

A importância da fragmentação das paisagens urbanas na Grande Área Metropolitana do Porto para a modelização das ilhas de calor urbano – uma abordagem metodológica

**Ana Monteiro¹,
Sara Velho²,
Joaquim Góis³**

RESUMO

A forma como as várias peças do puzzle urbano são distribuídas no espaço, o modo como se inscrevem no solo natural e a fluidez com que cada uma interage com todas as outras, é crucial para determinar o (in)sucesso da paisagem artificial criada. Este (in)sucesso traduz-se num inúmero conjunto de impactes positivos e/ou negativos no ecossistema em que se insere. A saúde e o bem estar dos seres humanos é um dos vários indícios possíveis para avaliar o (in)sucesso da performance de um espaço urbano plasmada, por exemplo, na modificação do contexto climático e da qualidade do ar atmosférico. Nesse sentido, todas as metodologias que permitam classificar com maior objetividade as diversas formas urbanas existentes numa determinada área são muito úteis para ajudar a entender estas relações de causa-efeito. Neste exercício, cooptamos a estratégia metodológica de Schwarz (2010) para classificar a diversidade de formas urbanas existentes na Grande Área Metropolitana do Porto (GAMP), onde são já reconhecidas as profundas modificações no clima local e regional impostas pelo processo de urbanização e os riscos para a saúde resultantes da amplificação dos efeitos negativos de alguns episódios térmicos extremos. Os resultados deste trabalho permitiram ajustar com maior objetividade a estimativa da forma e da magnitude das anomalias térmicas positivas sugeridas pela aplicação da fórmula de Oke (1973) na GAMP.

Palavras-chave

Forma urbana; Métricas de paisagem e da sócio-economia; Clima urbano; Paroxismos climáticos; Saúde; Análise de Componentes Principais; Análise de Clusters; Grande Área Metropolitana do Porto.

ABSTRACT

The way the countless pieces of the urban puzzle are distributed in space and how they are carved on natural soil as well as the fluidity, with which each piece interacts with all the others, is crucial to determine the (un)succes of these artificial landscapes. This success may be seen in a countless number of

¹ Professora Catedrática do Departamento de Geografia da FLUP, ISPUP (Instituto Saúde Pública da Universidade do Porto), CITTA, CEGOT, Projecto FCT PTDC/SAU-ESA/73016/2006
anamt@letras.up.pt

² ISPUP (Instituto Saúde Pública da Universidade do Porto), Projecto FCT PTDC/SAU-ESA/73016/2006.
svelho@letras.up.pt

³ CIGAR, ISPUP (Instituto Saúde Pública da Universidade do Porto), Projecto FCT PTDC/SAU-ESA/73016/2006. jgois@letras.up.pt

positive impacts and / or negative impacts on the ecosystem in which it operates. The human health and wellbeing is one of many possible signs for assessing the performance of an urban form, for example, in modifying the climatic context and the quality of atmospheric air. In this sense, all methodologies that give more objectivity to urban forms classification are very useful to help the understanding these cause-effect relationships. In this exercise, was used the methodological strategy of Schwarz (2010), to classify the variety of urban forms in the Porto's Greater Metropolitan Area (GAMP), which is already known, created profound changes in local and regional climate and generated a severe increase in the risks to human health due to the amplification of the negative effects of some episodes thermal extremes. The results of this exercise allowed us to adjust in a more objective way the shape and magnitude of positive thermal anomalies suggested by the formula of Oke (1973) application to the GAMP.

Keywords

Urban form; Landscape and socio-economics' metrics; Urban climate; Climate paroxysms; Health; Principal Component Analysis; Cluster Analysis; Porto's Metropolitan Area.

1. Introdução

Um dos maiores desafios atuais da humanidade é conseguir transformar os espaços urbanos em lugares resilientes aos riscos climáticos que podem gerar agravamento de doenças ou levar mesmo à morte dos seres humanos. A vulnerabilidade aos episódios extraordinários de calor ou frio extremo em espaços urbanizados tem aumentado a uma velocidade muito superior à da ocorrência destes episódios paroxismáticos como se demonstrou na investigação desenvolvida no projeto *Riscos para a saúde pública causados pelas ondas de calor e vagas de frio na Grande Área Metropolitana do Porto* (Monteiro et al., 2011, Monteiro et al., 2012 a, b, c, d, e, f e g).

