractalyse*. Este procedimento segue a linha tradicional de análise desenvolvida até ao presente no âmbito da geografia.

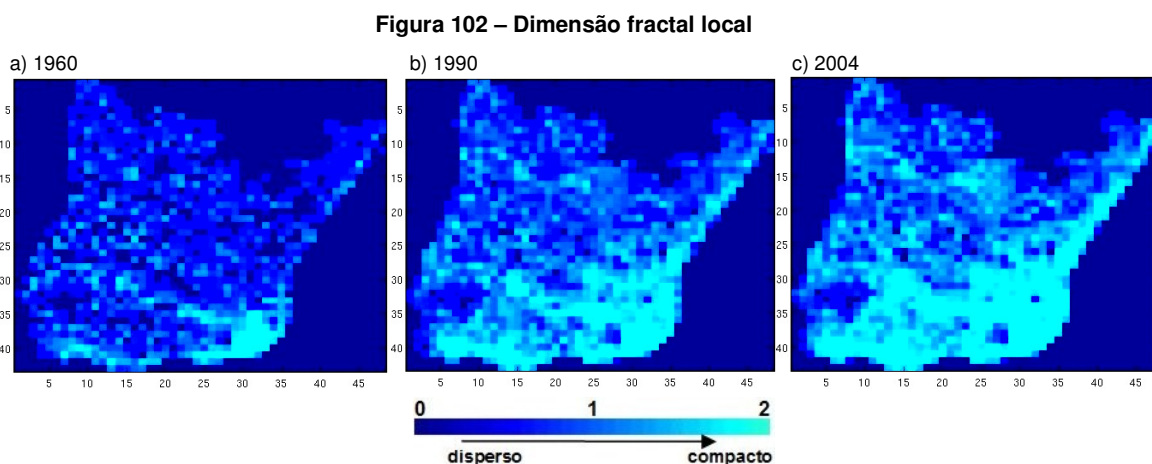
Tabela 24 – Dimensão fractal da AMLNorte, 1960, 1990 e 2004

Ano	Dimensão Fractal (D)	R ²
1960	1,423	0,993
1990	1,612	0,992
2004	1,659	0,999

Os resultados indicam-nos que a estrutura morfológica do conjunto das áreas construídas da AMLNorte apresenta de facto um comportamento fractal, dados os valores elevados de R^2 . O aumento da dimensão fractal, entre 1960 e 2004, indica-nos que o território da AMLNorte tem conhecido um aumento da sua compacticidade, traduzida no aumento da ocupação do espaço disponível, em linha com os resultados no sub-ponto anterior reportados sobre outras cidades europeias e internacionais. Porém, o cálculo da dimensão fractal global permite apenas obter uma leitura geral sobre o crescimento ocorrido na AMLNorte, no sentido em que nos permite concluir da existência de hierarquias, mas nada nos diz sobre a estrutura interna do território em estudo. Finalmente, o aumento da dimensão fractal do tecido construído no tempo é um resultado óbvio em si mesmo, pelo que os dados mais significativos da Tabela 24 são os R^2 .

3.3.1.1. Comportamento multi-fractal das áreas construídas da AMLNorte

Com o intuito de explorar o comportamento fractal das áreas construídas com maior detalhe, torna-se conveniente calcular a dimensão fractal local, permitindo assim uma análise do comportamento multi-fractal que poderá caracterizar as estruturas construídas dos territórios. Desta forma, a área de estudo foi dividida em sub-matrizes de 100x100 pixels¹³² sobre as quais incidiu o cálculo da dimensão fractal¹³³ (Figura 102)¹³⁴.



A sequência de imagens permite-nos constatar que, localmente, ocorreu um aumento generalizado da dimensão fractal na generalidade das sub-matrizes, verificando-se acima de tudo que este

¹³² A cada pixel corresponde uma resolução de 10x10 metros = 100m², logo cada matriz terá 100x100 pixels = 10⁶m²=1km²

¹³³ A formalização matemática e respectiva programação computacional foram desenvolvidos por Marcos Gaudiano que desenvolve, actualmente, pós-doutoramento no grupo Applications of Theoretical Physics (ATP). O grupo ATP (<http://www.ciul.ul.pt/~ATP/ATP/atpgroup.html>) integra-se no Centro de Matemática e Aplicações Fundamentais (CMAF) da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (<http://cmaf.ptmat.fc.ul.pt/>). Os teoremas e teoria matemática subjacente à aplicação aqui desenvolvida serão apresentados em futuras publicações.

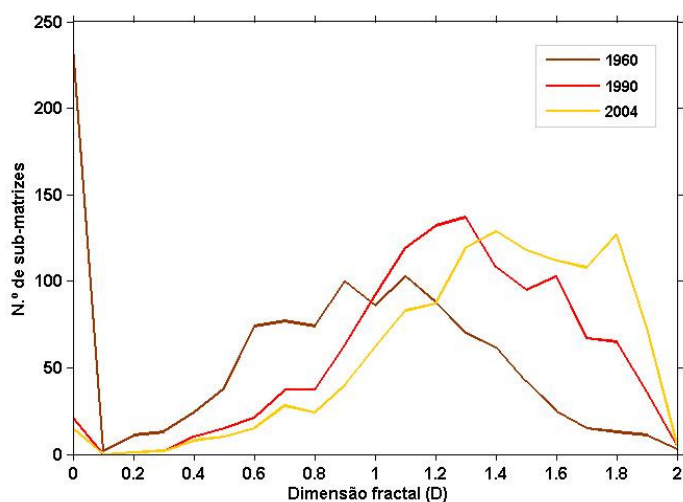
¹³⁴ A escolha do tipo de matriz deverá influenciar os resultados finais (Thomas *et al*, 2007), na medida em que, por exemplo, uma área contínua de construído poderá não ficar totalmente englobada numa sub-matriz. Assim, no futuro pretende-se efectuar uma análise envolvendo diferentes resoluções de sub-matrizes bem como alterar as coordenadas de origem das mesmas. De salientar, no entanto, que se constata que, como resultado da análise multi-fractal aqui efectuada, são encontrados valores de R^2 superiores a 0,9 em 95% das sub-matrizes.

aumento parece seguir um padrão espacial a partir da cidade de Lisboa, em perfeita sintonia com a distribuição espacial analisada nos anteriores sub-pontos.

Estes resultados levam-nos então a questionar se existirá alguma relação entre as dinâmicas de crescimento ocorridas e a dimensão fractal das áreas construídas; e, se assim for, se poderão estes valores identificar algum mecanismo/elemento(s) nas dinâmicas de crescimento e evolução (e auto-organização) no sistema estudado?

A partir destas imagens interessa primeiro identificar a distribuição de ocorrências de sub-matrizes com uma dada dimensão fractal. O resultado é apresentado na figura seguinte (Figura 103).

Figura 103 – Frequência de sub-matrizes por dimensão fractal



Da anterior figura fica clara a existência, em 1960, de um elevado número de sub-matrizes com $D = 0$, representativas de uma grande quantidade de território ainda por ocupar (19,90% do total de sub-matrizes) e que conhece uma forte diminuição já em 1990 (representando apenas 1,72% do total de sub-matrizes). Também em 1960 verifica-se que a distribuição das sub-matrizes em função da dimensão fractal se centrava à volta de valores de D próximos de 1. Ou seja, no território da AMLNorte predominavam aglomerados com morfologias lineares (possivelmente núcleos pequenos estruturados em função de uma ou várias vias de comunicação). Porém parece existir também uma distribuição “equilibrada” de núcleos de várias hierarquias, quer com valores de $D < 1$, quer núcleos de maior dimensão e mais compactos com $D > 1$. Por sua vez, o conjunto de sub-matrizes que representam a cidade de Lisboa apresenta, já em 1960, dimensões fractais muito próximas de 2, com um máximo de 1,97.

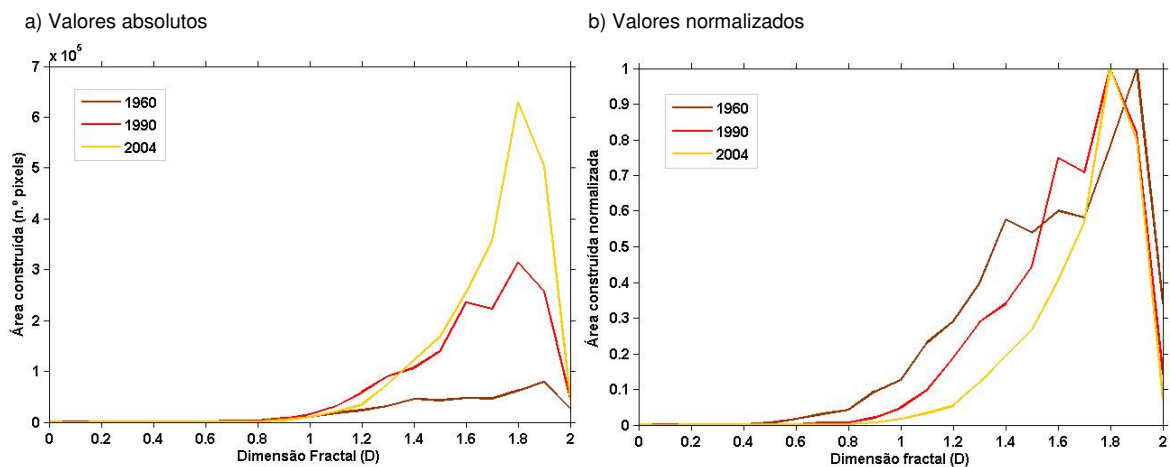
Contudo, em 1990 existe já um claro desvio da curva para valores de dimensão fractal superiores, atingindo-se um máximo em $D = 1,2$, sensivelmente. A diminuição do número de sub-matrizes com dimensão inferior a 1, em contraponto com o aumento do número de sub-matrizes com dimensão superior a 1,2, indica-nos que o aumento das áreas construídas foi generalizado no

território. Este padrão é fortalecido em 2004 com o maior número de sub-matrizes (~80%) a apresentar valores de $D > 1$.

Nos três anos em análise, o número de sub-matrizes com $D \geq 1,9$ aumentou de 90 em 1960, para 2500 em 1990 e 3100 em 2004. Contudo, nenhuma das novas entradas apresenta valores de D superiores ao máximo registado em 1960 (1,97), indicando que o limiar de saturação (em área) na AMLNorte corresponde a este valor.

Se analisarmos a quantidade de área construída por dimensão fractal (isto é, o total de área construída englobada em cada sub-matriz) verificamos que as frequências apresentam uma tendência comum de crescimento ao longo dos últimos 40 anos (Figura 104a), embora, os valores normalizados (Figura 104b) consubstanciem os resultados da Figura 103, i.e., que entre 1960 e 2004 o crescimento ocorrido tenha sido acompanhado de um aumento generalizado da dimensão fractal. Por outro lado, a normalização dos valores (Figura 104b) permite-nos lançar a hipótese de que existirá uma relação não-trivial entre o aumento do total de área construída e o aumento da dimensão fractal, que não se limita à simples compactação do espaço.

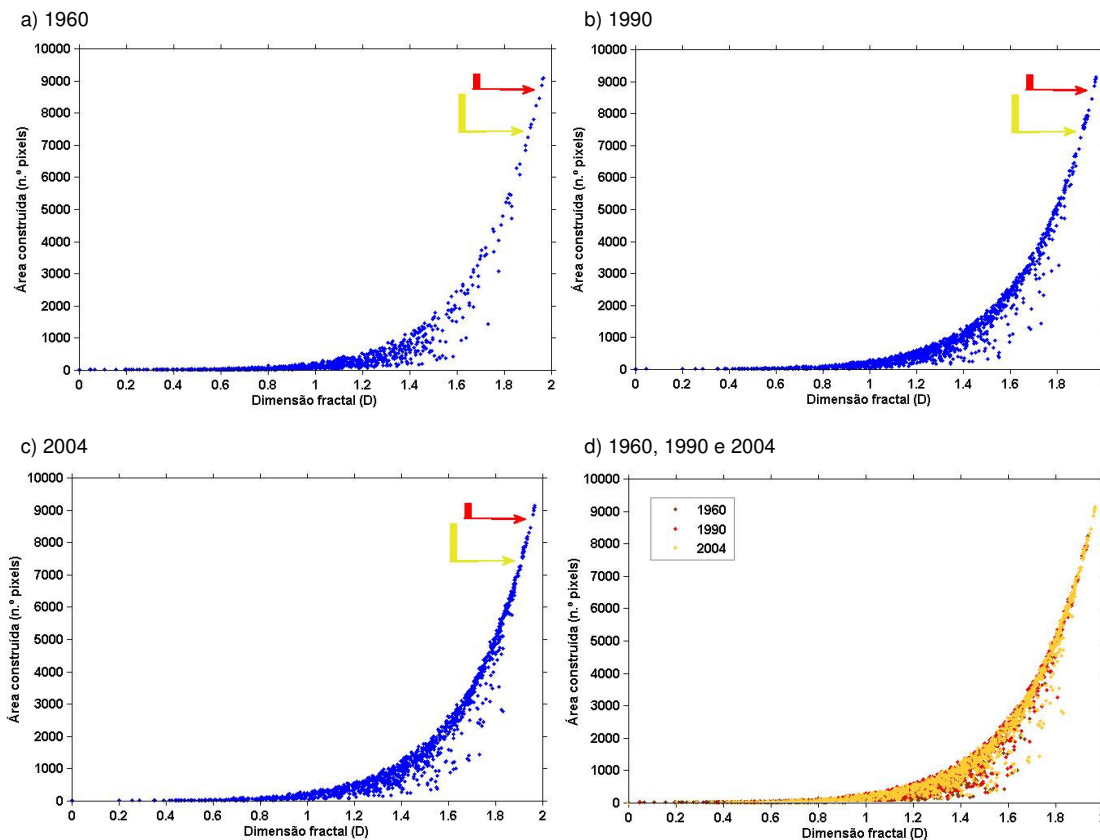
Figura 104 – Área construída por dimensão fractal



A normalização dos valores revela-nos também que o peso relativo da área construída, das sub-matrizes com menor dimensão fractal, tem vindo a diminuir consecutivamente ao longo dos três anos. Estes dados parecem indicar que também ao nível local tem existido uma compactação do espaço e não apenas ao nível global como revelavam os primeiros resultados.

O gráfico de dispersão da área construída de cada sub-matriz em função da dimensão fractal mostra-nos a consolidação do padrão já existente em 1960 (Figura 105) – veja-se o aumento de pontos na curva com $D > 1,5$, sensivelmente, em 1990 e 2004. Em 1960 estes contabilizavam 7% do total de sub-matrizes, enquanto que em 1990 representavam já 27,5% e em 2004 41,5%.

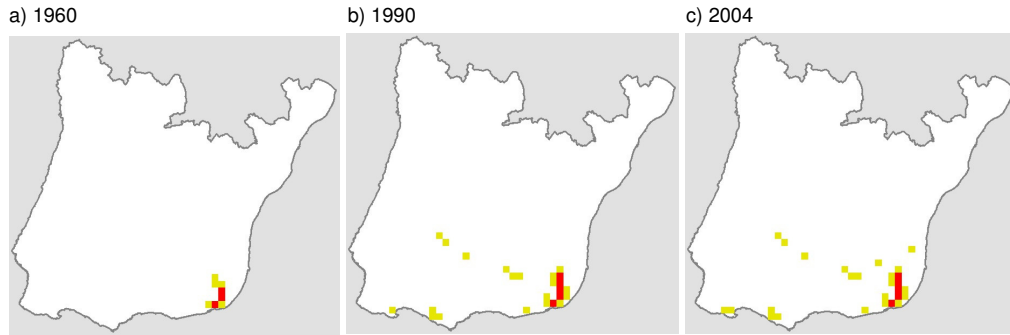
Figura 105 – Gráfico de dispersão entre a área construída e a dimensão fractal



Do conjunto das figuras anteriores podemos retirar algumas ideias principais, nomeadamente:

- Que em 1960 existe já um forte potencial para a dispersão dado o número elevado de sub-matrizes com $D < 1$.
- Que nos três anos em análise, e na janela definida por $1,2 \leq D \leq 1,8$, a elevada variância na distribuição dos pontos indica-nos que existe uma maior diversidade de sub-matrizes com dimensões fractais semelhantes, mas que apresentam quantitativos de área construída muito diferenciados, e vice-versa.
- Entre 1960 e 1990 verifica-se um aumento do número de sub-matrizes com $D \geq 1,6$, comportamento que se mantém entre 1990 e 2004.
- Que existem duas regiões no gráfico (setas a vermelho e amarelo) que não são ocupadas por nenhuma sub-matriz, nos três anos em análise. A seta a vermelho delimita valores de dimensão fractal superiores a 1,961. A seta a amarelo representa a área do gráfico com valores de dimensão fractal no intervalo $[1,911 - 1,95]$. Todas as restantes sub-matrizes localizam-se na área do gráfico com $D < 1,902$.

Figura 106 – Agrupamentos de sub-matrizes em função da dimensão fractal



A identificação e localização das sub-matrizes, pertencentes aos dois principais grupos acima mencionados (Figura 106), permitem constatar que o grupo de sub-matrizes a vermelho ($D \geq 1,961$) surgem apenas nas áreas consolidadas antigas da cidade de Lisboa. Este comportamento permite-nos lançar a hipótese de que o primeiro grupo (sub-matrizes a vermelho) se desenvolveu de forma mais compacta, como resultado da necessidade de proximidade nas dinâmicas urbanas características das épocas anteriores ao desenvolvimento generalizado do transporte individual e ferroviário. Em contraponto, as sub-matrizes a amarelo apesar de apresentarem uma taxa de ocupação do espaço crescente não deverão no futuro englobar o primeiro grupo já que estas decorrem de processos de urbanização mais recentes que se caracterizam por maiores áreas livres dedicadas a diferentes usos do solo, como sejam as áreas verdes e os canais de transporte. Desta forma, questionamo-nos se existirá uma capacidade limite de ocupação do espaço em função dos grandes ciclos de urbanização. Não fica no entanto claro se as “quebras” identificadas nos gráficos de dispersão serão pontos “estáveis” ou se, pelo contrário, serão ocupados no futuro.

Dos gráficos de dispersão é possível constatar não só que para uma mesma dimensão fractal (D) podem concorrer diferentes quantitativos de área construída (A) e vice-versa, mas sobretudo que esta relação parece estar limitada superior e inferiormente por funções de D , que designamos por $S(D)$ e $I(D)$, respectivamente. Ou seja, para um dado D não será possível construir para além de $S(D)$ (à excepção da terceira dimensão). O limite inferior indica-nos que existe um mínimo de área construída para aglomerados com uma dada dimensão fractal.