Como as *paisagens urbanizadas* continuarão a ser as preferidas de cada vez mais pessoas nas próximas décadas (Figura 1 e 2), e, na Grande Área Metropolitana do Porto (GAMP), ocupam já uma extensa porção do território (Figura 3 a 5), é necessário procurar compreender o modo como este tipo de reconstrução da paisagem pode propiciar um aumento da vulnerabilidade dos seres humanos amplificando, por exemplo, os impactes negativos na saúde dos seres humanos durante episódios excepcionais de calor ou de frio (Monteiro et al., 2011a, Monteiro e Madureira, 2012).

A GAMP foi a área selecionada para este exercício porque tem uma área de 1885 km² e uma população de 1647469 habitantes (INE, 2001), com uma densidade populacional de 873,9 hab./km² distribuídos espacialmente de forma muito diversa e que de acordo com o *Plano de Ação do Plano Estratégico de Ambiente do Grande Porto* (AMP, 2008), tem um processo de urbanização que “cresce a um ritmo muito rápido, com pressões elevadas sobre áreas sensíveis, a rede viária e de transportes públicos tem aumentado de forma significativa, não só respondendo ao aumento da procura, mas atuando igualmente como indutor fundamental dos processos de urbanização, tendo aumentado também os novos edifícios”.

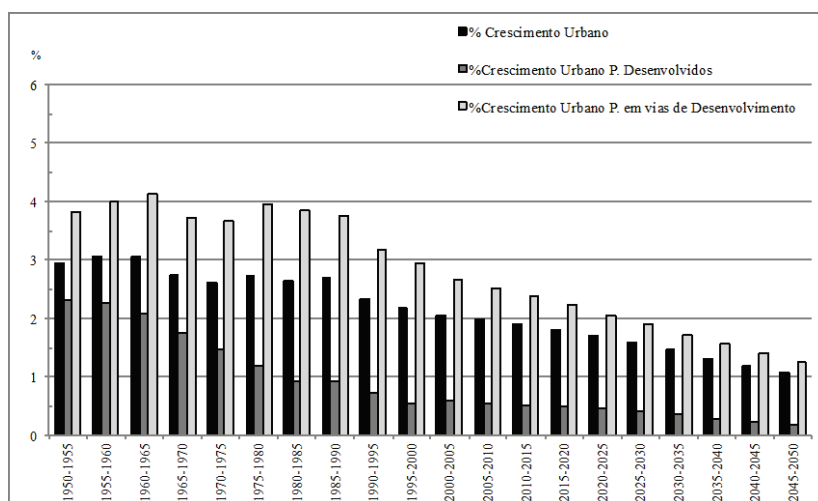


Figura 1 – Projeções do crescimento urbano mundial, nos países desenvolvidos e em vias de desenvolvimento (World Bank, 2009) .

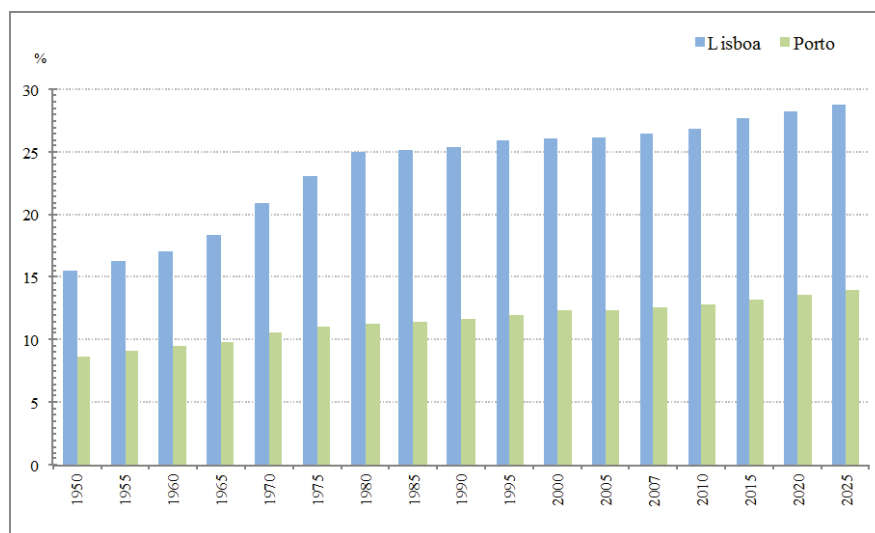


Figura 2 – Projeções da percentagem da população residente em áreas urbanas que em 2007 tinham uma população superior a 750000 habitantes no Porto e em Lisboa (World Bank, 2009).

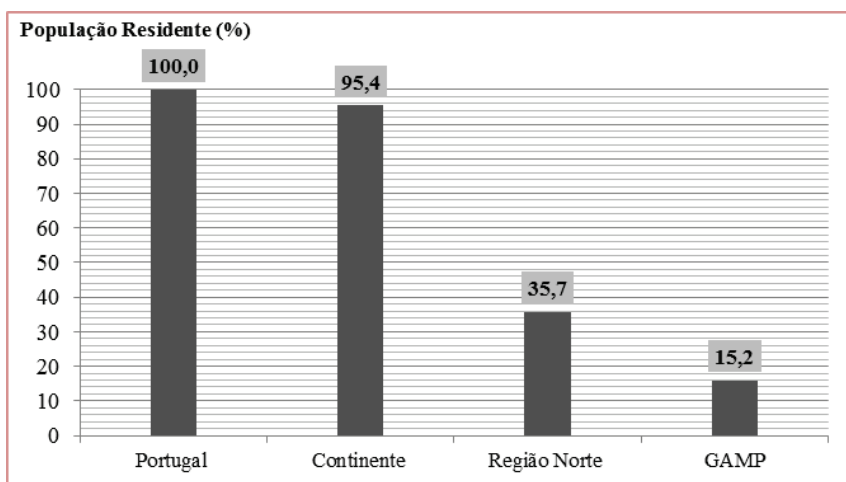


Figura 3 - População residente em Portugal, na Região Norte e na GAMP (INE, 2001).

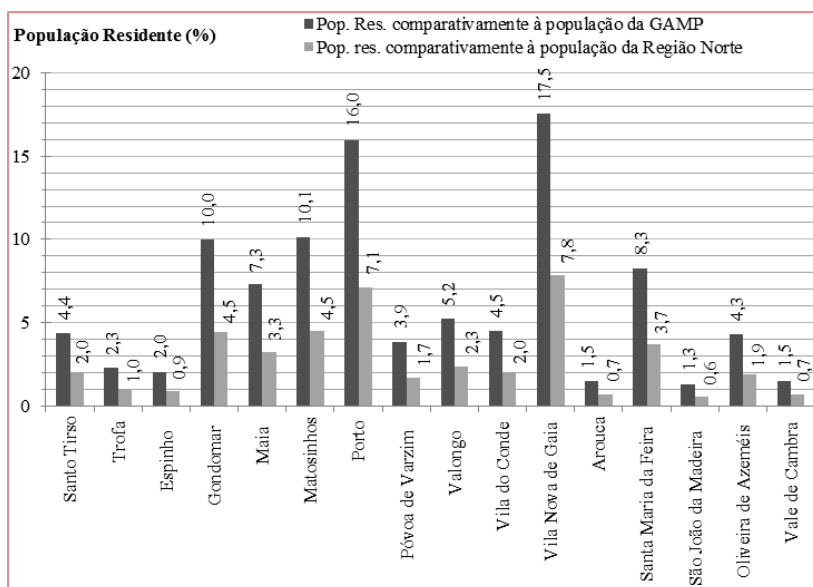


Figura 4 – População residente na GAMP por concelho (INE, 2001).

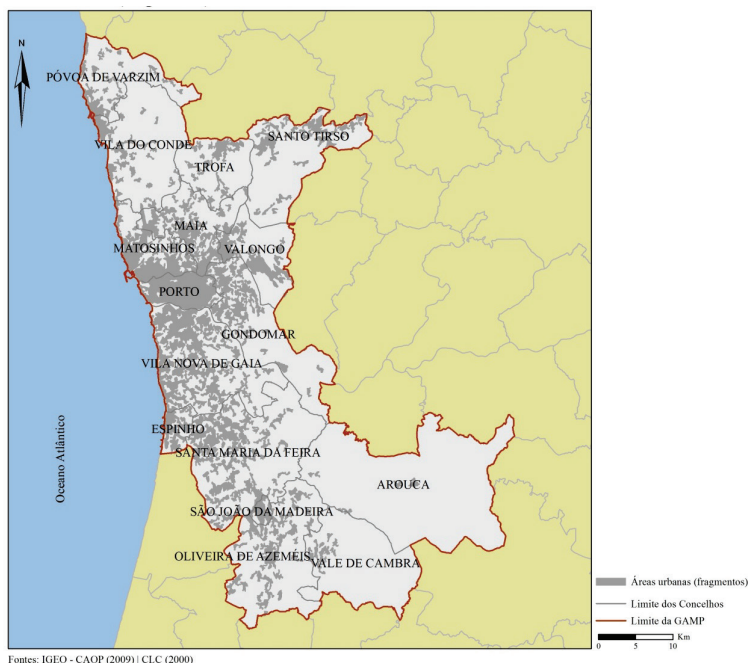


Figura 5 – Área urbanizada na GAMP (Decreto -Lei 46/2008 de 27 de Agosto).