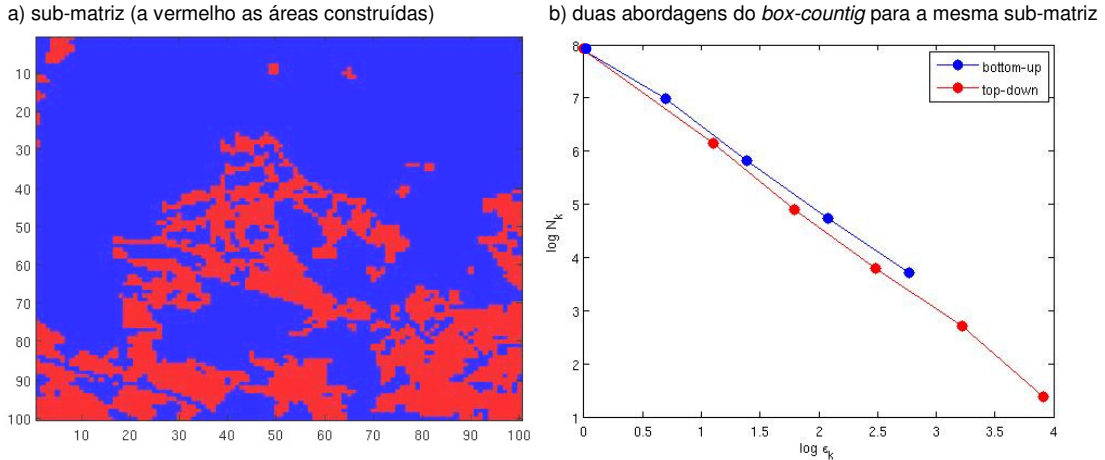
Embora não seja totalmente visível no gráfico, verificou-se por observação dos valores que os valores de 1960 marcavam já o limite da área máxima em função de D , assim como o limite mínimo. Ambos os limites são quantificados a partir do método utilizado, i.e., o *box-counting* (anteriormente apresentado).

Na medida em que as áreas construídas não são um fractal matemático, não se pode esperar que o algoritmo funcione para $k = [0; \dots; \infty[$. Desta forma, será necessário encontrar o limite máximo

(m) de k para o presente caso de estudo. No presente caso o limite mínimo de k é dado pela resolução original dos dados (10x10 metros = 1 pixel).

A Figura 107a representa uma sub-matriz à qual é aplicada o algoritmo do *box counting* recorrendo às duas abordagens, nomeadamente a *top-down* a *bottom-up* (Figura 107b), isto é, no primeiro caso o tamanho da matriz é reduzido em metade e no segundo caso o tamanho da matriz é duplicado. Na primeira abordagem $m = 6$ e na segunda $m = 5$.

Figura 107 – Exemplo de aplicação do método do box-counting numa sub-matriz



A dimensão fractal (D) é dada pelo declive da distribuição dos pares de pontos $\log \epsilon_k$ e $\log N_k$ e estimada pela equação (16) que aqui replicamos¹³⁵: $\log N_k = -D \log \epsilon_k + c$.

A partir da anterior relação é possível calcular a área (A) necessária para englobar toda a área construída, com caixas de tamanho ϵ_k . Assim, A , em cada iteração k , é dada por:

$$A_k = N_k \epsilon_k^2 \Leftrightarrow \log A_k = (2 - D) \log \epsilon_k + c \quad (17)$$

A partir da qual podemos determinar a diferença da área total entre k e $k + 1$, pela seguintes relações:

$$\begin{aligned} \log \frac{A_{k+1}}{A_k} &= \log \left(\frac{\epsilon_{k+1}}{\epsilon_k} \right)^{2-D} \\ \Leftrightarrow A_{k+1} &= A_k \left(\frac{\epsilon_{k+1}}{\epsilon_k} \right)^{2-D} \end{aligned} \quad (18)$$

¹³⁵ ϵ_k - tamanho de cada sub-matriz na iteração k ; N_k - número de sub-matrizes de tamanho ϵ na iteração k ; c - constante a determinar

Onde $\frac{\mathcal{E}_{k+1}}{\mathcal{E}_k} = x = \text{const.}$ ($x = 1/2$ para a abordagem *top-down* e $x = 2$ para a abordagem *bottom-up*).

Iterando a equação (18) até ao limite máximo (m) de k obtemos:

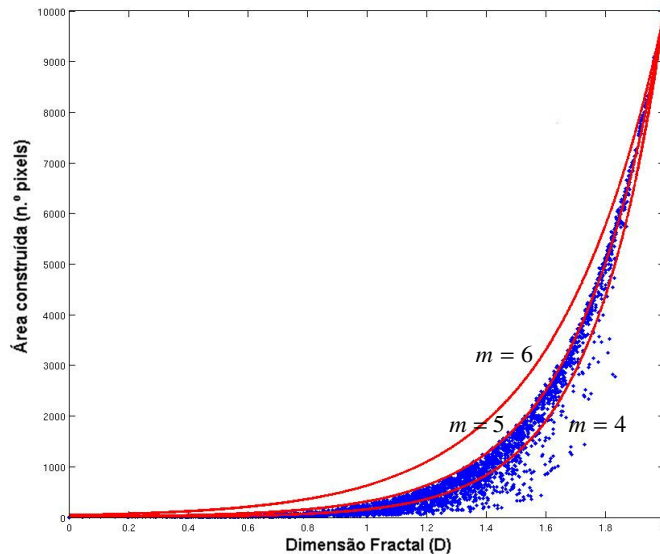
$$A_k = A_{k+m} (x^m)^{D-2} \quad (19)$$

Onde A_{k+m} é a área total de uma sub-matriz, ou seja n^2 . Desta forma podemos assumir que o limite superior da distribuição da área construída, em função da dimensão fractal (Figura 105) é dado por:

$$S(D) = n^2 (x^m)^{D-2} \quad (20)$$

O melhor ajuste do limite superior à distribuição dos dados foi encontrado para $m = 5$ (Figura 108).

Figura 108 – Ajuste do limite superior para diferentes valores de m



O limite inferior ($I(D)$) será proporcional ao limite superior, satisfazendo a relação:

$$I(D) = \alpha S(D), \quad \text{para } 0 < \alpha < 1 \quad (21)$$

Através da Figura 108 verifica-se que $I(0) = 1$, i.e. 1 pixel de área construída, então, a partir de (20) e (21) temos:

$$I(0) = \alpha S(0) \Leftrightarrow 1 = \alpha n^2 (x^m)^{-2}$$

$$\Leftrightarrow \alpha = \left(\frac{x^m}{n} \right)^2 \quad (22)$$

Então: $I(D) = x^{mD} \quad (23)$

Esta identificação e quantificação dos limites superiores e inferiores, que caracterizam a relação não linear entre a área construída e a dimensão fractal, permitem-nos desenvolver um modelo de tipologias de áreas construídas em função do seu estágio de crescimento, que de seguida apresentamos.

3.3.1.2. Modelo para uma tipologia de crescimento de áreas construídas

Partindo do comportamento multi-fractal das áreas construídas da AMLNorte, desenvolveu-se um modelo que permite encontrar tipologias de crescimento das áreas construídas, assente no pressuposto da co-existência de dois regimes presentes no território, nomeadamente um primeiro regime que promove a emergência de grandes aglomerações de áreas construídas e um segundo regime que promove a emergência de novos núcleos de construção, ou o crescimento de núcleos pré-existentes, de menores dimensões, e que se encontram dispersos pelo território. Designamos o primeiro regime por “Crescimento por Consolidação” (C) e o segundo regime por “Crescimento Metastático” (M)¹³⁶, sendo que ambas as quantidades são definidas da seguinte forma:

Para cada sub-matriz de dimensão fractal D , a variável área construída (A) funciona como uma medida absoluta de crescimento (com as maiores aglomerações a apresentarem maiores valores de A); simultaneamente, a curva $S(D)$, assim como a taxa de variação (com D) da mesma apresentam valores elevados para as dimensões fractais mais elevadas, pelo que se estabelece a associação entre C e A . Contudo, A em si mesma não reflecte a emergência dos novos focos de áreas construídas que nas últimas décadas se têm vindo a multiplicar e a disseminar por toda a área de estudo. Ou seja, ao mesmo tempo que as grandes aglomerações continuam a crescer e a consolidar a sua estrutura espacial, existe também crescimento nas restantes hierarquias de áreas construídas e surgem também novos núcleos em cada escala de análise. Embora não tenha sido possível determinar se esta dinâmica resulta de um mesmo processo de crescimento que é continuamente alimentado em todas as escalas, ou se se tratam de processos diferenciados¹³⁷, é clara a existência de valores de dimensão fractal médio/elevados para sub-matrizes com valores de área baixos, e uma vez que a curva $S(D)$ é côncava, a área construída normalizada ($a = A/n^2$) e a dimensão fractal normalizada ($d = D/2$) satisfazem a grandeza:

¹³⁶ O termo metastático resulta da analogia com o crescimento de metástases que ocorrem em certos tipos de cancro.

¹³⁷ Nomeadamente e por exemplo, um processo de atracção de novas áreas construídas para as grandes aglomerações já existentes (que exercem uma forte capacidade de atracção), e um processo de “repulsão” que “instala” novos focos (ou que promove o crescimento daqueles já existentes) em áreas mais distantes dos grandes aglomerados.

$$d > a \quad (24)$$

Donde se estabelecem as seguintes definições:

$$C = a \quad (25)$$

$$M = d - a \quad (26)$$

As figuras Figura 109 e Figura 110 representam ambas as quantidades C ($[0-1]$) e M ($[0-0,8]$).

Figura 109 – Quantidade C , por sub-matriz

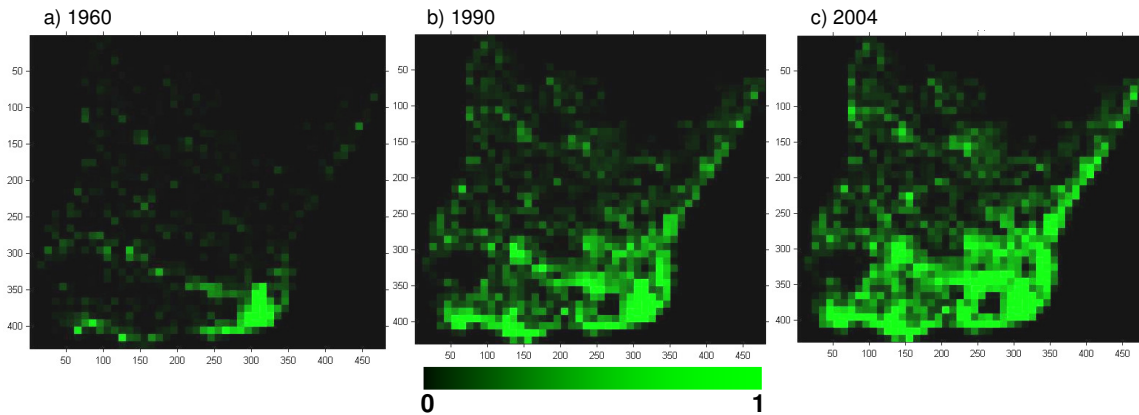
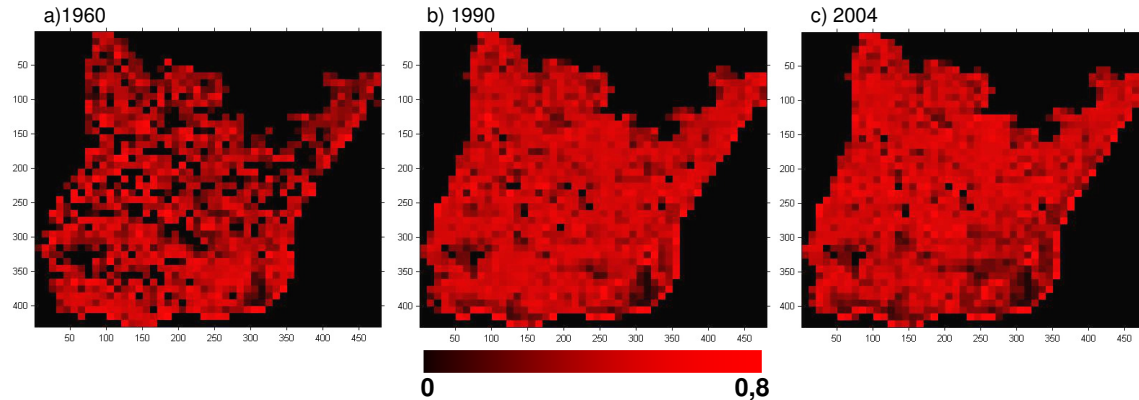


Figura 110 – Quantidade M , por sub-matriz

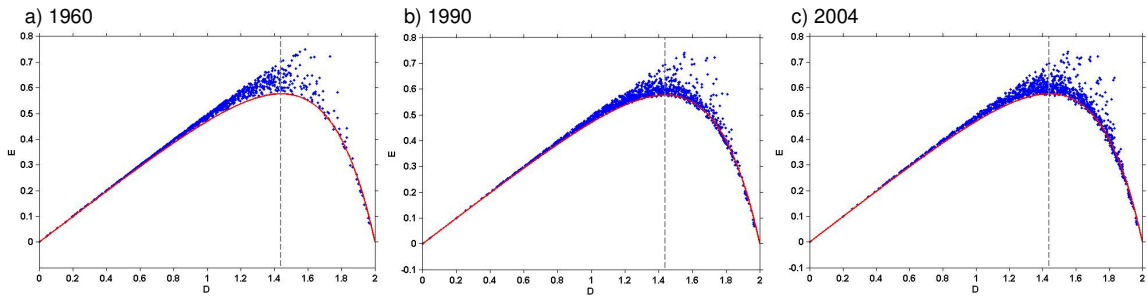


A quantidade M , em função de D , é definida pela curva teórica:

$$M(D) = D/2 - (2^m)^{D-2} \quad (27)$$

A partir da Figura 111 verifica-se que os dados seguem, para os três anos em análise, a curva teórica de M ($M_{\max} = 0,576$, quando $D = 1,44$).

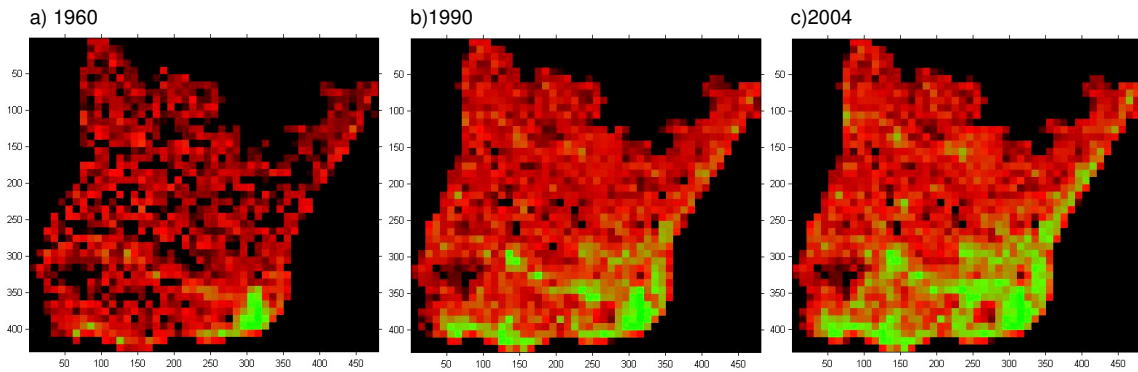
Figura 111 – Quantidade M em função de D



A figura anterior revela-nos uma tendência geral dos dados na ocupação de dimensões fractais mais elevadas. Entre 1960 e 2004 é notória a diminuição do número de sub-matrizes com dimensão fractal inferior a 1. De notar que entre 1960 e 1990 a “nuvem” de pontos parece “colapsar” na direcção da curva teórica, nas sub-matrizes com dimensão fractal $\sim 1,4$, e sabendo que $d > a$, significa que estas sub-matrizes apresentam valores de D médio/elevados, mas valores baixos de área construída (A).

A associação das duas quantidades C e M em cada sub-matriz permite-nos visualizar a existência dos dois regimes enunciados no pressuposto de partida, nomeadamente o crescimento por consolidação e o crescimento metastático, respectivamente (Figura 112).

Figura 112 – Dois regimes de crescimento



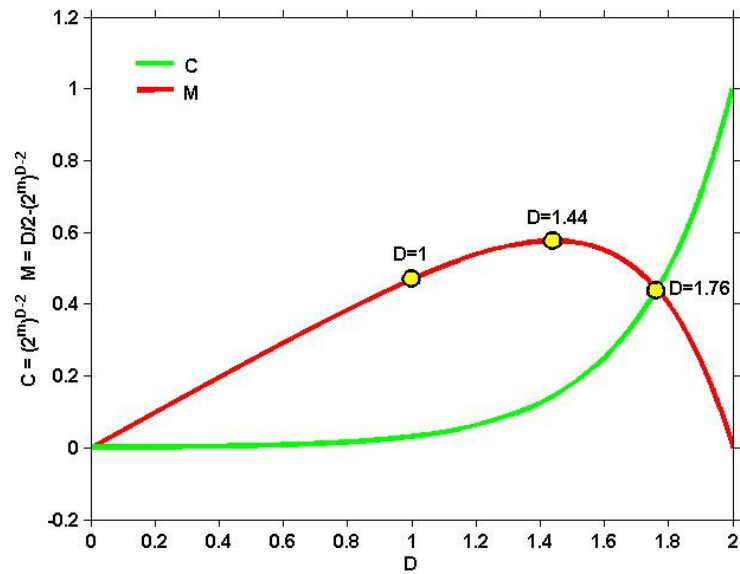
A Figura 112 pode ser entendida como uma composição colorida, na qual C é afectada à cor verde e M é afectada à cor vermelha. A presença, em cada sub-matriz, da cor verde ou da cor vermelha indica-nos o predomínio de uma ou outra quantidade, respectivamente, na medida em que:

$$M = C \Leftrightarrow d - a = a \Leftrightarrow d = 2a \Leftrightarrow a = \frac{1}{2}d, \quad (28)$$

Assim, $M < C$ quando $a > \frac{1}{2}d$ (tons de verde), e $M > C$ quando $a < \frac{1}{2}d$ (tons de vermelho).

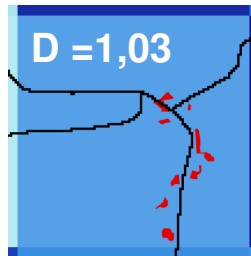
A partir das curvas teóricas de C e M é possível determinar pontos com os quais são encontradas diferentes tipologias de crescimento na AMLNorte (Figura 113)

Figura 113 – Curvas teóricas de C e M



O primeiro ponto, em que $D = 1$, marca a transição de núcleos de áreas construídas de pequena dimensão e sem uma morfologia específica. A partir de $D = 1$ (e para valores próximos de 1) estes núcleos apresentam morfologias com comportamento quasi-linear, resultado, por exemplo, da proximidade a uma estrada (Figura 114).

Figura 114 – Exemplo de áreas construídas com comportamento linear



Nota: a vermelho: áreas construídas; a preto: estradas

O segundo ponto ($D = 1,44$) é determinado pelo máximo da curva teórica de M (0,576) que delimita duas regiões: uma, à esquerda, em que

$$\Delta a < \Delta d \tag{29}$$

e outra, à direita, em que

$$\Delta a > \Delta d \tag{30}$$

Ou seja, em (29) a área construída numa dada sub-matriz cresce a um ritmo inferior do que a dimensão fractal, existindo a relação inversa em (30), na qual o crescimento deverá ocorrer sobretudo por contágio (i.e., na vizinhança próxima ou mesmo directa do tecido construído já existente), ou por colmatação dos espaços intersticiais “vazios”.