A observação do comportamento da temperatura na GAMP ao longo do último século (Figura 6), e a frequência de ocorrência de episódios excepcionais de calor ou frio extremos, ilustram a pertinência desta preocupação (Figura 7 e 8).

A irregularidade térmica tem sido a norma embora pareça possível identificar, neste intervalo temporal secular, uma ligeira tendência de aumento da temperatura (Figura 6). Não é contudo possível avaliar o peso relativo do contributo dos factores internos e externos ao *sistema climático* para este resultado final. Persistem inúmeras dúvidas sobre se a realidade térmica vivenciada à escala local é muito mais uma consequência do impacto de manifestações de mudança climática globais ou se é sobretudo o resultado do cerco urbano que foi acontecendo à volta das estações climatológicas como aconteceu por exemplo no Porto-Serra do Pilar entre 1900 e 2007 (Monteiro, 1993, 1997, 2000, 2009, 2010).

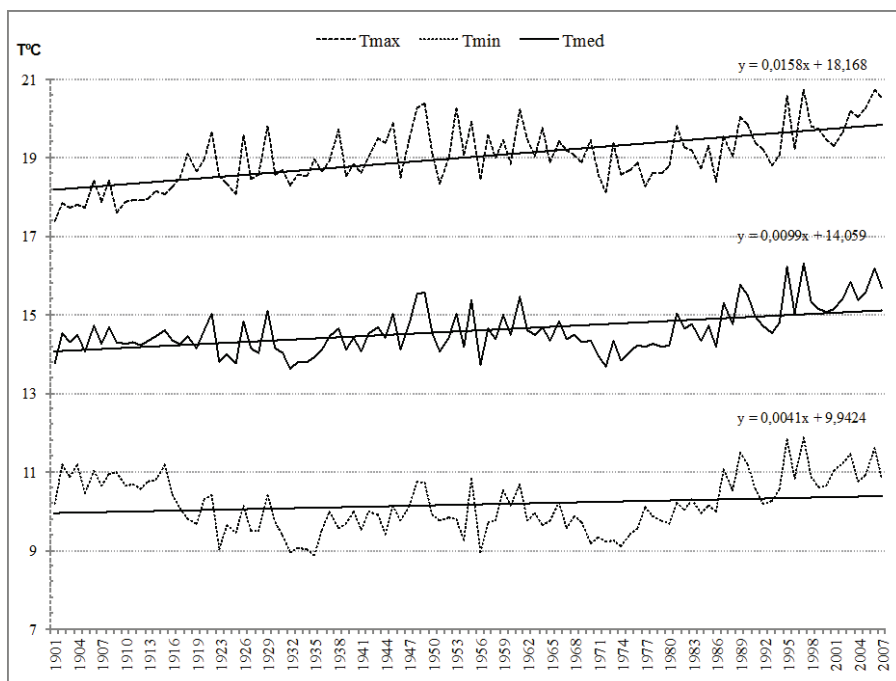


Figura 6- Temperatura média, mínima e máxima no Porto-Serra do Pilar entre 1900 e 2007 (Monteiro et al, 2012a)

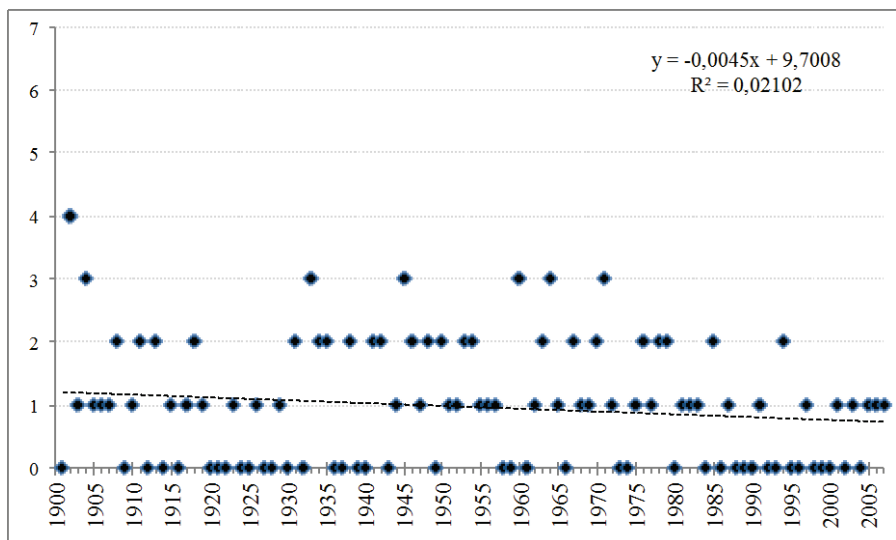


Figura 7 - Tendência secular de eventos climáticos extremos de frio na GAMP segundo o critério de Díaz (Monteiro et al, 2012a).