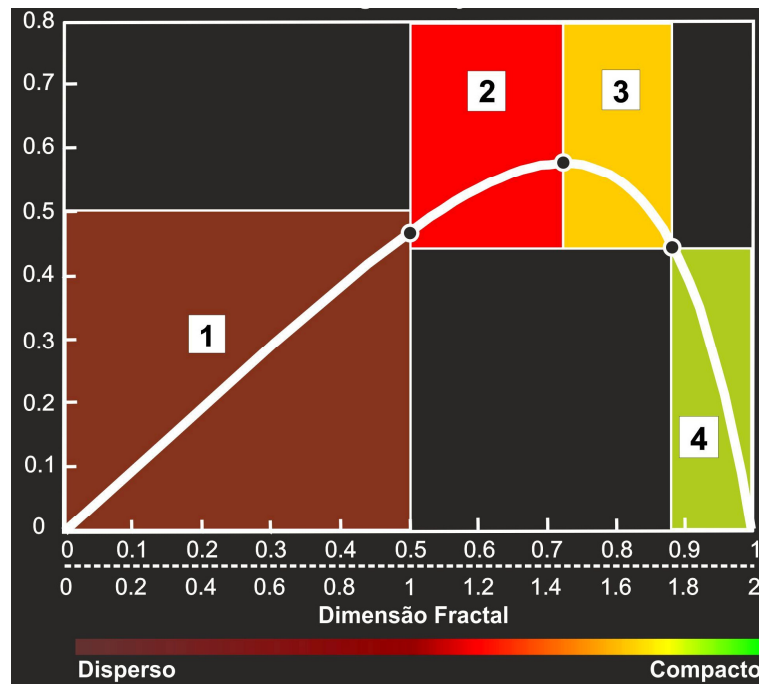
O terceiro ponto ($D = 1,76$) é dado pela igualdade em (28), com a qual é determinado o ponto de intersecção entre ambas as curvas, encontrado nas seguintes coordenadas:

$$\{d; a\} = \{0,8819; 0,44095\} \Leftrightarrow \{D; A\} = \{1,7638; 4409,5\} \quad (31)$$

A partir deste último ponto ambas as curvas divergem, com a curva do crescimento por consolidação (a verde) a aproximar-se do ponto $\{C; D\} = \{1; 2\}$, e a curva do crescimento por emergência (a vermelho) a aproximar-se do ponto $\{M; D\} = \{0; 2\}$, o que significa que no primeiro regime a área irá tendencialmente crescer até atingir a capacidade limite da sub-matriz, enquanto que no segundo regime a emergência de novos núcleos de área construída será tendencialmente zero para as sub-matrizes que se encontram próximas da sua capacidade limite.

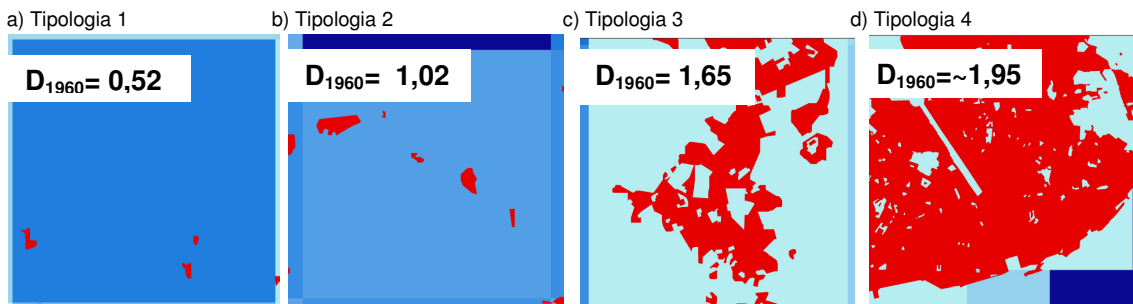
A conjugação dos três pontos acima descritos permite uma classificação local e quantitativa de tipologias de crescimento de áreas construídas para AMLNorte (Figura 115).

Figura 115 – Modelo de tipologias de crescimento de áreas construídas na AMLNorte, 1960 – 2004



- Tipologia 1 Áreas construídas dispersas, de pequena dimensão
- Tipologia 2 Áreas de expansão (espaço fragmentado?);
- Tipologia 3 Áreas de expansão rápida (espaço fragmentado com tendência para a compactação?);
- Tipologia 4 Núcleos consolidados (espaços compactos).

Figura 116 – Exemplos de áreas construídas para cada tipologia



Nota: a vermelho as áreas construídas. A gradação de tons de azul é referente à dimensão fractal de cada sub-matriz.

A espacialização das quatro tipologias encontradas (ver como exemplo Figura 116) permite-nos obter uma visão clara da expansão ocorrida na AMLNorte, entre 1960 e 2004.

Figura 117 – Espacialização das tipologias de crescimento, AMLNorte

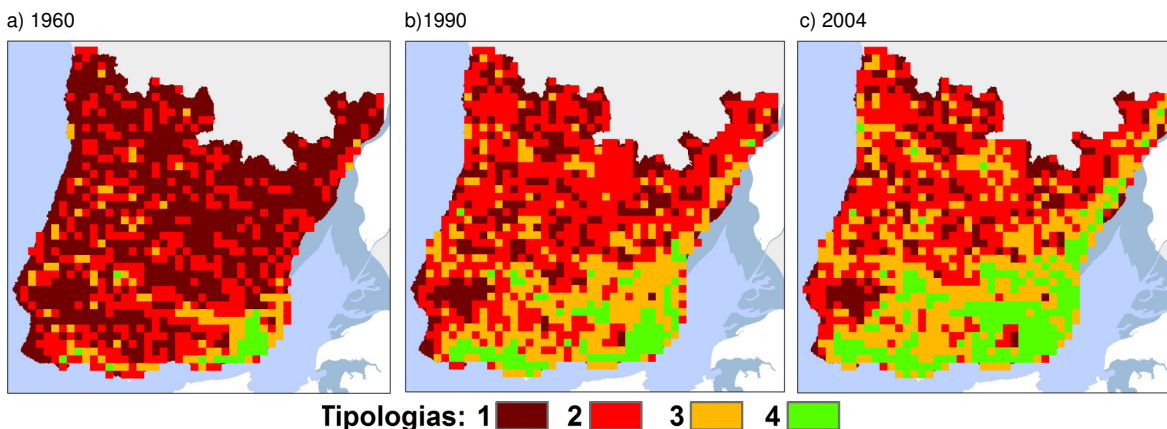


Tabela 25 – Peso relativo (%) de cada tipologia no total da AMLNorte

Tipologias	1960	1990	2004
1	57,9	21,1	15,1
2	32,2	46,4	37,9
3	7,8	24,8	31,2
4	2,1	7,7	15,8
	100	100	100

Da observação da Figura 117 e da Tabela 25, constata-se, em 1960, a existência, na AMLNorte, de uma aglomeração principal, fortemente compacta (tipologia 4), que corresponde sensivelmente à cidade de Lisboa, embora se denote já a emergência de núcleos de menor dimensão mas com elevados valores de dimensão fractal e que correspondem aos principais centros suburbanos de Sintra e Cascais. O restante território é dominado pelas tipologias 1 e 2 que caracterizam áreas dispersas de pequena dimensão (tipologia 1) e áreas de expansão (tipologia 2). A tipologia 3, indicadora de espaços de forte expansão que se caracterizam por processos de preenchimento (compactação) do espaço fragmentado pré-existente, localizam-se sobretudo nos eixos de comunicação (ferroviários e rodoviário) entre os principais subúrbios já referidos. Não obstante, é notória também a existência de um número significativo de sub-matrizes de tipologia 3, dispersas pelos territórios dos municípios de Sintra e Mafra.

Nos dois momentos temporais seguintes, 1990 e 2004, a forte diminuição da representatividade da tipologia 1 é reveladora das fortes taxas de crescimento das áreas construídas (apresentadas nos capítulos precedentes) e que contribuiram para a ocupação generalizada do território, dominada sobretudo pela tipologia 2, com 46,4% do total da AMLNorte, ou seja, por espaços fragmentados em expansão, característicos do primeiro regime (crescimento metastático) anteriormente enunciado. Simultaneamente, denota-se o forte aumento do peso relativo da tipologia 3 (7,8% em 1960 e 24,8%, em 1990), localizada sobretudo na proximidade das grandes aglomerações. De referir que, no período em análise, apenas as tipologia 3 e 4 apresentam percentagens sempre crescentes, o que reflecte a tendência geral de ocupação do espaço, dominada numa primeira fase por uma ocupação dispersa e fragmentada, mas que em fases posteriores se caracteriza pela colmatção dos espaços intersticiais e o aumento da compactidade (i.e., tipologias 3 e 4).

O predomínio das tipologias 1 e 2 nos dois primeiros momentos temporais em análise (1960 e 1990) explicam também que tenham sido estas duas tipologias as que apresentaram, simultaneamente, a maior estabilidade (Tabela 26) e as maiores mudanças (Tabela 27). No segundo período, entre 1990 e 2004, este comportamento é registado nas tipologias 2 e 3.

Tabela 26 – Tipologias sem alterações, entre 1960 e 2004

1960	1990	% total AMLNorte	1990	2004	% total AMLNorte
1	1	21,18	1	1	15,15
2	2	15,20	2	2	32,38
3	3	4,07	3	3	17,01
4	4	2,08	4	4	7,72
					42,53
					72,26

Tabela 27 – Tipologias com alterações, entre 1960 e 2004

1960 De:	1990 Para:	% total AMLNorte	1990 De:	2004 Para:	% total AMLNorte
1	2	30,16	1	2	5,22
1	3	6,20	1	3	0,66
1	4	0,42	1	4	0,00
2	1	0,08	2	1	0,00
2	3	14,79	2	3	13,56
2	4	2,08	2	4	0,49
3	2	0,50	3	2	0,16
3	4	3,24	3	4	7,64
					57,47
					27,74

De salientar que as tipologias sem alterações representam uma grande parte do território, com 42,53% do total da AMLNorte (entre 1960 e 1990) e com 72,26%, entre 1990 e 2004. Estes valores contudo podem reflectir quer situações de estagnação da expansão das áreas construídas, quer os casos onde as sub-matrizes não atingiram ainda o limite superior de cada tipologia correspondente (cf. Figura 108, onde $m = 5$).

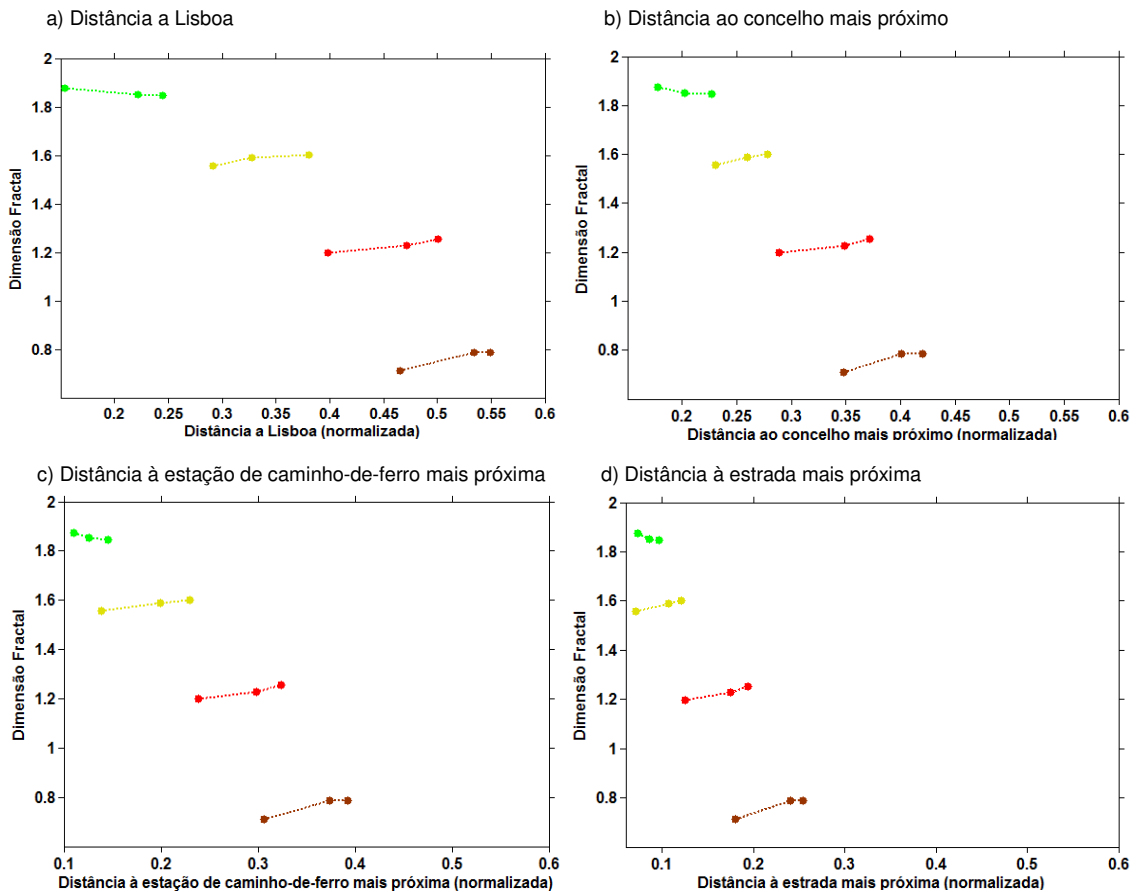
Nas sub-matrizes onde se registaram alterações, verifica-se que o comportamento mais comum é a transição de uma dada tipologia para tipologia imediatamente seguinte. Entre 1960 e 1990 as

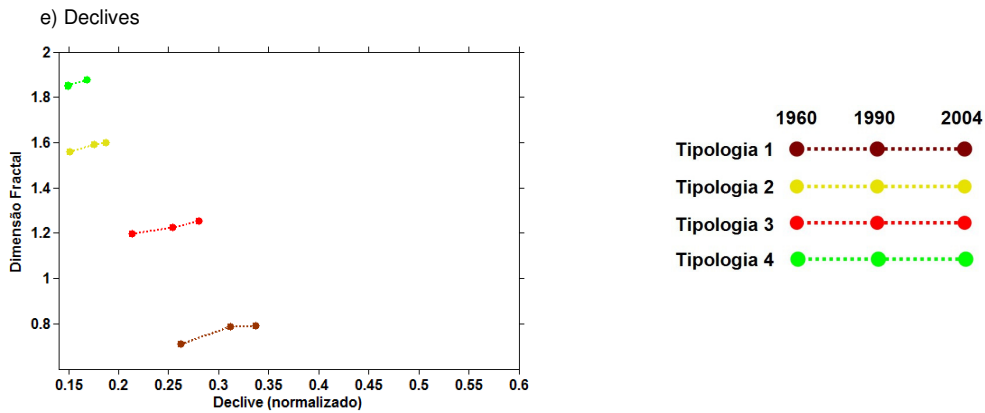
combinações de tipologias com maiores taxas de mudança foram: $1 \rightarrow 2$; $2 \rightarrow 3$ e $3 \rightarrow 4$, com 30,16%, 14,79% e 3,24% respectivamente. No segundo período (1990 e 2004) as maiores alterações registaram-se entre $2 \rightarrow 3$; $3 \rightarrow 4$ e $1 \rightarrow 2$, com 13,56%, 7,64% e 5,22%, respectivamente. Não obstante, podem existir “saltos” entre tipologias (embora com pouca representatividade), como são exemplo as alterações registadas entre 1960 e 1990 ($1 \rightarrow 3$ e $1 \rightarrow 4$).

Este facto sugere-nos que a existir uma tendência geral de crescimento das áreas construídas, será de esperar a diminuição das tipologias 1 e 2 em favor do aumento das tipologias 3 e 4, consequência do aumento de ocupação do espaço em cada sub-matriz. Significa isto que, e no que diz respeito ao ordenamento do território, deveria ser acautelado o crescimento das tipologias 2 e 3, já que são nestas que encontramos as áreas de expansão, que comprometem: 1) a existência de espaços livres (tipologia 1) para outros usos como a agricultura, floresta e equilíbrio dos ecossistemas e 2) o aumento da compactação dos espaços (tipologia 2), aumentando os desequilíbrios territoriais ao nível da distribuição de estruturas de transporte público, infra-estruturas e equipamentos.

De salientar que parece existir uma dependência espacial entre tipologias e entre estas e o contexto espacial onde se inserem (Figura 118).

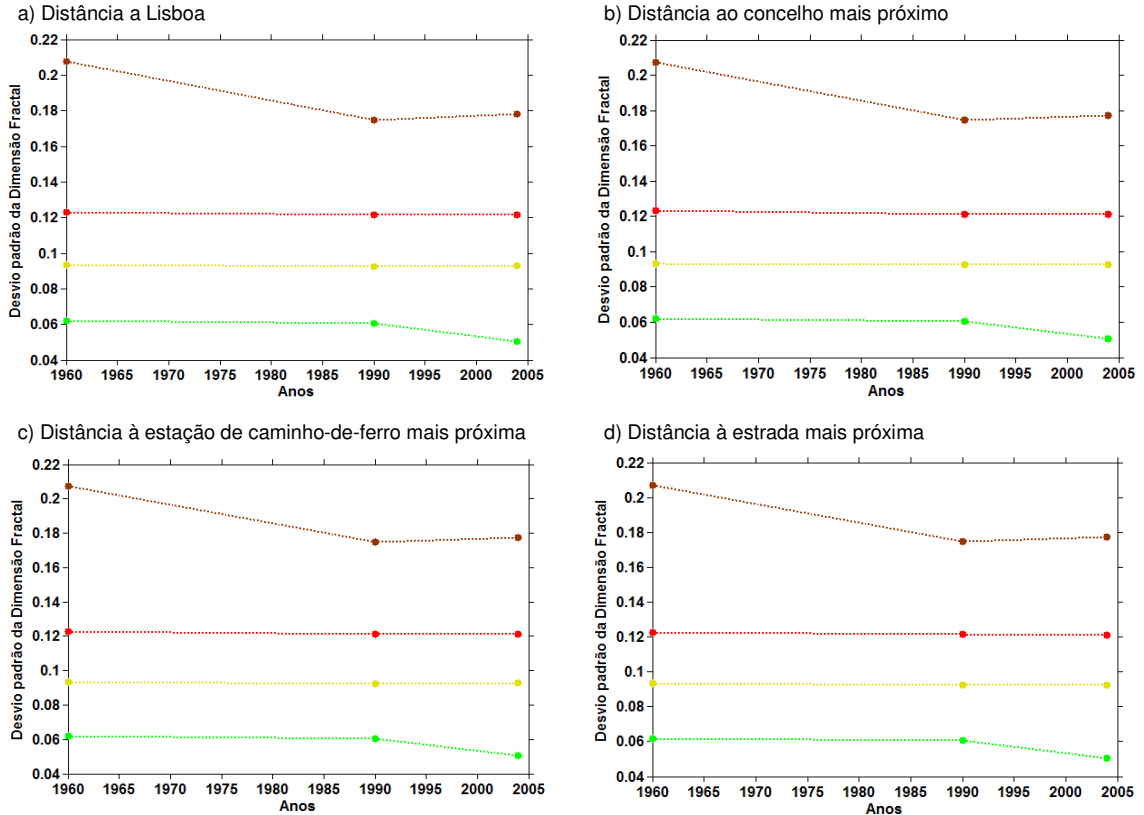
Figura 118 – Dimensão fractal média por tipo de distância



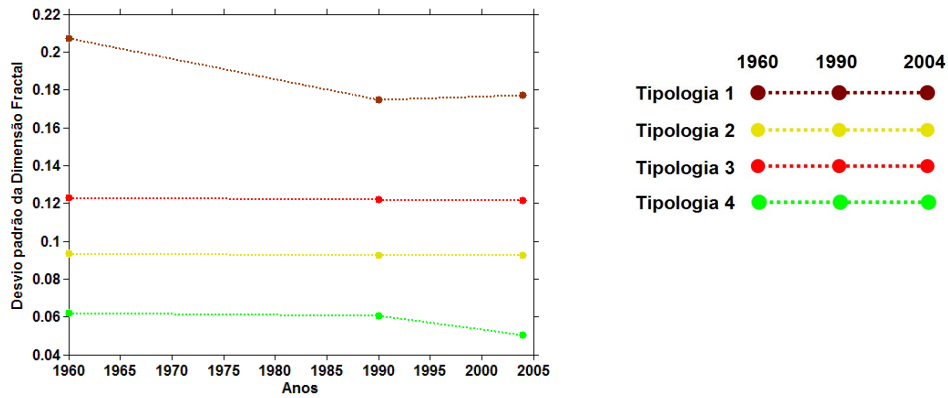


A dimensão fractal média, em função dos vários tipos de distância, revela-nos que (e apesar de se tratarem de valores médios) parece existir uma tendência para que as sub-matrizes com maior dimensão fractal (maior compacticidade) se localizem mais próximas a Lisboa e aos centros de concelho, assim como às estações de caminho-de-ferro, estradas, e em declives suaves. Em todas as tipologias verifica-se um aumento das distâncias médias, entre 1960 e 2004, acompanhado da subida geral da dimensão fractal média (à excepção da tipologia 4 que diminui em todas as distâncias, excluindo os declives, o que parece confirmar a ideia de que o grau máximo de compacticidade terá sido atingido nas áreas construídas muito anteriores a 1960.

Figura 119 - Desvio padrão da Dimensão Fractal, por tipo de distância e tipologia

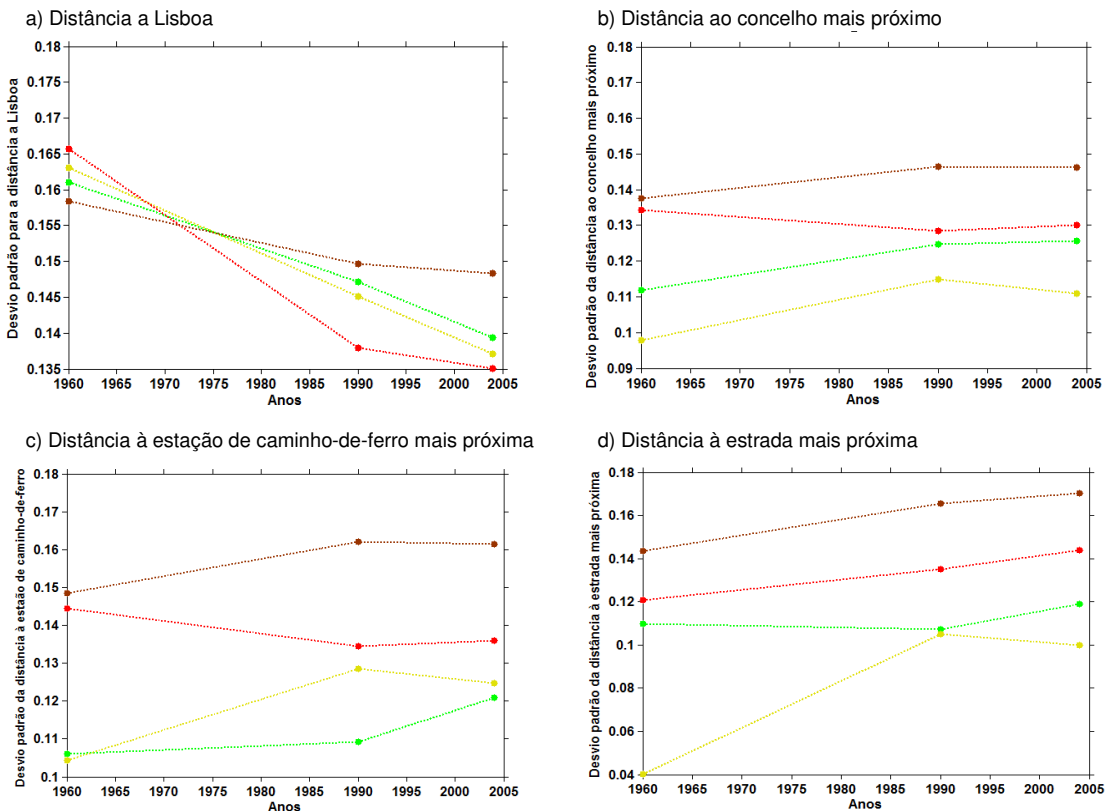


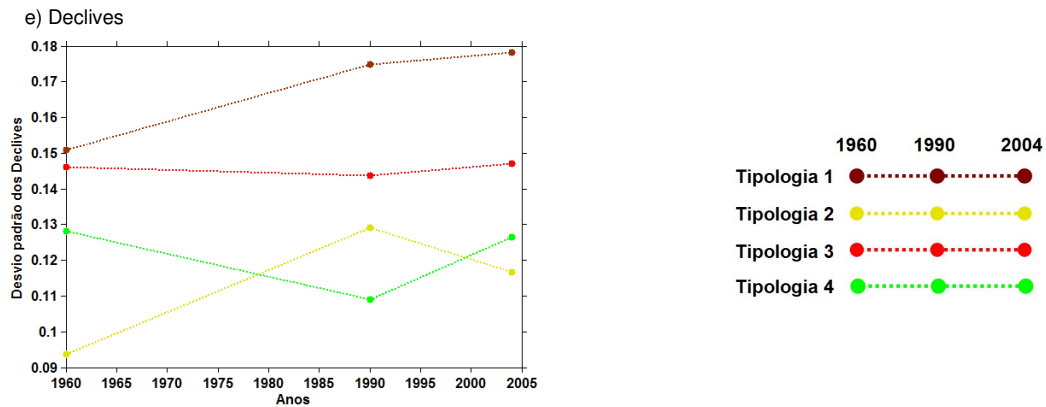
e) Declives



O desvio padrão da dimensão fractal, em função dos vários tipos de distância (Figura 119), indicamos que as dependências espaciais anteriormente registadas se mantêm relativamente estáveis, nos três períodos em análise, à excepção da tipologia 1 que apresenta um ligeiro decréscimo em todas as distâncias e entre 1960 e 1990, resultado das alterações ocorridas em 30,16% das sub-matrizes, o que contribui para a diminuição da variabilidade na espacialização desta tipologia. A diminuição registada na tipologia 4, entre 1990 e 2004 e em todas as distâncias, reflecte o aumento da representatividade do crescimento por consolidação, centrado na cidade de Lisboa e que se propaga pelos principais eixos de comunicação na direcção dos subúrbios, como os eixos de Sintra, Cascais e Alverca-Vila Franca de Xira.

Figura 120 – Desvio padrão dos vários tipos de distância, por tipologia





O desvio padrão das diferentes distâncias apresenta maior variabilidade, não só entre os três períodos em análise, como também entre tipologias, sendo a distância a Lisboa a única variável onde se regista um decréscimo em todas as tipologias, o que poderá reflectir uma maior homogeneidade espacial na distribuição das tipologias, no tempo, e em função do principal centro metropolitano. Em contrapartida, as variações positivas registadas na distância ao concelho mais próximo são indicadoras do afastamento das tipologias relativamente aos vários centros considerados, reflectindo a tendência para a fragmentação dos espaços a partir dos núcleos mais compactos. Este comportamento parece também verificar-se, de uma forma geral, na distância à estação de caminho-de-ferro e à estrada mais próxima, assim como nos declives.

As diferentes tipologias de espaço agora categorizadas, resultado da análise multi-fractal desenvolvida, traduzem diferentes estádios de ocupação do solo e poderão contribuir para o debate sobre a pertinência da existência actual de horizontes temporais rígidos nos instrumentos de gestão territorial, apesar do “paradigma” que encara o planeamento como processo e os planos como instrumentos adaptativos. A análise efectuada parece indicar que, do conjunto das quatro tipologias, e de acordo com as tendências de crescimento dadas pelo modelo apresentado, as tipologias 2 e 3 apresentam o maior potencial de alteração do território por ocupação de tecido edificado. Significa isto que, no que diz respeito ao ordenamento do território e à aplicação dos instrumentos de gestão territorial, se deveria equacionar uma intervenção diferenciada, quer no tempo e espaço, quer no conjunto de medida e objectivos, nas diferentes tipologias. Assim, para o controlo da dispersão e fragmentação do território deveriam ser acautelados crescimentos futuros quer da tipologia 2, quer da tipologia 3, assim como da transição da tipologia 1 uma qualquer das tipologias anteriores.

O tipo de intervenção territorial que aqui se defende, procura lidar com os contextos de incerteza inerentes à evolução de sistemas complexos, através de processos de auto-organização presentes nas diferentes escalas constituintes do território (Alfasi e Portugali, 2004). Contudo, deverá existir uma mudança na noção de planeamento, nomeadamente pela passagem de um planeamento *just-in-case* (visão tradicional, top-down e determinista do futuro de longo termo de um território) para um planeamento *just-in-time* (JIT), defendido por Alfasi e Portugali (2004).

As duas noções de planeamento, apresentadas pelos autores, advêm das estratégias de produção e gestão na indústria. O primeiro caso (*just-in-case*), refere-se ao método tradicional, assente no Taylorismo (método científico para analisar e otimizar cadeias de produção, com o objectivo de aumentar a eficiência económica, nomeadamente através da produtividade laboral) e no Fordismo (standardização de produtos, produção em massa e linhas de montagem onde cada trabalhador faz uma tarefa repetidamente). A ideia central desta abordagem reside numa sequência de processos dependentes entre si que contribuem para um resultado final programado. No planeamento territorial esta tem sido a abordagem seguida e dela incorrem muitas vezes paradoxos, que emergem quando:

«(...) a set of apparently acceptable assumptions about the past, followed by apparently acceptable deductions-predictions about the future, further followed by apparently acceptable policies and actions, lead to apparently contradictory results. Similarly to paradoxes in general, a planning paradox is useful because it can show that something is wrong even when everything appears to be right.» (Portugali, 2008:253).

Alfasi e Portugali (2004) e Portugali (2008) referem como exemplo de paradoxo no planeamento em Israel (e que ilustram as deficiências do planeamento tradicional *just-in-case*), as medidas tomadas aquando da onda de imigração para Israel, a partir da União Soviética, no início dos anos 90, do século XX. As entidades competentes previram uma forte escassez de habitação decorrente deste fenómeno e como solução o governo de Israel optou por adquirir um elevado número de casas móveis e localizou-as nas periferias de cidades e vilas. De acordo com os autores, a medida enunciada traduziu-se numa falha de planeamento já que um grande número de indivíduos transformaram edifícios não residenciais em residenciais, decorrente do conhecimento de uma futura escassez de habitação, e com o objectivo de aumentar o seu rendimento. Estas novas habitações localizaram-se no centro das cidades que facilmente se transformaram em opções mais atractivas para os novos imigrantes do que as casas móveis, que permaneceram na sua maioria vazias (Alfasi e Portugali, 2004; Portugali, 2008).

Em contraponto à abordagem convencional de planeamento surge, nos anos 50 do século XX, a abordagem JIT, desenvolvida por gestores da companhia Toyota, após terem observado o funcionamento de um supermercado nos EUA, na década anterior (Gronning, 1997, citado por Alfasi e Portugali, 2004). A ideia principal desta abordagem reside em diminuir custos de armazenagem através da diminuição de stocks, promovendo a interacção entre fornecedores, produção e distribuição, em função das necessidades presentes, na “hora certa”. Assim, a adopção, em planeamento, da abordagem JIT sugere que no sistema de planeamento sejam incorporadas leis ou regras que se refiram às relações qualitativas entre as diferentes actividades e factores do território, e especificamente no que diz respeito às áreas construídas (Alfasi e Portugali, 2004).

Não é objectivo da presente tese desenvolver o tema da implementação da abordagem JIT no planeamento territorial, até porque a sua aplicação em contextos reais requer uma análise mais aprofundada das questões legais, institucionais e éticas nela envolvidas. Ghertner (2010) refere alguns dos problemas que podem emergir da aplicação desta abordagem, aquando da preparação dos jogos da Commonwealth de 2010, na cidade de Deli, Índia. A pressão dos interesses privados fez com que a vila para os jogos fosse construída em leito de cheia, a mesma onde em 2004 tinha sido demolido, por ordem do tribunal, um bairro de barracas onde viviam 150.000 pessoas (Ghertner, 2010).

No entanto, as evidências que resultam da análise multi-fractal aplicada ao crescimento das áreas construídas da AMLNorte, indicam-nos claramente a necessidade de lançar o debate sobre esta temática, que obriga a uma abordagem transdisciplinar, nas vertentes teórica e prática, que permita o desenvolvimento de aplicações em Geografia com impacto directo na sociedade.

4. RESUMO, CRÍTICA DE RESULTADOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A investigação desenvolvida, inspirada nos princípios da teoria da Complexidade, permitiu abordar duas grandes componentes interligadas entre si: a teoria e a prática. Na primeira, foram apresentados os conceitos e noções fundamentais da teoria da Complexidade, a partir de uma visão multidisciplinar, o que permitiu demonstrar a ideia de que a emergência de um novo paradigma científico decorre dos múltiplos desenvolvimentos em todo o espectro da ciência. A exposição das características dos sistemas complexos permitiu a tomada de conhecimento de ideias e métodos desenvolvidos em diversas áreas científicas que podem ser aplicados à Geografia, como ficou revelado na componente prática da tese.

Contudo, será necessário no futuro um maior desenvolvimento da epistemologia e ontologia dos conceitos geográficos e a sua interligação com a Complexidade. Esta interligação deve prestar particular cuidado nas questões envolvidas na Geografia teórica (por exemplo, será possível identificar estádios e mecanismos evolutivos entre cidades de diferentes regiões globais que actuem como medidas concretas de teorização sobre o objecto cidade e o seu crescimento?), mas também nas questões relacionadas com a sua aplicabilidade. Veja-se por exemplo a área de actuação do planeamento e ordenamento do território, onde o discurso sobre a emergência de estruturas auto-organizadas a partir dos comportamentos micro lança questões sobre a forma de implementar medidas e regulamentos legais que procuram um balanço entre as opções individuais e as necessidades conjuntas de uma sociedade. Por outro lado, estarão o planeamento estratégico e participação pública remetidos ao fracasso sabendo que o território é um sistema complexo e que como tal tem em si inerente uma imprevisibilidade nos estados futuros? Como lidar com a incerteza fundamental dos sistemas territoriais (complexos)?

A componente prática teve como principal objectivo a identificação e análise de três características dos sistemas complexos, nomeadamente a não-linearidade, a auto-organização e o comportamento (hierárquico) fractal, no sistema territorial da AMLNorte. A metodologia seguida foi estruturada num conjunto de etapas que permitiram demonstrar como o sistema em causa poderia (e deveria) ser entendido como um sistema complexo. Desta forma, apresentou-se no subcapítulo 2.1 uma caracterização geral da evolução da ocupação do território na área de estudo. Desta caracterização geral ficou clara a existência de tendências de organização espacial, quer a nível local, quer a nível global. Por outras palavras, é possível identificar no sistema uma estrutura e diversos padrões, donde se depreende que o sistema não apresenta um comportamento caótico. Interessava então compreender os processos que levaram à formação dessa mesma estrutura.

A concretização destes mesmos objectivos requer a existência de um conjunto de dados que suportem a análise, como a cartografia das áreas construídas no período em análise (1960, 1990 e 2004), dado que são estas o objecto de estudo da investigação. Assim, o subcapítulo 2.2. apresentou a metodologia geral de aquisição e processamento dos dados e informação necessária.

Esta etapa compreendeu a necessária generalização dos dados de partida, na qual se decide por um ou outro método, dependendo dos objectivos e dos recursos e tempo disponíveis. De futuro seria interessante utilizar diferentes algoritmos de generalização (por exemplo, o de Chaudhry e Mackness, 2008) e comparar os resultados obtidos, não só ao nível dos objectos representados, mas também, e sobretudo, ao nível das dinâmicas que os mesmos representam no seu conjunto, com o objectivo de perceber se existem alterações significativas das análises efectuadas. Relativamente ao método utilizado sugere-se também a substituição do *convex hull* pelo *concave hull*, o que poderá aumentar não só a qualidade final dos objectos mas também uma diminuição no tempo de tratamento e processamento dos dados. No que respeita à resolução dos dados (10 metros) deverá ser também testada a influência da variabilidade da resolução nos resultados obtidos.

O capítulo 3 teve como objectivo identificar que tipos de padrões são possíveis de serem encontrados e se os mesmos permitiam vislumbrar a organização emergente que resultou dos comportamentos às diferentes escalas, a partir da identificação das três características dos sistemas complexos já mencionadas. Desta forma, o subcapítulo 3.1 analisou a não linearidade na distribuição das áreas construídas, em função de vários tipos de distância. A não linearidade presente quer na localização das classes de uso/ocupação do solo, quer nas mudanças a estas afectas, é indicadora de que os processos de génese de produção de território, além de múltiplos e variados, não apresentam proporcionalidade simples entre causas e efeitos. Esta característica é estudada em função de cinco variáveis que traduzem a noção de distância entre elementos estruturadores do espaço, a diferentes escalas (distância-tempo à cidade de Lisboa, distância-tempo ao centro do concelho mais próximo, distância-tempo à estação de caminho-de-ferro mais próxima, distância euclidiana à estrada mais próxima e declives). A construção das superfícies de distância obrigaram à tomada de decisões que podem influenciar os resultados obtidos, pelo que de futuro se sugerem as seguintes alterações com as consequentes análises comparativas de resultados:

- a) Inclusão de variáveis caracterizadoras das vias de comunicação como a consideração de diferentes velocidades dependendo dos vários períodos do dia, número de faixas, topografia, entre outros.
- b) Actualização da rede viária e da rede ferroviária para cada um dos momentos temporais analisados.
- c) A experimentação de diferentes tipos de centros a partir dos quais são calculadas as distâncias, como os centros económicos, por exemplo.
- d) Na distância-tempo à sede de concelho mais próxima deverá ser experimentada a utilização dos limites reais dos municípios no cálculo das áreas afectas a cada centro.