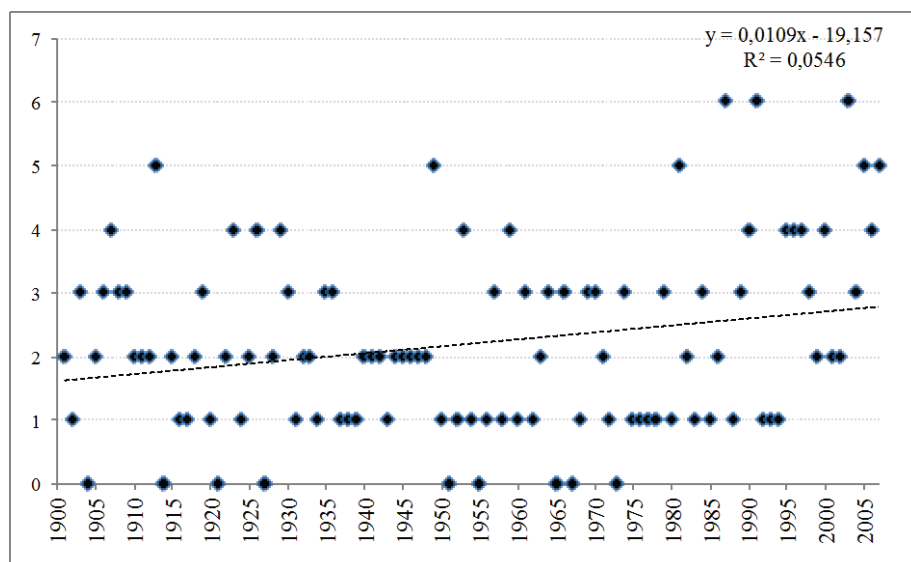


Figura 8 - Tendência secular de eventos climáticos extremos de calor na GAMP segundo o critério de Díaz (Monteiro et al., 2012 a).

Todavia, ainda que não seja possível avaliar a importância relativa de cada um dos factores em jogo nos processos de resolução do *sistema climático* à escala local e regional, não restam dúvidas sobre o efeito da artificialização intensiva do espaço em áreas urbanizadas na equação do balanço energético, definida por exemplo por Douglas (1983) como $Q_s + Q_f + Q_i = Q_l + Q_g + Q_e$ ⁴. E, de acordo com esta formulação simples é fácil acreditar que a reconstrução urbana da paisagem favorece a existência de um leque mais diversificado de entradas de energia ao mesmo tempo que bloqueia algumas das possíveis vias de saída da mesma, criando condições para se tornar, no seu todo, ou em parte, naquilo que vulgarmente se tem designado por "ilha(s) de calor".

A opção por desenhos urbanos pouco atentos ao contexto climático associada a um *modus vivendi* que incrementa o Q_f e diminui o Q_s , o Q_l e o Q_s para além de propiciar um grande distanciamento entre os seres humanos e todas as outras componentes do ecossistema nomeadamente o clima, facilita a surpresa, aumenta a vulnerabilidade ao risco e impede a percepção de algumas relações de causa-efeito, que apesar do seu cariz caótico, o *sistema climático*, à escala local e regional ainda permite observar.

⁴ A equação do balanço energético procura contemplar as diversas proveniências de energia que alimentam qualquer *subsistema climático* e os diferentes modos de perda de energia. Assim, o Q_s é a energia radiante recebida do sol, o Q_f é a energia gerada por combustão, metabolismo e energia dissipada nos processos industriais e outras atividades antrópicas, o Q_i é o calor emitido pelo interior da terra, o Q_l é a perda de calor por evaporação, o Q_g é a perda de calor por condução no solo, nos edifícios e nas ruas e o Q_e é a perda de calor por irradiação. Sempre que as entradas e saídas se igualam, a temperatura do subsistema climático não manifestará alteração.