As análises efectuadas parecem demonstrar que a distância exerceu de facto uma forte influência na espacialização das áreas construídas na AMLNorte, nas diferentes escalas analisadas. A não linearidade encontrada parece resultar da “competição” entre as diferentes distâncias e as

diferentes escalas associadas. Este facto deverá ser desenvolvido no futuro, nomeadamente através da análise e identificação dos mecanismos associados a esta “competição”.

No subcapítulo 3.2. analisou-se a conformidade da distribuição das áreas construídas da AMLNorte à distribuição de Pareto e à Lei de Zipf, com o objectivo de identificar processos de auto-organização do sistema. Numa primeira fase analisaram-se as hierarquias existentes (definidas em função do total de área construída de cada polígono) e as alterações registadas nos períodos 1960 – 1990 e 1990 – 2004. As dezanove hierarquias obtidas por inspecção visual deverão ser comparadas no futuro com outros critérios de definição das mesmas. As alterações denunciam dois processos fundamentais de crescimento, nomeadamente a emergência de novas áreas construídas e o crescimento e agregação das áreas já existentes, em conformidade com o padrão encontrado na cidade de Telavive (Benguigui *et al*, 2006). Estes comportamentos ficam patentes na distribuição de Pareto quando confrontadas as hierarquias com a dimensão das mesmas, embora o sistema não se comporte como previsto pela Lei de Zipf, na medida em que os valores do expoente alfa são em todos os casos diferentes de 1. Apesar dos coeficientes de determinação apresentaram valores relativamente elevados (nesta matéria sugere-se também a utilização de outros estimadores como o de Hill, de acordo com o proposto por Gabaix e Ioannides, 2004), observam-se fortes desvios à lei de Pareto, sobretudo nas hierarquias de maior dimensão, o que poderá sugerir diferentes mecanismos de crescimento, cuja transição parece dar-se aproximadamente aos 44.000 metros quadrados.

A análise multi-fractal desenvolvida no subcapítulo 3.3 permitiu uma melhor compreensão dos comportamentos de crescimento de áreas construídas presentes na área de estudo. De uma forma geral, verificou-se que o território da AMLNorte tem apresentado um aumento da compactidade ao longo dos três anos analisados (indicado pelo aumento das áreas com dimensão fractal muito próxima de 2). Contudo, este aumento é antecedido por aumentos de dispersão e fragmentação do espaço, como o indica o aumento do número de áreas com dimensões fractais médias e baixas. A caracterização do comportamento multi-fractal do território tornou possível o desenvolvimento de um modelo de classificação de tipologias de crescimento de áreas construídas, automático e quantitativo, na AMLNorte, entre 1960 e 2004. A partir deste são identificadas quatro tipologias que seguem padrões de crescimento próprias e a partir das quais foi possível verificar que as mesmas apresentam dependências espaciais nas cinco distancias analisadas (as áreas mais compactas apresentam maior proximidades aos vários centros considerados, sendo que essa dependência diminui para as tipologias menos compactas).

Os resultados obtidos abrem as portas ao recurso a técnicas quantitativas, oriundas do estudo dos sistemas complexos, ao estudo de problemas em geografia, mostrando como a adopção de metodologias de análise multi-fractal contribui para o lançamento de um debate sobre a pertinência da existência actual de horizontes temporais rígidos, nos instrumentos de gestão territorial, sugerindo que deveria ser equacionada uma intervenção diferenciada (no tempo, espaço, medidas

e objectivos) para cada tipologia, ajustando-se à noção de planeamento *just-in-time*, defendido por Alfasi e Portugali (2004).

BIBLIOGRAFIA E REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMI**, Christoph (2002) What is complexity? *BioEssays*, Volume 24, Nº 12, pp. 1085 – 1094.
<http://www3.interscience.wiley.com/cgi-bin/fulltext/101019957/PDFSTART>
- ALFASI**, Nurit; **PORTUGALI**, Juval (2004) Planning Just-in-Time versus planning Just-in-Case. *Cities*, Volume 21, Nº 1, pp. 29-39. [doi:10.1016/j.cities.2003.10.007](https://doi.org/10.1016/j.cities.2003.10.007)
- ALVES**, Rui Manuel Amaro (2007) *Políticas de Planeamento e Ordenamento do Território no estado Português*. Fundação Calouste Gulbenkian, Fundação para a Ciência e a Tecnologia, Lisboa, p. 641.
- AMIT**, Daniel J.; **VERBIN**, Yosef (1999) *Statistical Physics: An Introductory Course*. Tzafiriri, Rami (tradução de hebreu para ingles), World scientific Publishing, Singapura, p. 565
- AN**, Li; **BROWN**, Daniel G. (2008) Survival Analysis in land Change Science: Integrating with GIScience to Address Temporal Complexities. *Annals of the Association of American Geographers*, Volume 98, Nº 2, pp. 323 – 344.
http://pdfserve.informaworld.com/763813_778384746_792076561.pdf
- ANDERSON**, P.W. (1972) More is Different. *Science, New Series*, Volume 177, Nº 4047, pp. 393 – 396. <http://www.cmp.caltech.edu/~motrunch/MoreIsDifferent.pdf>
- ARTHUR**, Brian (1999) Complexity and the Economy. *Science*, Volume 284, Nº 5411, pp. 107 - 109.
<http://www.sciencemag.org/content/vol284/issue5411/>
- ARTHUR**, Brian (1992) On Learning and Adaptation in Economy. *Working Paper of The Santa Fe Institute*, New Mexico, p.30.
<http://www.santafe.edu/research/publications/workingpapers/92-07-038.pdf>
- ARTHUR**, Brian (1990) Positive Feedbacks in the Economy. *Scientific American*, Volume 262, Nº 2, pp. 92-99. http://www.santafe.edu/~wbarthur/Papers/Pdf_files/SciAm_Article.pdf
- ARTHUR**, Brian (1989) Competing Technologies, Increasing Returns, and Lock-In by Historical Events. *The Economic Journal*, Royal Economic Society, Volume 99, Nº 394, pp. 116 - 131.
<http://links.jstor.org/sici?sici=00130133%28198903%2999%3A394%3C116%3ACTIRAL%3E2.0.CO%3B2-R>
- ARTHUR**, Brian (1988) Urban Systems and historical path-dependence. *Working Papers Series*, Stanford Institute for Population and Resource Studies, California, Nº 0012, p. 11.
<http://www.leland.stanford.edu/group/morrinst/pdf/12.pdf>
- ASHBY**, W. Ross (1962) Principles of the self-organizing system. In: Von Foerster, H.; Zopf, G. W. (eds.) *Principles of Self-Organization: Transactions of the University of Illinois Symposium*, Pergamon Press, London, pp. 255-278. Re-editado em *E:CO Special Double Issue – classical papers*, Complexity Society, Institute for the Study of Coherence and Emergence, and Cognitive Edge, Volume 6, Nº 1-2, 2004 pp. 102-126.
<http://csis.pace.edu/~marchese/CS396x/Computing/Ashby.pdf>
- AXELROD**, Robert; **BENNETT**, D. Scott (1993) A Landscape Theory of Aggregation. *British Journal of Political Science*, Volume 23, Nº 2, pp. 211 – 233. <http://www.jstor.org/stable/194248>
- AXELROD**, Robert (1984) *The Evolution of Cooperation*. Basic Books Inc, Publishers, New York, p. 241.
- AXTELL**, Robert; **FLORIDA**, Richard (2006) Emergent Cities: Micro-Foundations of Zips's law. *Working Paper*, The Martin Prosperity Institute - University of Toronto, Toronto, p. 16.
http://www.rotman.utoronto.ca/userfiles/prosperity/File/Emergent_Cities.w.coverpdf.pdf

- BAK**, Per (1996) *How Nature Works: the science of self-organized criticality*. Springer-Verlag, New York, p. 212.
- BAK**, Per; **PACZUSKI**, Maya (1995) Complexity, contingency, and criticality. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, USA, Volume 92, pp. 6689-6696.
<http://www.pnas.org/content/92/15/6689.full.pdf+html>
- BAK**, Per; **SNEPPEN**, Kim (1993) Punctuated Equilibrium and Criticality in a Simple Model of Evolution. *Physical Review Letters*, Volume 71, N° 24, pp. 4083 – 4086.
http://chaos.swarthmore.edu/courses/SOC002a/p4083_1.pdf
- BAK**, Per; **TANG**, Chao; **WIESENFELD**, Kurt (1988) Self-Organized criticality. *Physical Review A*, Volume 38, N° 1, pp. 364 – 374. [doi:10.1103/PhysRevA.38.364](https://doi.org/10.1103/PhysRevA.38.364)
- BAK**, Per; **TANG**, Chao; **WIESENFELD**, Kurt (1987) Self-Organized criticality: an explanation of 1/f noise. *Physical Review Letters*, Volume 59, N° 4, pp. 381 – 384. [doi:10.1103/PhysRevLett.59.381](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.59.381)
- BALL**, Philip (2009) *Massa Crítica*. Malaquias, José Luís (trad.), Gradiva, Lisboa, p. 619 (versão original, 2004)
- BALL**, Philip (2003) Utopian theory. *Physicsworld.com*, Outubro, pp. 29 – 33.
<http://physicsworld.com/cws/article/print/18278>
- BARABÁSI**, A.-L.; **STANLEY**, H. E. (1995) *Fractal Concepts in Surface Growth*. Cambridge University Press, USA, p. 366.
- BARBER**, C. Bradford; **DOBKIN**, David P.; **HUHDANPAA** (1996) The Quickhull Algorithm for Convex Hulls. *ACM Transactions on Mathematical Software*, Volume 22, N° 4, pp. 469 – 483.
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.117.405>
- BARNESLEY**, Michael (1998) *Fractals Everywhere*. Academic Press, EUA, p. 394.
- BAR-YAM**, Yaneer (1997) *Dynamics of Complex Systems*. Addison-Wesley, Massachusetts, p. 849.
<http://necsi.net/publications/dcs/index.html>
- BASARANER**, Melih (2002) Model Generalization in GIS. In: *International Symposium on GIS*, September 23 – 26, Istanbul, p. 10. http://www.fig.net/com_3_istanbul/PDF/M.Basaraner2.pdf
- BATISANI**, Nnyaladzi; **YARNAL**, Brent (2009) Urban expansion in Centre County, Pennsylvania: Spatial dynamics and landscape transformations. *Applied Geography*, N° 29, pp. 235 – 249.
[doi:10.1016/j.apgeog.2008.08.007](https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2008.08.007)
- BATTY**, Michael (2005) *Cities and Complexity – Understanding cities with cellular automata, agent-based models, and fractals*. The MIT Press, EUA, p. 565.
- BATTY**, Michael (2003) The Emergence of Cities: Complexity and Urban Dynamics. *Working paper*, N° 64. CASA, p. 16. http://www.casa.ucl.ac.uk/working_papers/paper64.pdf
- BATTY**, Michael; **LONGLEY**, Paul (1994) *Fractal Cities – a geometry of form and function*. Academic Press, London, p. 394.
- BENIGUI**, Lucien; **BLUMENFELD-LIEBERTHAL**, Efrat; **CZAMANSKI**, Daniel (2006) The dynamics of the Tel Aviv morphology. *Environment and Planning B: Planning and Design*, Volume 33, N° 2, pp. 269 – 284. <http://www.envplan.com/epb/fulltext/b33/b31118.pdf>
- BENIGUI**, Lucien; **CZAMANSKI**, Daniel (2004) Simulation Analysis of the Fractality of Cities. *Geographical Analysis*, Volume 36, N° 1, pp. 60 – 84.

BENGUIGUI, Lucien; **CZAMANSKI**, Daniel; **MARINOV**, Maria; **Portugali**, Yuval (2000) When and where is a city fractal? *Environment and Planning B: Planning and Design*, Volume 27, Nº 4, pp. 507 – 519. <http://www.envplan.com/abstract.cgi?id=b2617>

BENKIRANE, Réda (2002) *A Complexidade, Vertigens e Promessas*. **REIS**, Maria João Batalha (tradução), Instituto Piaget, Lisboa, 2004, p. 346.

BINDER, P. -M (2008) Frustration in Complexity. *Science*, Volume 320, Nº 5874, pp. 322 – 323. <http://www.sciencemag.org/cgi/reprint/320/5874/322.pdf>

BOBZIEN, Matthias; **MORGENSTERN**, Dieter (2003) Abstracting and Formalizing Model Generalization. *ICA Commission on Generalisation and Multiple Representation*, Workshop, 28th – 30th April, Paris, p. 12. http://aci.ign.fr/BDpubli/paris2003/papers/bobzien_et_al_v1.pdf

BOCCARA, N. (2004) *Modeling Complex Systems*. Springer, New York, p. 397.

BOURNE, Larry S. (1971) Physical Adjustment Processes and Land Use Succession: A Conceptual Review and Central City Example. *Economic Geography*, Volume 47, Nº1, pp. 1 – 15. <http://www.jstor.org/stable/143220>

BRAIMOH, Ademola K.; **ONISHI**, Takashi (2007) Spatial determinants of urban land use change in Lagos, Nigeria. *Land Use Policy*, Volume 24, Nº 2, pp. 502 – 515. [doi:10.1016/j.landusepol.2006.09.001](https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2006.09.001)

BRUNO SOARES, Luís Jorge (2005) Área metropolitana de Lisboa – A procura de um novo paradigma urbano. Estratégia, Planeamento e Gestão nos Territórios Urbanos dispersos. *Sociedade e Território*, Nº 39, pp. 11 – 23. http://www.brunosoaresarquitectos.pt/pagina/index.php?view=txt_aml-procura_novo_paradigma.htmview2=m2textos.php

BRUNO SOARES, Luís Jorge (2004) Paradoxos e Equívocos de 20 anos de Planeamento do Território. *Sociedade e Território*, Nº 37/38, pp. 96 – 102. http://www.brunosoaresarquitectos.pt/pagina/index.php?view=txt_paradoxos_equiv_20anos.htmview2=m2textos.php

BUCHANAN, Mark (2007) *The Social Atom*. Marshall Cavendish, UK, p. 242.

BYRNE, David (1998) *Complexity Theory and the Social Sciences*. Routledge, New York, p. 206.

CABRAL, João; **CRESPO**, José Luís (2008) Urban policy goals and territorial planning – articulations and lessons from planning urban regions in Portugal. Comunicação apresentada nos 4^ª *Rencontres Internationales de Recherche en Urbanisme de Grenoble*, Institut d'Urbanisme de Grenoble, 7 – 8 Février.

CABRAL, João; **MORGADO**, Sofia; **CRESPO**, José Luís; **COELHO**, Carine (2007) Urbanization Trends and Urban Planning in The Lisbon Metropolitan Area. Pereira, M. Seabra (ed.) *A Portrait of State-of-the-Art Research at the Technical University of Lisbon*, Springer, the Netherlands, pp. 557 – 572.

CAETANO, Mário; **CARRÃO**, Hugo; **PAINHO**, Marco (2005) Alterações da ocupação do solo em Portugal Continental: 1985 – 2000. Instituto do Ambiente, Lisboa, p. 45. http://www.iambiente.pt/portal/page?_pageid=73,408080e_dad=portale_schema=PORTALeactual_menu=10141033edocs=10139584ecboui=10139584emenu_childmenu=10140980

CARUSO, Geoffrey (2005) Integrating Urban Economics and Cellular Automata to model Periurbanisation – Spatial dynamics of residential choice in the presence of neighbourhood externalities. Thèse présentée en vue de l'obtention du grade de Docteur en Sciences, Université catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, p. 230. http://www.geo.ucl.ac.be/IMAGES/CARUSO_These.pdf (consultado em 20/12/2009)

- CASTRO**, Paulo Alexandre (2007) *Rede Complexa e Criticalidade Auto-Organizada: Modelos e Aplicações*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, Instituto de Física de São Carlos, departamento de Física e Informática, São Carlos, p. 156.
<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/76/76131/tde-14012008-165356/>
- CCDRLVT** (2009) *Alteração do Plano Regional de Ordenamento do Território da Área Metropolitana de Lisboa (PROTAML)*, versão preliminar integral (23-07-2009), p. 436.
<http://protaml.inescporto.pt/biblioteca/proposta-versao-preliminar-integral-2009-07-23/view>
- CHAUDHRY**, Omair; **MACKANESS**, William A. (2008) *Automatic identification of urban settlement boundaries for multiple representation databases*. *Computers, Environment and Urban Systems*, Volume 32, Nº 2, pp. 95 – 109. doi:10.1016/j.compenvurbsys.2007.09.001
- CHEN**, K; **BAK**, P; **OBUKHOV**, S. P. (1991) *Self-organized criticality in a crack-propagation model of earthquakes*. *Physical Review A*, Volume 43, Nº 2, pp. 625 – 630. doi:10.1103/PhysRevA.43.625
- CHIN**, Nancy (2002) *Unearthing the Roots of Urban Sprawl: A Critical Analysis of Form, Function and Methodology*, *Working papers - CASA*, Paper 47, London, p. 25
<http://eprints.ucl.ac.uk/249/1/Paper47.pdf>
- CILLIERS**, Paul (2006) *Knowing Complex Systems. The Limits of Understanding*. Apresentação Oral no *The World Knowledge Dialogue Symposium*. 14 – 16 de Setembro de 2006, Crans-Montana, Suíça, p.7.
http://www.wkdialoque.ch/fileadmin/original_presentations/wkd_20060915_cilliers_knowing_complex_systems.pdf
- CILLIERS**, Paul (1998) *Complexity and postmodernism. Understanding complex systems*. Routledge, New York, p. 156.
- CLAR**, S.; **DROSSEL**, B.; **SCHENK**, K; **SCHWABL** (1999) *Self-organized criticality in forest-fire models*. *Physica A: Statistical and Theoretical Physics*, Volume 266, Nº 1 – 4, pp. 153 – 159.
[doi:10.1016/S0378-4371\(98\)00587-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4371(98)00587-1)
- CLARK**, William A. V.; **HUANG**, Youqin; **WITHERS**, Suzanne (2003) *Does commuting distance matter? Commuting tolerance and residential change*. *Regional Science and Urban Economics*, Volume 33, pp. 199 – 221. doi:10.1016/S0166-0462(02)00012-1
- COELHO**, Helder (2007) *Modelação computacional baseada em agentes: enfrentar a complexidade*. *Revista de ciências da computação*. Volume 2, Ano 2, Nº2, Lisboa, pp. 1-13.
http://repositorioaberto.univ-ab.pt/bitstream/10400.2/1280/1/p_1_13.%20pdf.pdf
- COMET** (2001 – 2004) *Competitive Metropolises - Economic Transformation, Labour Market and Competition in European Agglomerations*, [online]: <http://www.comet.ac.at/start.htm>
- CONWAY**, T. M. (2009) *The impact of class resolution in land use change models*. *Computers, Environment and Urban Systems*, Volume 33, Nº 4, pp. 269 – 277.
[doi:10.1016/j.compenvurbsys.2009.02.001](http://dx.doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2009.02.001)
- CRAVEN**, Edward (1969) *Private Residential Expansion in Kent 1956-64: A Study of Pattern and Process in Urban Growth*. *Urban Studies*, Volume 6, Nº 1, pp. 1 – 16.
<http://dx.doi.org/10.1080/00420986920080011>
- CUTTER**, Susan L.; **GOLLEDGE**, Reginald; **GRAF**, William L. (2002) *The Big Questions in Geography*. *The Professional Geographer*, Volume 54, Nº 3, pp. 305 – 317.
<http://www.informaworld.com/smpp/content~db=all~content=a788931257~frm=abslink>
- DGOTDU** (2007) *Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território – Programa de Acção*, Anexo à Lei Nº 58/2007, de 4 de Setembro, Lisboa, p. 107.
http://www.dgotdu.pt/pnpot/Storage/pdfs/PNPOT_PROGRAMA_DE_ACCAO.pdf

- DEFINIENS** Imaging GmbH. (2009). *Definiens eCognition Developer 8 – Reference Book*. Definiens Imaging GmbH, Munich, Germany, p. 276.
- DEFINIENS** Imaging GmbH. (2003). *eCognition user guide*. Definiens Imaging GmbH, Munich, Germany, p. 443.
- DE KEERSMAECKER**, Marie-Laurence; **FRANKHAUSER**, Pierre; **THOMAS**, Isabelle (2003) Using Fractal Dimension for Characterizing Intra-urban Diversity: The example of Brussels. *Geographical Analysis*, Volume 35, Nº 4, pp. 310 – 328. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1538-4632.2003.tb01117.x/pdf>
- DELANEY**, David (1997) The political construction of scale. *Political Geography*, Volume 16, Nº 2, pp. 93 – 97. [doi:10.1016/S0962-6298\(96\)00045-5](https://doi.org/10.1016/S0962-6298(96)00045-5)
- DELGADO**, Ana Paula; **GODINHO**, Isabel Maria (2007) Growth and Change in the Portuguese Urban System: 1890 – 2001. Artigo apresentado na *International Conference on Regional and Urban Modeling*, Bruxelas, Junho 1 e 2, p. 20. <http://ecomod.net/conferences/regional-and-urban-modeling-0?tab=downloads>
- DOBUZINSKIS**, Laurent (2004) Where is Morin’s Road to Complexity Going? *World Futures – The Journal of General Evolution*, Routledge, Volume 60, Nº 5, pp. 433 – 455. http://pdfserve.informaworld.com/633940_778384746_713668821.pdf
- DUBUC**, Sylvie (2007) GIS-based accessibility analysis for network optimal location model. *Cybergeo: European Journal of Geography* [En ligne], Systèmes Modélisation, Géostatistiques, document 407. <http://cybergeo.revues.org/index12653.html>
- EGLER**, Cláudio A. G. (1991) As escalas da economia. Uma introdução à dimensão territorial da crise. *Revista Brasileira de Geografia*, Volume 53, Nº 3, pp. 229 – 245. http://www.egler.com.br/pdf/Egler_RBG%201991%20v53_n3.pdf
- EILBERG**, Eric (2004) Convex Hull Algorithms. Research paper, CS 272 – Data Structures and Algorithm Analysis II, Denison University, p. 19 (não publicado) <http://www.denison.edu/academics/departments/mathcs/eilberg.pdf>
- ENCARNAÇÃO**, Sara A. (2004) Análise de Imagem Orientada a Objecto. Abordagem conceptual e experimentação a partir de imagens QuickBird. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Gestão do Território, DGPR-FCSH-UNL, Lisboa, p. 173.
- EPSTEIN**, Joshua M.; **AXTELL**, Robert (1996) *Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom Up*. The MIT Press, Massachusetts, p. 224.
- ÉRDI**, Péter (2008) *Complexity Explained*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, p. 397.
- EWING**, Reid H. (2008) Characteristics, Causes, and Effects of Sprawl: A Literature Review. Marzluff, John M.; Shulenberger, Eric; Endlicher, Wilfried; Alberti, Marina; Bradley, Gordon; Ryan, Clare; ZumBrunnen; Simon, Ute (editors) *Urban Ecology: An International Perspective on the Interaction Between Humans and Nature*, Springer, pp. 519 - 532
- FLAKE**, Gary William (1998) *The Computational Beauty of Nature*. Bradford, London, p. 493.
- FALK**, Thomas; **ABLER**, Ronald (1980) Intercommunications, Distance, and Geographical Theory. *Geografiska Annaler. Series B, Human Geography*, Volume 62, Nº 2, pp. 59-67. <http://www.jstor.org/stable/pdfplus/490390.pdf>
- FIGUEIRA DE SOUSA**, João; **FERNANDES**, André; **GALIAU**, Sónia (2009) A Evolução das Acessibilidades em Portugal e as suas Repercussões na Organização do Território. In: *Actas do 1º Congresso de Desenvolvimento Regional de Cabo Verde, 15º Congresso da APDR*, Cabo Verde, pp. 2618 – 2641. <http://www.apdr.pt/congresso/2009/pdf/Sess%C3%A3o%2027/160A.pdf>

- FISHER**, Tania (2003) Differentiation of Growth Processes in the Peri-urban Region: An Australian Case Study. *Urban Studies*, Volume 40, Nº 3, pp. 551 – 565.
<http://dx.doi.org/10.1080/0042098032000053914>
- FRAGKIAS**, Michail; **SETO**, Karen, C. (2009) Evolving rank-size distributions of intra-metropolitan urban clusters in South China. *Computers, Environment and Urban Systems*, Volume 33, Nº 3, pp. 189 – 199. [doi:10.1016/j.compenvurbsys.2008.08.005](https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2008.08.005)
- FRANKHAUSER**, Pierre (2008) Fractal Geometry for Measuring and Modelling Urban Patterns. In: Albeverio, Sergio; Andrey, Denise; Giordano, Paolo; Vancheri, Alberto (eds.) *The Dynamics of Complex Urban Systems: an interdisciplinary approach*. Physica-Verlag, EUA, pp. 213 – 243.
- FRANKHAUSER**, Pierre (2004) Comparing the morphology of urban patterns in Europe – a fractal approach. In: Borsdorf, A.; Zembri, P. (eds.) *European Cities – Insights on outskirts, report COST Action 10 Urban Civil Engineering*, Volume 2, Structures, pp. 79 – 105.
<http://thema.univ-fcomte.fr/IMG/pdf/Cost10fractales.pdf>
- FRANKHAUSER**, Pierre (1998) Fractal Geometry of Urban Patterns and their Morphogenesis. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, Volume 2, pp. 127 – 145.
[http://80.33.141.76/pashmina_models/attachments/Fractal Urban Patterns.pdf](http://80.33.141.76/pashmina_models/attachments/Fractal_Urban_Patterns.pdf)
- FRANKHAUSER**, Pierre (1994) *La fractalité des structures urbaines*. Collection « Villes », Anthropos, Paris, p. 291.
- FRIGG**, Roman (2003) Self-organised criticality – what it is and what it isn't. *Studies in History and Philosophy of Science*, Volume 34, Nº 3, pp. 613 – 632. [doi:10.1016/S0039-3681\(03\)00046-3](https://doi.org/10.1016/S0039-3681(03)00046-3)
- FUTUYMA**, Douglas J. (2005) *Evolution*. Sinauer Associates, Inc., Massachusetts, p. 603.
- GABAIX**, Xavier; **IOANNIDES**, Yannis M. (2004) The evolution of city size distributions. *Handbook of Regional and Urban Economics*, Volume 4, pp. 2341 – 2378. [doi:10.1016/S1574-0080\(04\)80010-5](https://doi.org/10.1016/S1574-0080(04)80010-5)
- GAFFURI**, Julien; **TRÉVISAN**, Jenny (2004) Role of urban patterns for building generalisation: An application of AGENT. *ICA Workshop on Generalisation and Multiple representation*, 20 – 21 August, Leicester, p. 11. <http://ica.ign.fr/Leicester/paper/Gaffuri-v2-ICAWorkshop.pdf>
- GALLAGHER**, Richard; **APPENZELLER**, Tim (1999) Beyond Reductionism. *Science, Special Issue*, Volume 284, Nº 4511, pp. 79. <http://www.sciencemag.org/content/vol284/issue5411/>
- GALSTER**, George; **HANSON**, Royce; **RATCLIFFE**, Michael R.; **WOLMAN**, Harold; **COLEMAN**, Stephen; **Freihage**, Jason (2001) Wrestling Sprawl to the Ground: Defining and Measuring an Elusive Concept. *Housing Policy Debate*, Volume, 12, Nº 4, pp. 681 – 717.
<http://www2.gulfofmaine.org/ESIPPlanning/subcommittees/coastaldevelopment/CoasDevRefDocs/Wrestling%20Sprawl%20to%20the%20Ground%20Defining%20and%20Measuring%20an%20Elusive%20Concept.pdf>
- GASPAR**, Jorge (2003) Enquadramento Geográfico. Tenedório, José António (coord.) *Atlas da Área Metropolitana de Lisboa*. Junta Metropolitana de Lisboa, Lisboa, pp. 28 – 43.
http://www.aml.pt/webstatic/actividades/smig/atlas/docs/atlas_03.pdf
- GEDDES**, Patrick (1915) *Cities in Evolution. An introduction to the town planning movement and to the study of civics*. Williams e Norgate, London, p. 409.
- GELL-MANN**, M. (1995) What is complexity? *Complexity*, John Wiley and Sons, Volume 1, Nº 1, p.9.
<http://www.santafe.edu/research/publications/workingpapers/90-021.pdf>
- GHERTNER**, Asher (2010) Commonwealth Games, a failuer of “just-in-time” planning. Artigo publicado on-line, na secção de blogs do *NewStatesman*, 3 de Outubro de 2010.
<http://www.newstatesman.com/blogs/the-staggers/2010/10/commonwealth-games-planning>
- GLEICK**, J. (1994) *Caos – a construção de uma nova Ciência*. Gradiva, Lisboa, p. 420.

- GOLDENBERG**, Jacob; **LEVY**, Moshe (2009) Distance is not dead: social interaction and geographical distance in the internet era. *arXiv:0906.3202v2*, p.22.
<http://arxiv.org/abs/0906.3202>
- GOLLEDGE**, Reginald G. (2002) The Nature of Geographic Knowledge. *Annals of the Association of American Geographers*, Volume 92, Nº 1, pp. 1 – 14.
<http://www.gvsu.edu/cms3/assets/B6FD1115-EC01-A2A3-30867A2784081D10/TheNatureofGeographicalKnowledge.pdf>
- GOMULKIEWICZ**, R.; **Drown**, D.M.; **DYBDAHL**, M. F.; **GODSOE**, W.; **NUISMER**, S. L.; **PEPIN**, K.M.; **RIDENHOUR**, B. J.; **SMITH**, C. J.; **YODER**, J. B. (2007) Dos and don'ts of testing the geographic mosaic theory of coevolution. *Heredity*, Volume 98, pp. 249 – 256.
<http://www.nature.com/hdy/journal/v98/n5/pdf/6800949a.pdf>
- GOULD**, Stephen Jay (1971) Geometric Similarity in Allometric Growth: A Contribution to the Problem of Scaling in the Evolution of Size. *American Naturalist*, Volume 105, Nº 942, pp. 113 – 136. <https://netfiles.uiuc.edu/sleigh/www/cluster/450l/gould1971.pdf>
- GRAHAM**, R. L. (1972) An efficient algorithm for determining the convex hull of a finite planar set. *Information Processing Letters*, Volume 1, Nº 4, pp. 132 – 133.
http://www.math.ucsd.edu/~sbutler/ron/72_10_convex_hull.pdf
- GREITZER**, E. M.; **SPAKOVSKY**, Z. S.; **WAITZ**, I. A. (versão 6.2) 16.Unified: Thermodynamics and Propulsion. Material de leitura da disciplina de Thermodynamics do curso em Unified Engineering, Department of Aeronautics and Astronautics, MIT, Massachusetts.
<http://web.mit.edu/16.unified/www/FALL/thermodynamics/notes/node140.html>
(acedido em: 08/03/2010)
- GUASTELLO**, Stephen J.; **LIEBOVITCH**, Larry S. (2009) Introduction to Nonlinear Dynamics and Complexity. Guastello, Stephen J.; Koopmans, Matthijs; Pincus, David (eds.) *Chaos and Complexity in Psychology. The Theory of Nonlinear Dynamical Systems*. Cambridge University Press, New York, pp. 1 - 10.
- GUERMOND**, Yves (ed.) *The Modeling Process in Geography – From Determinism to Complexity*, Wiley, Great Britain, p. 342.
- GUTIN**, Gregory; **PUNNEN**, Abraham P. (eds.) (2002) *The Travelling Salesman Problem and Its Variations*. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, p. 830
- HALL**, Peter (2005) The world's urban systems: a European perspective. *Global Urban Development Magazine*. Volume 1, Nº 1, p. 12.
<http://www.globalurban.org/Issue1PIMag05/Hall%20article.htm>
- HALL**, Peter (2002) *Urban and regional Planning*. Fourth edition, Routledge, London, p. 237
- HAMOUCHE**, Mustapha Ben (2009) Can Chaos Theory Explain Complexity in Urban Fabric? Applications in Traditional Muslim Settlements. *Nexus Network Journal*, Springer, Volume 11, Nº 2, pp. 217 – 242. <http://www.springerlink.com/content/d52622q427784645/fulltext.pdf>
- HANSEN**, Walter G. (1959) How Accessibility Shapes Land Use. *Journal of the American Planning Association*, Volume 25, Nº 2, pp. 73 – 76. <http://dx.doi.org/10.1080/01944365908978307>
- HARRIS**, Chauncy D.; **ULLMAN**, Edward L. (1945) The Nature of Cities. *The ANNALS of the American Academy of Political and Social Science*, Volume 242, Nº 1, pp. 7 – 17.
<http://ann.sagepub.com/content/242/1/7.citation>
- HARVEY**, David (1979) *Explanation in Geography*, Edward Arnold, London, p. 521.
- HAYEK**, F. A. (1964) The Theory of Complex Phenomena. **BUNGE**, Mario (ed.), *The Critical Approaches to Science e Philosophy*, Collier McMillan, London, pp. 332 – 349.

- HELMBERG**, Gilbert (2007) *Getting acquainted with fractals*. Walter de Gruyter, Berlin, p. 177.
- HENGLE**, Tomislav (2006) Finding the right pixel size. *Computers e Geosciences*, Volume 32, Nº 9, pp. 1283 – 1298. [doi:10.1016/j.cageo.2005.11.008](https://doi.org/10.1016/j.cageo.2005.11.008)
- HESSE**, George R.; **DALEY**, Salinda S.; **DENNISON**, Becky K.; **LUBKIN**, Sharon R.; **MCGUINN**, Robert P.; **MORIN**, V. Z.; **POTTER**, K. M.; **SAVAGE**, R. E.; **SHELTON**, W. G.; **SNOW**, C. M.; **WREGE**, B. M. (2001) Just what is sprawl, anyway? *Carolina Planning: a Journal of the University of North Carolina Department of City and Regional Planning*, Number 26, pp. 11 – 26. <http://www4.ncsu.edu/~grhess/papers/sprawl.pdf>
- HOLLAND**, John H. (1995) *Hidden Order: How Adaptation Builds Complexity*. Helix Books, New York, p. 185
- HUBBARD**, Phil (2006) *City*. Routledge, Abingdon, p. 298
- HUXLEY**, J. S. (1950) Relative Growth and Form Transformation. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*. Volume 137, Nº 889, pp. 465-469. <http://www.jstor.org/stable/82598>
- INE** (2008) *O País em Números (CD-ROM)*. Instituto Nacional de Estatística, Lisboa.
- INE** (2001) *Censos 2001 – XIV Recenseamento Geral da População, IV Recenseamento Geral da Habitação*. Instituto Nacional de Estatística, Lisboa. http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INEexpgid=censos_historia_pt_2001
- INE** (1991) *Censos 1991 – XIII Recenseamento Geral da População, III Recenseamento Geral da Habitação*. Instituto Nacional de Estatística, Lisboa. http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INEexpgid=censos_historia_pt_1991
- INE** (1981) *Censos 1981 – XII Recenseamento Geral da População, II Recenseamento Geral da Habitação*. Instituto Nacional de Estatística, Lisboa.
- INE** (1970) *Censos 1970 – XI Recenseamento Geral da População, I Recenseamento Geral da Habitação*. Instituto Nacional de Estatística, Lisboa.
- INE** (1960) *Censos 1960 – X Recenseamento Geral da População*. Instituto Nacional de Estatística, Lisboa.
- JARVIS**, R. A. (1973) On the identification of the convex hull of a finite set of points in the plane. *Information Processing Letters*, Volume 2, Nº 1, pp. 18 – 21. [doi:10.1016/0020-0190\(73\)90020-3](https://doi.org/10.1016/0020-0190(73)90020-3)
- JEFFERSON**, Mark (1939) The Law of the Primate City. *Geographical Review*, Volume 29, Nº 2, pp. 226 – 232. <http://www.jstor.org/stable/209944>
- JIANG**, B.; **CLARAMUNT**, C. (2004) A Structural Approach to the Model Generalization of an Urban Street Network. *Geoinformatica*, Volume 8, Nº 2, pp. 157 – 171. <http://www.springerlink.com/content/w486710q406558j3/fulltext.pdf>
- JONES**, Katherine (1998) Scale as epistemology. *Political Geography*, Volume 17, Nº 1, pp. 25 – 28. [doi:10.1016/S0962-6298\(97\)00049-8](https://doi.org/10.1016/S0962-6298(97)00049-8)
- JULIÃO**, Rui Pedro (2001) *Tecnologias de Informação Geográfica e Ciência regional. Contributos metodológicos para a definição de modelos de apoio à decisão em desenvolvimento regional*. Dissertação de Doutoramento no ramo Geografia e Planeamento Regional, especialidade de Novas Tecnologias em Geografia, apresentada à Faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, p. 378. http://e-geo.fcsh.unl.pt/pdf/linhamtig_rui_pedro_juliao_tese.pdf