O modo como a entrada e saída de energia é impedida ou facilitada nos *subsistemas climáticos* urbanos depende das volumetrias do edificado, do *canopy layer*, dos materiais de revestimento dos edifícios, da distribuição do coberto verde herbáceo, arbustivo e arbóreo, da combinação entre solo permeável e impermeável, da quantidade, do tipo e da velocidade do tráfego em circulação, etc.

Por isso, sabendo que o *sistema climático* continuará a reagir impulsivamente como é habitual e que o *sítio* e a *posição* geográfica da GAMP continuarão a criar condições para uma constante variação nos estados de tempo, que pode traduzir-se por uma ocorrência frequente de episódios excepcionalmente quentes ou frios (Figura 7 e 8), é urgente encontrar outras formas de prevenção e/ou adaptação dos seres humanos a estas paisagens tão artificializadas. E, para tal é necessário conhecer o modo como cada uma destas paisagens artificializadas modifica a temperatura, a humidade relativa, a evaporação, o vento, etc.

A GAMP tem uma paisagem urbanizada com características muito diversas (Figura 5), e é importante entender o modo como em cada caso o solo foi artificializado e o espaço natural modificado, para avaliar os impactos diferenciados que cada um deles gera no balanço energético e consequentemente nos mosaicos climáticos locais e regionais gerados. A modificação do contexto climático tem reflexos diretos no bem estar e saúde dos seres humanos mas também em todas as outras componentes da paisagem.

O objectivo deste contributo é tão somente procurar encontrar uma métrica que permita classificar e comparar cada uma destas diversas formas urbanas existentes na GAMP. Classificando-as passaremos a poder, neste caso, perceber melhor a diferenciação climática regional e local e, consequentemente, os efeitos potenciais no agravamento de algumas doenças dos seres humanos durante episódios climáticos extremos. Recorde-se porém que esta métrica pode também revelar-se de grande utilidade para ajudar a explicar também algumas *nuances* paisagísticas locais e regionais resultantes das modificações da temperatura, da humidade, da precipitação, do vento, etc.

2. O estado da arte e a opção metodológica por Schwarz (2010)

Sendo a forma urbana o resultado do modo como foram sendo inscritas no suporte biogeofísico as ruas, os loteamentos, os edifícios, etc., e do jeito como estes diversos elementos urbanos interagem com os elementos naturais pré-existent – os cursos de água, os espaços verdes, os solos, o ar, etc. – procurou-se dentre os vários trabalhos já realizados neste domínio testar apenas uma das metodologias de abordagem.

Dentre os vários exercícios realizados para encontrar algumas métricas adequadas para classificar e comparar formas urbanas, podem destacar-se a título meramente exemplificativo, Batty e Longley (1994), Marina Alberti (1999), Wu et al. (2000), Herold et al. (2002), Seto and Fragkias (2005), Tsai (2005), Kasanko et al. (2006), Huang et al. (2007), Weng (2007), Guerois e Pumain (2008) ou Schwarz (2010).

Batty e Longley (1994), utilizaram o sítio, a topografia, a economia e as políticas de planeamento passadas como indicadores fundamentais das diferentes formas urbanas. Marina Alberti (1999), utilizou a caracterização de 4 variáveis para descrever a forma urbana - densidade, estrutura, conectividade e qualidade ambiental – e procurou comparar diversas formas urbanas a diversas escalas espaciais, quantificando o modo como a evolução das construções urbanas podem interferir mas também serem afectadas pelo sistema ecológico, social, económico, institucional e ambiental existente, o que provoca impactes no desempenho tanto da própria cidade como do ecossistema urbano. Wu et al. (2000), quantificou os padrões espaciais da paisagem e as suas alterações ao longo do tempo para compreender como as dinâmicas e os processos urbanos justificam a existência de tantas paisagens heterogêneas. Herold et al. (2002) e Huang et al. (2007), utilizaram apenas os usos do solo como critério para definir as diferentes formas urbanas. Seto and Fragkias (2005) compararam 4 cidades chinesas e mostraram como o tamanho, o tamanho, as taxas de crescimento, e o suporte natural, independentemente do regime político, ajudam a compreender a forma urbana. Tsai (2005), avaliou e utilizou o tamanho da cidade como o principal indicador da forma urbana. Kasanko et al. (2006), procurou para 15 cidades europeias caracterizar o modo como se deu a sua expansão - compacta ou dispersa – e avaliou a relação existente entre a evolução do uso do solo e a densidade da população tendo chegado à conclusão que tal podia ser obtido à custa de 5 conjuntos de indicadores fundamentais que as classificavam segundo as áreas construídas, as áreas residenciais, o solo usado pela expansão urbana, a densidade da população e a densidade urbana. Jingnan Huang et al. (2007) fez também um exercício de análise comparativa de métrica da paisagem em 77 áreas metropolitanas utilizando 7 indicadores que envolveram o recurso à informação fornecida pela detecção remota. Guerois e Pumain (2008), estabeleceram um gradiente centro-periferia de algumas cidades europeias a partir da caracterização da densidade das áreas construídas e do tipo de processo evolutivo. Finalmente Nina Schwarz (2010), elaborou uma lista de indicadores que permitiu comparar 231 cidades europeias entre as quais Porto e Lisboa, subdividindo a avaliação em 2 grupos de indicadores: i) indicadores da métrica da paisagem; ii) indicadores do estado socioeconómico. Ao analisar e avaliar a fragmentação de cada uma das 231 áreas urbanas ilustrou as inúmeras vantagens deste procedimento para a definição de estratégias de desenvolvimento. Foi precisamente este procedimento metodológico que procuramos experimentar para realizar um teste de *downscaling* metodológico aplicado à GAMP (Quadro 2).