- KALLIS**, Giorgos (2007) When is it coevolution? *Ecological Economics*, Volume 62, Nº 1, pp. 1 - 6. [doi:10.1016/j.ecolecon.2006.12.016](https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.12.016)
- KAUFFMAN**, Stuart (1996) *At Home in the Universe: The search for the laws of self-organization and complexity*. Oxford University Press, USA, p. 336.
- KLINKENBERG**, Brian (1994) A review of methods used to determine the fractal dimension of linear features. *Mathematical Geology*, Volume 26, Nº 1, pp. 23 – 46. <http://www.springerlink.com/content/p267h54279791807/fulltext.pdf>
- KNOBLAUCH**, Richard L.; **PIETRUCHA**, Martin T.; **NITZBURG**, Marsha (1996) Field Studies of Pedestrian Walking Speed and Star-Up Time. *Transportation Research Record*, Nº 1538, pp. 27 – 38. <http://www.enhancements.org/download/trb/1538-004.PDF>
- KONDEPUDI**, Dilip (2008) *Introduction to Modern Thermodynamics*. John Wiley e Sons, England, p. 500.
- KONDEPUDI**, Dilip; **PRIGOGINE**, Ilya (1998) *Modern Thermodynamics. From heat Engines to Dissipative Structures*. John Wiley e Sons, England, p. 486.
- KONECNY**, Gottfried ; **SCHIEWE**, Jochen (1996) Mapping from digital satellite image data with special reference to MOMS-02. *ISPRS Journal of Photogrammetry e Remote Sensing*, Volume 51, Nº 47, pp. 173-181. [doi:10.1016/0924-2716\(96\)00016-0](https://doi.org/10.1016/0924-2716(96)00016-0)
- KRAKAUER**, David C. (2006) Robustness in Biological Systems – A Provisional Taxonomy. Deisboeck, Thomas S.; Kresh, J. Yasha (eds.) *Complex Systems Science in Biomedicine*, Springer, USA, pp. 183 – 205. <http://www.springerlink.com/content/m03130561677144r/fulltext.pdf>
- KRUGMAN**, Paul (1996) Confronting the Mystery of Urban Hierarchy. *Journal of the Japanese and International Economies*. Volume 10, pp. 299 – 418. [doi:10.1006/jjie.1996.0023](https://doi.org/10.1006/jjie.1996.0023)
- LAM**, Nina Siu-Ngan; **QUATTROCHI**, Dale A. (1992) On the Issues of scale, resolution, and fractal analysis in the mapping sciences. *The Professional Geographer*, Volume 44, Nº 1, pp. 88 – 98. http://pdfserve.informaworld.com/503712_778384746_788939283.pdf
- LAMBIN**, Eric F.; **TURNER**, B. L.; **GEIST**, Helmut J.; **AGBOLA**, Samuel B.; **ANGELSEN**, Arild; **BRUCE**, John W.; **COOMES**, Oliver T.; **DIRZO**, Rodolfo; **FISCHER**, Günther; **FLOKE**, Carl; **GEORGE**, P. S.; **HOMEWOOD**, Katherine; **IMBERNON**, Jacques; **LEEMANS**, Rik; **LI** Xiubin; **MORAN**, Emilio F.; **MORTIMORE**, Michael; **RAMAKRISHNAN**, P. S.; **RICHARDS**, John F.; **SKANES**, Helle; **STEFFEN**, Will; **STONE**, Glenn D.; **SVEDIN**, Uno; **VELDKAMP**, Tom A.; **VOGEL**, Collen; **XU**, Jianchu (2001) The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change*, Nº 11, pp. 261 – 269. [doi:10.1016/S0959-3780\(01\)00007-3](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(01)00007-3)
- LANE**, David; **LEEuw**, Sander van der; **PUMAIN**, Denise; West Geoffrey (editors.) (2009) *Complexity Perspectives in Innovation and Social Change*. Springer, Berlin, p. 491.
- LAPLANTE**, John; **KAESER**, Thomas P. (2007) A History of pedestrian signal walking speed assumptions. In: *Proceedings of the 3rd Urban Street Symposium*, Seattle, Washington, pp. 1 – 8. http://www.urbanstreet.info/3rd_symp_proceedings/A%20History%20of%20Pedestrian.pdf
- LEE**, Dan; **HARDY**, Paul (2005) Automating Generalization – Tools and Models. In: *XXII International Cartographic Conference (ICC2005)*, The International Cartographic Association (ICA-ACI), Coruña, 11 – 16 July, p. 10. http://www.pghardy.net/paul/papers/2005_icc_coruna_lee_hardy.pdf
- LEVINE**, Roger (2006) *A Geography of Time – The temporal misadventures of a social psychologist or how every culture keeps time just a little bit differently*. Oneworld Publications, Oxford, p. 258.
- LEWIN**, Roger (2004) *Complexidade – A Vida no limiar do Caos*. Pescada, António (tradução), Caminho, Lisboa, p. 280.

- LEWIN**, Roger (1992) *Complexity – Life at the Edge of Chaos*. Collier Books, New York, p. 208.
- LEWONTIN**, Richard (Fall 2008 edition) *The Genotype/Phenotype Distinction*, Edward N. Zalta (ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, The Metaphysics Research Lab, Center for the Study of Language and Information, Stanford University, Stanford.
<http://plato.stanford.edu/archives/fall2008/entries/genotype-phenotype/>
- LI**, Bo; **WILKINSON**, Graeme G.; **KHADDAJ**, Souheil (2001) *Cell-based Model for Gis Generalization*. In: *Proceedings of the 6th International Conference on Geocomputation*, 24 – 26 September, Brisbane, p. 6. <http://www.geocomputation.org/2001/papers/li.pdf>
- LIEBOVITCH**, Larry S. (1998) *Fractals and Caos Simplified for the Life Sciences*. Oxford University Press, New York, p. 268.
- LOEWE**, Laurence (2009) *A framework for evolutionary systems biology*. *BMC Systems Biology*, Volume 3, pp. 34. <http://www.biomedcentral.com/content/pdf/1752-0509-3-27.pdf>
- LONGLEY**, Paul; **BATTY**, Michael; **SHEPHERD**, John (1991) *The Size, Shape and Dimension of Urban Settlements*. *Transactions of the Institute of British Geographers, New Series*, Volume 16, Nº 1, pp. 75-94. <http://www.jstor.org/stable/622907>
- LUKERMANN**, F. (1961) *The role of theory in geographical inquiry*. *The Professional Geographer*, Volume 13, Nº 2, pp. 1 – 6. <http://dx.doi.org/10.1111/j.0033-0124.1961.132.1.x>
- MAINZER**, Klaus (2004) *Thinking in Complexity. The Computational Dynamics of Matter, Mind and Mankind*. Springer-Verlag, Berlim, p. 456.
- MANDELBROT**, Benoît (1998) *Objectos Fractais – Forma, Acaso e Dimensão*. Fiolhais, Carlos; Luís, José Luís Malaquias (tradução da 3ª edição de 1989), Gradiva, Lisboa, p. 150.
- MANDELBROT**, Benoît (1983) *The Fractal Geometry of Nature*. W. H. Freeman and Company, New York, p. 468.
- MANDELBROT**, Benoît (1967) *How long is the coast of Britain? Statistical self-similarity and fractional dimension*. *Science*, Volume 155, Nº 3775, pp. 636 – 638. [doi: 10.1126/science.156.3775.636](https://doi.org/10.1126/science.156.3775.636).
- MANSON**, Steven M. (2008) *Does scale exist? An epistemological scale continuum for complex human-environment systems*. *Geoforum*, Volume 39, Nº 2 , pp. 776 – 788.
[doi:10.1016/j.geoforum.2006.09.010](https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2006.09.010)
- MANSON**, Steven M. (2003) *Epistemological possibilities and imperatives of complexity research: a reply to Reitsma*. *Geoforum*, Volume 34, Nº 1, pp. 17 – 20. [doi:10.1016/S0016-7185\(02\)00015-5](https://doi.org/10.1016/S0016-7185(02)00015-5)
- MANSON**, Steven M. (2001) *Simplifying complexity: a review of complexity theory*. *Geoforum*, Volume 32, Nº 3, pp. 405 – 414. [doi:10.1016/S0016-7185\(00\)00035-X](https://doi.org/10.1016/S0016-7185(00)00035-X)
- MARQUES**, A. H. Oliveira (2003) *Enquadramento Histórico*. Tenedório, José António (coord.) *Atlas da Área Metropolitana de Lisboa*. Junta Metropolitana de Lisboa, Lisboa, pp. 14 – 27.
http://www.aml.pt/webstatic/actividades/smig/atlas/docs/atlas_02.pdf
- MARQUES**, Teresa Sá; **SILVA**, Filipe Baptista; **DELGADO**, Carlos (2009) *A Ocupação Edificada: Delimitação de Áreas de Densidade Homogénea*. In: *Actas do Seminário «A Ocupação Dispersa no Quadro dos PROT e dos PDM»*, Évora, 12 de Novembro, p. 25.
<http://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/19849>
- MATTEWS**, John A.; **HERBERT**, David, T. (2008) *Geography – A Very Short Introduction*. Oxford University Press, Oxford, p. 181.
- MAY**, Robert S.; **OSTER**, George F. (1976) *Bifurcations and dynamic complexity in simple ecological models*. *The American Naturalist*, Volume 110, Nº 974, pp. 573 – 599.
<http://www.cnr.berkeley.edu/~goster/pdfs/Chaos1.pdf>

- MCCAULEY**, Joseph L. (1997) The new science of complexity. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, OPA, The Netherlands, Volume 1, Nº 1, pp. 17 – 30
http://www.emis.de/journals/HOA/DDNS/Volume1_1/30.pdf
- MCDANIEL**, Reuben R.; **DRIEBE**, Dean J. (2005) Uncertainty and Surprise: An Introduction. McDaniel, Reuben R.; Driebe, Dean J. (eds.) *Uncertainty and Surprise in Complex Systems – Questions on Working with the Unexpected*. Springer, The Netherlands, p. 3 -11.
- MEAKIN**, Paul (1998) *Fractals, scaling and growth far from equilibrium*. Cambridge University Press, Cambridge, p. 674.
- MESEV**, Victor (editor) (2007) *Integration of GIS and Remote Sensing*. John Wiley e Sons, West Sussex, p. 296.
- MOON**, Henry (1990) Land use around suburban transit stations. *Transportation*, Volume 17, pp. 67 – 88. <http://www.springerlink.com/content/t47g4n93h1465752/fulltext.pdf>
- MORGADO**, Sofia (2007) Lisbon: towards a suprametropolitan configuration? In: Schrenk, Manfred; Popovich, Vasily V.; Benedikt, Josef (edts.), *REAL CORP 007 Proceedings*, Tagungsband, pp. 865 – 872. http://www.corp.at/archive/corp2007_MORGADO.pdf (Fevereiro, 22, 2011)
- MORIN**, Edgar (2003) A Necessidade de um Pensamento Complexo. Mendes, Cândido (org.); Larreta, Enrique (ed.) *Representação e Complexidade*, Garamond, Rio de Janeiro, pp. 69 - 78.
<http://unesdoc.unesco.org/images/0013/001317/131796por.pdf>
- MOROWITZ**, Harold J. (2002) *The Emergence of Everything – How the World Became Complex*. Oxford University Press, New York, p. 209.
- MORRILL**, Richard; **GAILE**, Gary L.; **THRALL**, Grant Ian (1988) *Spatial Diffusion*. Sage Publications, Newbury Park, p. 86.
- NORDBECK**, Stig (1971) Urban Allometric Growth. *Geografiska Annaler. Series B, Human Geography*. Swedish Society for Anthropology and Geography, Volume 53, Nº 1, pp. 54 – 67.
<http://www.jstor.org/stable/490887>
- NORGAARD**, Richard B. (1994) *Development betrayed – the end of progress and a coevolutionary revisioning of the future*. Routledge, New York, p. 269.
- NUNES**, J. (1991) Geographic Space as a Set of Concrete Geographical Entities. Mark, D. M.; Andrew, U. F. (eds.) *Cognitive and Linguistic Aspects of Geographic Space*, Kluwer Academic Publications, Dordrecht, pp. 9 – 33.
- PARKER**, Dawn C.; **HESSL**, Amy; **DAVIS**, Sarah C. (2008) Complexity, land-use modelling, and the human dimension: Fundamental challenges for mapping unknown outcome spaces. *GeoForum*, Elsevier, Volume 39, Nº 2, pp. 789-805. [doi:10.1016/j.geoforum.2007.05.005](https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2007.05.005)
- PEITGEN**, Heinz-Otto; **JÜRGENS**, Hartmut; **SAUPE**, Dietmar (2004) *Chaos and Fractals – New Frontiers of Science*. Second Edition, Springer-Verlag, New York, p. 864.
- PEREIRA**, Margarida; **NUNES DA SILVA**, Fernando (2008) Modelos de ordenamento em confronto na área metropolitana de Lisboa: cidade alargada ou recentragem metropolitana? *Cadernos Metrópole*, Nº 20, pp. 107 – 123.
http://www.observatoriodasmetropoles.net/download/cm_artigos/cm20_137.pdf
- PEREIRA**, Margarida (2004) As metamorfoses da cidade dispersa. *GeolNova*, Nº 10, pp. 129 – 142.
- PEREIRA**, Margarida (2003) Os próximos desafios do planeamento municipal. *GeolNova*, n.º 7, pp. 179 – 200.

PEREIRA, Margarida (1986) *Urbanização e Planeamento na Periferia de Lisboa*. Prova científica das provas de Aptidão Pedagógica e Capacidade Científica, Centro de Estudos de Geografia e Planeamento Regional, FCSH-UNL, Lisboa, p. 162.

PILBEAM, Davis; **GOULD**, Stephen Jay (1974) *Size and Scaling in Human Evolution*. *Science, New Series*, Volume 186, Nº 4167, pp. 892 – 901
<https://netfiles.uiuc.edu/sleigh/www/cluster/4501/pilbeamgould.pdf>

PORTUGALI, Juval (2008) *Learning from paradoxes about prediction and planning in self-organizing cities*. *Planning Theory*, Volume 7, Nº 3, pp. 248 – 262.
<http://plt.sagepub.com/content/7/3/248.full.pdf+html>

PORTUGALI, Juval (2000) *Self-Organization and the City*. Springer, Berlin, p. 352.

PRIELER, Sylvia (2005) *Built-up and associated land area increases in Europe*. Project Report, WP 3 – Environmental Evaluation, International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Land Use Change and Agriculture Project, p. 20.
http://www.mosus.net/documents/MOSUS_Built-up%20land%20increases.pdf

PRIGOGINE, Ilya (2003) *O Fim da Certeza*. Mendes, Cândido (org.); Larreta, Enrique (ed.) *Representação e Complexidade*, Garamond, Rio de Janeiro, pp. 49-67.
<http://unesdoc.unesco.org/images/0013/001317/131796por.pdf>

PRIGOGINE, Ilya (1977) *Time, Structure and Fluctuations*. *Nobel Lectures, Chemistry 1971 – 1980*, World Scientific Publishing Co., Singapore.
http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1977/prigogine-lecture.html

PUMAIN, Denise (2003) *Scaling laws and urban systems*. *SFI Working Paper*, Nº 04-02-002, p. 26.
<http://www.santafe.edu/media/workingpapers/04-02-002.pdf>

PUNNEN, Abraham P. (2004) *The Traveling Salesman Problem: Applications, Formulations and Variations*. Punnen, Abraham P.; Gutin, Gregory (eds.) *The Traveling Salesman Problem and its Variations*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 1 – 28.
<http://www.springerlink.com/content/j2701h/?p=d5b65fe85aeb4f758e374ed719ac0ddbepi=0>

QUENTAL, Nuno; **LOURENÇO**, Júlia; **SILVA**, Fernando Nunes da (2006) *O sistema urbano: contributo para a identificação de propriedades fundamentais no âmbito de um desenvolvimento sustentável*. In: MENDES, José Fernandes Gomes, et al., (eds.) - "PLURIS 2006: anais do 2º Congresso Luso-Brasileiro de Planeamento Urbano Regional Integrado Sustentável, Braga, 2006" [CD-ROM], p. 14.
<http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/7264/1/Louren%C3%A7o-CN-3-2006-O%20SISTEMA%20URBANO-CONTRIBUTO.pdf>

RAMINHAS DA SILVA, Vasco (2009) *Planeamento e Gestão Urbanística na Cidade de Setúbal no Período 1944 – 2004*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Urbanística e Gestão do Território, Instituto Superior Técnico – UTL, Lisboa, p. 215.

REIS, Maria João B. (2004) *Traduzindo Fitness na Teoria da Complexidade*. *Confluências – Revista de Tradução Científica e Técnica*, Nº 1, pp.93 - 94. <http://www.confluencias.net/n1/reis.pdf>

REITSMA, Femke (2003) *A response to simplifying complexity*. *GeoForum*, Volume 34, Nº 1, pp. 13-16. [doi:10.1016/S0016-7185\(02\)00014-3](https://doi.org/10.1016/S0016-7185(02)00014-3)

REYNOLDS, Craig W. (1987) *Flocks, Herds, and Schools: A Distributed Behavioral Model*. *Computer Graphics*, ACM, Volume 21, Nº 4, pp. 25 – 34. <http://doi.acm.org/10.1145/37402.37406>

RICHARDSON, Harry W. (1973) *Theory of the Distribution of City Sizes: Review and Prospects*. *Regional Studies*, Pergamon Press, Volume 7, Nº 3, pp. 239 – 251.
<http://dx.doi.org/10.1080/09595237300185241>

- RICHARDSON**, Kurt A.; **CILLIERS**, Paul; **LISSACK**, Michael (2000) Complexity Science: A 'Grey' Science for the 'Stuff in Between'. In: *Proceedings of the ICSTM – International Conference on Systems Thinking in Management*, CEUR, Volume 72, pp. 532 – 537.
<http://ftp.informatik.rwth-aachen.de/Publications/CEUR-WS/Vol-72/085%20Richardson%20Complexity.pdf>
- ROSEN**, Devan (2003) Flock theory: A new model of emergent self-organization in human interaction. In: Paper presented at the *Annual meeting of the International Communication Association*, San Diego.
http://www.allacademic.com/meta/p_mla_apa_research_citation/1/1/1/5/5/pages111552/p111552-1.php
- RUELLE**, D. (1994) *O acaso e o caos*. Relógio D'Água, Lisboa, p. 233.
- RYAN**, Alex (2007) Emergence is coupled to scope, not level. *Complexity*, Volume 13, Nº 2, pp. 67 – 77. <http://www3.interscience.wiley.com/cgi-bin/fulltext/117357208/PDFSTART>
- SAINT-GERAND**, Thierry (2008) Understanding to Measure...or Measuring to Understand? HBDS: Towards a Conceptual Approach for the Geographic Modeling of the Real World. **GUERMOND**, Yves (ed.) *The Modeling Process in Geography – From Determinism to Complexity*, Wiley, Great Britain, pp. 217 – 254.
- SALGUEIRO**, Teresa Barata (2001) *Lisboa, periferia e centralidades*. Celta, Oeiras, p. 230
- SANTOS**, Boaventura de Sousa (1988) Um discurso sobre as ciências na transição para uma Ciência pós-moderna. *Estudos Avançados*, São Paulo, Volume 2, Nº 2, pp. 46 – 71.
<http://www.scielo.br/pdf/ea/v2n2/v2n2a07.pdf>
- SARGENT**, Charles S. (1972) Toward a dynamic model of urban morphology. *Economic Geography*, Volume 48, Nº 4, pp. 357 – 374. <http://www.jstor.org/stable/142888>
- SCHELLING**, Thomas C. (1978) *Micromotives and Macrobehavior*. W. W. Norton e Company, New York, p. 252.
- SCHELLING**, Thomas C. (1971) Dynamic Models of Segregation. *Journal of Mathematical Sociology*, Volume 1, pp. 143 – 186. <http://citeseerx.ist.psu.edu>
- SCHELLING**, Thomas C. (1969) Models of Segregation. *The American Economic Review*, Volume 59, Nº 2, pp. 488 – 493. <http://isites.harvard.edu/fs/docs/icb.topic185351.files/shelling1.pdf>
- SCHWEITZER**, Frank; **STEINBRINK**, Jens (1998) Estimation of megacity growth. *Applied Geography*, Volume 18, Nº 1, pp. 69 – 81. [doi:10.1016/S0143-6228\(97\)00047-7](https://doi.org/10.1016/S0143-6228(97)00047-7)
- SCHWEITZER**, Frank; **STEINBRINK**, Jens (1997) Urban Cluster Growth: analysis and Computer Simulations of Urban Aggregations. In: Schweitzer, F. (ed.) *Self-organization of Complex Structures: From Individual to Collective Dynamics*. Gordon and Breach, London, pp. 501 – 518.
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.143.594>
- SCIENCE** (1999) Complex Systems. *Science – Special Issue*, Volume 284, Nº 5411, p. 1 – 212.
<http://www.sciencemag.org/content/vol284/issue5411/>
- SERVICE**, Robert F. (1999) Complex Systems: Exploring the Systems of Life. *Science, Special Issue*, Volume 284, Nº 5411, pp. 80 – 83. <http://www.sciencemag.org/content/vol284/issue5411/>
- SESTER**, Monika (2000) Generalization Based on Least Squares Adjustment. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXIII, Part B4, Amsterdam, pp. 931 – 938.
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.17.2859>

- SHEN**, Qing (2010) Updating Spatial Perspectives and Analytical Frameworks in Urban Research. Jiang, Bin; Yao, Xiaobai (eds.) *Geospatial Analysis and Modelling of Urban Structure and Dynamics*. Springer, New York, pp. 263 – 279.
- SHEN**, Guoqiang (2002) Fractal dimension and fractal growth of urbanized areas. *International Journal of Geographical Information Science*, Volume 16, Nº 5, pp. 419 – 437.
<http://dx.doi.org/10.1080/13658810210137013>
- SHREIDER**, Yu A. (1974) *What is Distance?* Popular Lectures in Mathematics. The University of Chicago Press, Chicago, p. 71
- SILVA**, Filipe Batista; **MARQUES**, Teresa Sá; **SILVA**, Célia; **AZEVEDO**, Helena; **DELGADO**, Carlos (2009) Cartografia da Expansão Urbana: 1950-2000. In: *Actas do VII Congresso da Geografia Portuguesa*, Coimbra, 26 a 28 de Novembro, p. 24.
<http://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/19858>
- SINGH**, R. B. (2009) *Introduction to Modern Physics – Volume 1*. Second edition, New Age Publications, New Delhi, p. 636.
- SLOCUM**, Terry A.; **MCMMASTER**, Robert B.; **KESSLER**, Fritz C.; **HOWARD**, Hugh H. (2009) *Thematic Cartography and Geovisualization*. Pearson – Prentice Hall, third edition, USA, p. 561.
- SMITH**, Barry (2001) Fiat Objects. *Topoi 20:2*, LWER Academic Publishers, Netherlands, pp. 131 – 148.
<http://ontology.buffalo.edu/smith/courses03/md/SmFiatOb.pdf>
- SOBER**, Elliott (2000) The Two Faces of Fitness. Singh, Rama S., Costas B. Krimbas, Diane B. Paul and John Beatty (eds.) *Thinking about Evolution: Historical, Philosophical and Political Perspectives, a Festschrift for Richard C. Lewontin*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 309 – 321.
- SOLANS**, Joan Antoni (2002) La dinámica de la ocupación del suelo en Lisboa. *Sociedade e Território*, Nº 33, pp. 163 – 171.
- SOO**, Kwok Tong (2007) Zipf's law and urban growth in Malaysia. *Urban Studies*, Volume 44, Nº 1, pp. 1 – 14. http://pdfserve.informaworld.com/850227_778384746_771165756.pdf
- SOO**, Kwok Tong (2005) Zipf's Law for Cities: A Cross Country Investigation. *Regional Science and Urban Economics*, Volume 35, Nº 3, pp. 239 – 263. [doi:10.1016/j.regsciurbeco.2004.04.004](https://doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2004.04.004)
- STANDISH**, Russel K. (2008) Concept and Definition of Complexity. Eprint arXiv:0805.0685, p. 12.
http://arxiv.org/PS_cache/arxiv/pdf/0805/0805.0685v1.pdf
- STEWART**, John (2000) *Evolution's Arrow*. The Chapman Press, Australia, p. 176
- STEWART**, John Q.; Warntz, William (1958) Macrogeography and Social Science. *Geographical Review*. Volume 48, Nº 2, pp. 161 – 184. <http://www.jstor.org/stable/212129>
- STEWART**, John Q. (1948) Demographic Gravitation: Evidence and Applications. *Sociometry*. Volume 11, Nº 1/2, pp. 31 – 58.
<http://links.jstor.org/sici?sici=0038-0431%28194802%2F05%2911%3A1%2F2%3C31%3ADGEEA%3E2.0.CO%3B2-L>
- STEWART**, John Q. (1947) Empirical Mathematical Rules concerning the Distribution and Equilibrium of Population. *Geographical Review*. Volume 37, Nº 3, pp. 461 – 485.
<http://links.jstor.org/sici?sici=0016-7428%28194707%2937%3A3%3C461%3AEMRCTD%3E2.0.CO%3B2-E>
- STEWART**, John Q. (1942) A Measure of the Influence of a Population at a Distance. *Sociometry*, Volume 5, Nº 1, pp. 63 – 71.

<http://links.jstor.org/sici?sici=0038-0431%28194202%295%3A1%3C63%3AAMOTIO%3E2.0.CO%3B2-V>

STOCK, Oliviero (ed.) (1997) *Spatial and Temporal Reasoning*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, p. 382.

TANNIER, Cécile; **PUMAIN**, Denise (2007) Fractals in urban geography: a theoretical outline and an empirical example. *Cybergeo, Systèmes, Modélisation, Géostatistiques*, article 307. <http://cybergeo.revues.org/3275>

TENEDORIO, José A. (coord.) (2003) *Atlas da Área Metropolitana de Lisboa*. Área Metropolitana de Lisboa, Lisboa, p. 321.

TERZI, Fatih; **KAYA**, H. Serdar (2008) Analyzing urban sprawl patterns through fractal geometry: the case of Instambul Metropolitan area. *Working Paper*, CASA, N° 144, p. 24. <http://eprints.ucl.ac.uk/15200/1/15200.pdf>

THOMAS, Isabelle; **FRANKHAUSER**, Pierre; **DE KEERSMAECKER**, Marie-Laurence (2007) Fractal dimension versus density of built-up surfaces in the periphery of Brussels. *Papers in Regional Science*, Volume 86, N° 2, pp. 287 – 308. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1435-5957.2007.00122.x/pdf>

THOMPSON, John N. (1994) *The Coevolution Process*. The University of Chicago Press, Chicago, p. 376.

UNWIN, D. (1996) Gis, spatial analysis and spatial statistics. *Progress in Human Geography*, SAGE Publications, pp. 540 – 551. <http://phg.sagepub.com/cgi/reprint/20/4/540>

WALDROP, M. Mitchell (1992) *Complexity – the emerging science at the edge of order and chaos*. SimoneSchuster, New York, p. 380.

WALTERS, Peter (1982) *An introduction to ergodic theory*. Springer-Verlag, New York, p. 250.

WARF, Barney; **ARIAS**, Santa (eds.) (2009) *The Spatial Turn – Interdisciplinary perspectives*. Routledge, New York, p. 232.

WARNTZ, William (1964) A New Map of the Surface of Population Potentials for the United States, 1960. *Geographical Review*, Volume 54, N° 2, pp. 170-184. <http://www.jstor.org/stable/213185>

WATKINS, Nicholas W.; **Freeman**, Mervyn (2008) Natural Complexity. *Science*. Volume 320, N° 5874, pp. 323 – 324. <http://www.sciencemag.org/cgi/reprint/320/5874/323.pdf>

WATSON, J. W. (1955) Geography – a discipline in distance. *Scottish Geographical Journal*, Volume 71, n° 1, pp. 1 – 13.

WESSMAN, Carol A. (1992) Spatial Scales and Global Change: Bridging the Gap from Plots to GCM Grid Cells. *Annual Review of Ecology and Systematics*, Volume 23, pp. 175 – 200. <http://arjournals.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev.es.23.110192.001135>

WILDER, Margaret G (1985) Site and situation determinants of land use change: an empirical example. *Economic Geography*, Vol. 61, N° 4, pp. 332 – 344. <http://www.jstor.org/stable/144053>

WINDER, Nick; **MCINTOSH**, Brian S.; **JEFFREY**, Paul (2005) The origin, diagnostic attributes and practical application of co-evolutionary theory. *Ecological Economics*, Volume 54, Número 4, pp. 347 – 361. doi:10.1016/j.ecolecon.2005.03.017

WITTEN, M.L; **TINAJERO**, J. P.; **SOBONYA**, R. E; **LANTZ**, R. C.; **QUAN**, S. F.; **LEMEN**, R. J. (1997) Human alveolar fractal dimension in normal and chronic obstructive pulmonary disease subjects. *Research Communications in Molecular. Pathology and Pharmacology*, Volume 98, N° 2, pp. 221 – 230. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9467830>









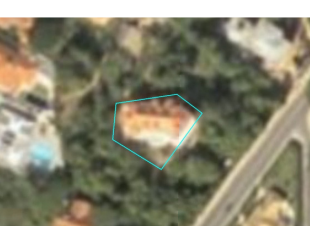

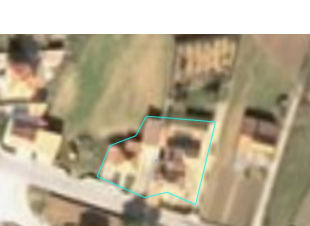
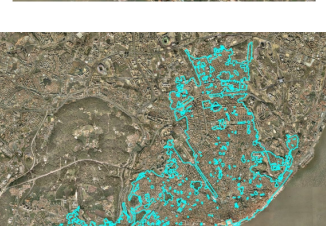
WOLPERT, David H. (2008) Comparing Complex Systems. *Science - E-letters Responses*, 3 de Julho de 2008. <http://www.sciencemag.org/cgi/eletters/320/5874/322#10903>

WOLPERT, David H.; **MACREADY**, William (2007) Using Self-dissimilarity to Quantify Complexity. *Complexity*, Volume 12, Nº 3, pp. 77 – 85.
<http://www3.interscience.wiley.com/cgi-bin/fulltext/114068032/PDFSTART>

ZIPF, George Kingsley (1947) The Hypothesis of the 'Minimum Equation' as a Unifying Social Principle: with Attempted Synthesis. *American Sociological Review*, Volume 12, Nº 6, pp. 627 – 650.
<http://links.jstor.org/sici?sici=0003-1224%28194712%2912%3A6%3C627%3ATHOT%60E%3E2.0.CO%3B2-G>

ANEXOS

Anexo I -Topologias de polígonos por dimensão de área

Área (m2)	Exemplo	Área (m2)	Exemplo
200		3000	
300		7000	
400		12.000	
500		25.000	
600		240.000	
1000		17.488.877	

Anexo II – Tipologia de mudança por classe de dimensão de polígonos, 1960/1990

Hierar.	Classe	1 (em 90)		2 (60 e 90)	
		Nº poli.	Área (m2)	Nº poli.	Área (m2)
19	100 - 780	5991	2.658.861,41	303	116.379,08
18	781 – 4.643	3995	7.781.350,78	139	224.124,38
17	4.644 – 15.601	873	6.883.202,90	12	78.986,17
16	15.602 – 35.269	167	3.830.865,89	5	116.080,32
15	35.270 – 66.896	58	2.746.505,40		
14	66.897 – 135.204	13	1.395.442,75		
13	135.205 – 251.153	2	278.799,62		
12	251.154 – 460.140	2	643.815,89		
11	460.141 – 793.167	1	495.372,10		
10	793.168 – 1.321.822				
9	1.321.823 – 2.700.261				
8	2.700.262 – 4.819.156				
7	4.819.157 – 5.546.632				
6	5.546.633 – 9.050.881				
5	14.006.770				
4	17.111.044				
3	17.488.878				
2	25.952.919				
1	27.531.360				
Total		11102	26.714.216,75	459	535.569,95

1 – Autódromo do Estoril (ano de construção. 1972)

Hierarq.	Classe	31 (em 60)		31 (em 90)	
		Nº poli.	Área (m2)	Nº poli.	Área (m2)
19	100 - 780	801	326.432,62	164	81.485,78
18	781 – 4.643	703	1.283.023,78	784	1.929.863,53
17	4.644 – 15.601	132	1.057.846,78	521	4.513.502,58
16	15.602 – 35.269	17	360.275,80	132	2.967.975,10
15	35.270 – 66.896	6	296.252,56	35	1.690.598,42
14	66.897 – 135.204	6	558.140,32	19	1.754.111,55
13	135.205 – 251.153	1	192.901,59	9	1.698.303,66
12	251.154 – 460.140			2	1.099.615,61
11	460.141 – 793.167				
10	793.168 – 1.321.822				
9	1.321.823 – 2.700.261				
8	2.700.262 – 4.819.156				
7	4.819.157 – 5.546.632				
6	5.546.633 – 9.050.881				
5	14.006.770				
4	17.111.044				
3	17.488.878				
2	25.952.919				
1	27.531.360				
Total		1666	4.074.873,43	1666	15.735456,23

1 – Aglomerado em Sintra perto de Colares

Hierarq.	Classe	32 (em 60)		32 (em 90)	
		Nº poli.	Área (m2)	Nº poli.	Área (m2)
19	100 - 780	734	330.586,74	0	0,00
18	781 – 4.643	1157	2.224.312,73	31	103.672,13
17	4.644 – 15.601	336	2.780.183,10	112	1.101.689,68
16	15.602 – 35.269	128	2.993.850,64	113	2.788.812,86
15	35.270 – 66.896	69	3.273.123,34	85	4.258.588,34
14	66.897 – 135.204	35	3.077.546,10	74	6.917.313,20
13	135.205 – 251.153	13	2.284.746,21	50	8.826.735,10
12	251.154 – 460.140	17	5.506.436,30	35	11.919.707,83
11	460.141 – 793.167	5	3.086.873,38	23	13.044.393,77
10	793.168 – 1.321.822	1	793.166,81	9	8.757.608,83
9	1.321.823 – 2.700.261	1	1.321.821,91	5	10.796.299,86
8	2.700.262 – 4.819.156			3	12.330.967,62
7	4.819.157 – 5.546.632				
6	5.546.633 – 9.050.881				
5	14.006.770			1	14.006.769,76
4	17.111.044				
3	17.488.878	1	17.488.877,73		
2	25.952.919			1	25.952.919,14
1	27.531.360				
Total		2497	45.161.525,00	542	120.805.478,15

1 – Aglomerado entre Belém e Algés, que em 90 pertence já à cidade de Lisboa; 1 – aglomerado do Estoril em 60, em 90 já corresponde a grande parte do concelho de Cascais; 1 – Cidade de Lisboa.

Anexo III – Tipologias de mudança por classe de dimensão de polígonos, 1990/2004

Hierarq.	Classe	1 (em 04)		2 (90 e 04)	
		Nº poli.	Área (m2)	Nº poli.	Área (m2)
19	100 - 780	524	223.153,56	5.393	2.360.649,66
18	781 – 4.643	641	1.177.166,58	3.365	6.535.249,52
17	4.644 – 15.601	152	1.349.793,78	604	4.622.739,40
16	15.602 – 35.269	67	1.456.611,68	53	1.157.210,17
15	35.270 – 66.896	11	492.956,85	8	350.912,32
14	66.897 – 135.204	9	857.222,63	6	513.384,19
13	135.205 – 251.153	1	173.882,55	3	506.263,19
12	251.154 – 460.140	1	257.105,68		
11	460.141 – 793.167				
10	793.168 – 1.321.822				
9	1.321.823 – 2.700.261				
8	2.700.262 – 4.819.156				
7	4.819.157 – 5.546.632				
6	5.546.633 – 9.050.881				
5	14.006.770				
4	17.111.044				
3	17.488.878				
2	25.952.919				
1	27.531.360				
	Total	1406	5.987.893,32	9432	16.046.408,45

Hierarq.	Classe	31 (em 90)		31 (em 04)	
		Nº poli.	Área (m2)	Nº poli.	Área (m2)
19	100 - 780	292	138.526,17	31	18.199,58
18	781 – 4.643	537	1.211.864,85	467	1.162.888,69
17	4.644 – 15.601	350	2.998.176,93	519	4.518.108,38
16	15.602 – 35.269	117	2.768.745,75	230	5.336.591,13
15	35.270 – 66.896	39	1.947.137,23	63	2.981.473,24
14	66.897 – 135.204	21	1.954.059,09	39	3.408.689,90
13	135.205 – 251.153	6	980.643,87	12	2.054.731,76
12	251.154 – 460.140	3	1.010.640,42	3	901.113,99
11	460.141 – 793.167	2	989.552,60	3	1.505.815,29
10	793.168 – 1.321.822				
9	1.321.823 – 2.700.261				
8	2.700.262 – 4.819.156				
7	4.819.157 – 5.546.632				
6	5.546.633 – 9.050.881				
5	14.006.770				
4	17.111.044				
3	17.488.878				
2	25.952.919				
1	27.531.360				
	Total	1367	13.999.346,91	1367	21.887.611,96

Hierarq.	Classe	32 (em 90)		32 (em 04)	
		Nº poli.	Área (m2)	Nº poli.	Área (m2)
19	100 - 780	773	357.550,44	0	0,00
18	781 – 4.643	1.047	2.291.896,45	14	46.396,49
17	4.644 – 15.601	564	4.956.465,01	107	1.051.643,04
16	15.602 – 35.269	247	5.777.778,25	153	3.686.796,26
15	35.270 – 66.896	131	6.397.642,62	100	4.977.338,86
14	66.897 – 135.204	79	7.599.424,22	104	9.961.764,50
13	135.205 – 251.153	52	9.316.931,33	52	9.746.071,21
12	251.154 – 460.140	34	11.552.883,30	29	9.274.484,47
11	460.141 – 793.167	24	13.649.828,88	30	18.578.447,63
10	793.168 – 1.321.822	9	8.757.608,83	16	16.814.413,30
9	1.321.823 – 2.700.261	5	10.796.299,86	12	23.525.383,76
8	2.700.262 – 4.819.156	3	12.330.967,62	5	16.953.883,89
7	4.819.157 – 5.546.632			2	10.834.417,29
6	5.546.633 – 9.050.881			3	23.347.248,37
5	14.006.770	1	14.006.769,76		
4	17.111.044			1	17.111.044,19
3	17.488.878				
2	25.952.919	1	25.952.919,14		
1	27.531.360			1	27.531.360,12
	Total	2970	133.744.965,72	629	193.440.693,39