Schwarz (2010)	Este exercício metodológico
Europa	GAMP (2007, Decreto -Lei 46/2008 de 27 de Agosto)
231 cidades(incluindo Porto e Lisboa)	16 concelhos
Áreas urbanas com mais de 50000 habitantes	Concelhos e freguesias da GAMP
Fragmentos urbanos (<i>Corine Land Cover</i> , 2000)	Fragmentos urbanos <i>Corine Land Cover</i> , 2000)
Indicadores Sócio-económicos (<i>Urban Audit</i> 2003, 2004)	Indicadores Sócio-económicos (INE,2001)
Análise Espacial (<i>Corine Land Cover</i> , 2000)	Análise Espacial (<i>Corine Land Cover</i> , 2000)

Quadro 1- Comparação da informação utilizada nos dois exercícios.

3. Métodos

Uma vez que o propósito deste exercício é a replicação da metodologia de Schwarz (2010) à escala metropolitana, na primeira etapa selecionaram-se todos os indicadores da métrica da paisagem e do perfil sócio-económico (Figura 9). Seguidamente, recolheram-se os dados disponíveis para os 16 concelhos da GAMP. Posteriormente, calcularam-se, utilizando as mesmas fórmulas de cálculo, cada um dos indicadores. Depois, procurou-se reduzir o número de indicadores e para esse efeito foram aplicados dois procedimentos: a Correlação não linear de Spearman e a Análise de Componentes Principais. Finalmente, recorrendo à Análise de Clusters e à Análise de Variância procurou-se encontrar as semelhanças e as diferenças nas formas urbanas da GAMP (Figura 9).

Foram selecionados 32 indicadores da métrica da paisagem e 10 indicadores do perfil sócio-económico da GAMP (Figura 10 e 11). Alguns dos indicadores correspondem aos valores recolhidos nas fontes da informação mas outros implicam a combinação de informação (Figura 12).

A definição dos indicadores de forma urbana para a GAMP resultou: i) interpretação e adaptação dos indicadores utilizados por Schwarz (2010) e da revisão bibliográfica realizada; ii) disponibilidade dos dados de informação geoespacial disponibilizada pela *Agência do Ambiente (Corine Land Cover 2000)*, pelo *Instituto Geográfico Português (CAOP, 2001)* e pelo *Instituto Nacional de Estatística (INE, 2001)*; iii) ferramentas existentes em ambiente ArcGIS 10.1.

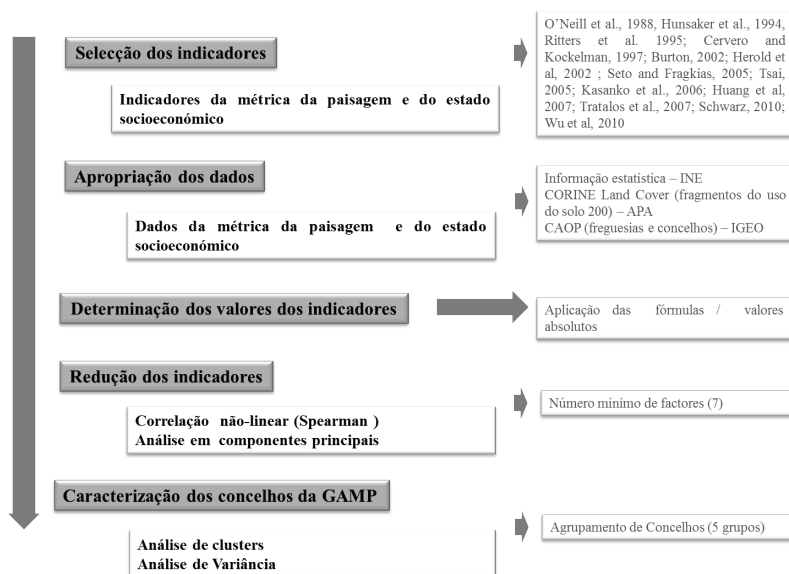


Figura 9- Organograma metodológico.

Schwarz (2010) coligiu 30 indicadores de métrica da paisagem e 19 indicadores do perfil sócio-económico embora só tenha aplicado, às 231 cidades europeias estudadas, apenas 43 indicadores. No caso da GAMP só foi possível utilizar 35 dos 43 indicadores utilizados por Schwarz (2010), mas acrescentaram-se 7 indicadores novos relativos às características da área residencial, da área não urbana, do perímetro total, do número de freguesias, da porosidade e da densidade do edificado (Figura10 a 13).

O cálculo dos indicadores que em Scharwz (2010) foi realizado com o software *FRAGSTATS*, neste caso foi efectuado com a criação de uma folha de cálculo em *Excel* onde foram aplicadas à base de dados da GAMP todas as fórmulas matemáticas utilizadas pelo software *FRAGSTATS* (Figura 14).

Com alguns destes indicadores é possível por exemplo representar espacialmente a (ir)regularidade das diversas formas urbanas a partir da área média ponderada dos fragmentos, a compacidade ou a heterogeneidade das formas urbanas e ainda a dissimilaridade de Gini das formas urbanas.

Após esta etapa procedeu-se a uma simplificação do número de indicadores procurando eliminar todos aqueles que eram redundantes utilizando, como Schwarz (2010), a correlação não linear de Spearman (ρ) e a análise multivariada – análise de componentes principais.

Áreas urbanas

Dados da métrica da paisagem	
CAOP – Limite da área de estudo (2001)	
Grande área metropolitana do Porto - GAMP	
CAOP - Limites administrativos	
Concelhos	
Freguesias	
CORINE LAND COVER 2000	Categoria do uso do solo
Tecido urbano contínuo	111 (área urbana impermeável densa)
Tecido urbano descontínuo	112 (área urbana impermeável menos densa)
Indústria, comércio e equipamentos gerais	121
Redes viárias e ferroviárias e espaços associados	122
Áreas portuárias	123
Aeroportos e aeródromos	124
Áreas de deposição de resíduos	132
Áreas em construção	133
Equipamentos desportivos, culturais e de lazer e zonas históricas	142
Restantes categorias de uso do solo	131, 141, 211, 212, 231, 241, 242, 243, 311, 312, 313, 321, 322, 324, 331, 332, 333, 334, 511, 521, 522, 523

Dados socioeconómicos
Instituto Nacional de Estatística 2001
Número de edifícios construídos
Número da população residente
Densidade da população residente
Número de famílias
População residente com ensino secundário completo

Figura 10 – Indicadores selecionados para a GAMP.

Grupo inicial de indicadores da métrica da paisagem (32) selecionado	
AT	Área total
AC	Áreas urbanas contínuas
AD	Áreas urbanas descontínuas
AU	Área urbana
AR*	Área residencial
ANU*	Área não urbana
LU	Limite urbano
PT*	Perímetro total
APFU	Índice da área média ponderada dos fragmentos de área urbana
AFU	Índice da área média dos fragmentos de área urbana
DFAP	Dimensão fractal da área média ponderada
DFA	Dimensão fractal da área média dos fragmentos
Ice	Índice de Centralidade
IC	Índice de compacidade
ICFL	Índice de compacidade do fragmento de maior amplitude (largura)
CoRe	Peso da área residencial contínua na área residencial total

Grupo inicial de indicadores da métrica da paisagem (32) selecionado	
CoUr	Peso da área residencial contínua na área urbana
UrAT	Peso da área urbana na área total do concelho
DL	Densidade dos limites
NF	Número de fragmentos urbanos no concelho
MTFU	Mediana do tamanho dos fragmentos urbanos
MRPA	Média da razão perímetro-área urbana
MFL	Média dos limites dos fragmentos urbanos
MFT	Tamanho médio dos fragmentos urbanos
NFr	Número de freguesias
DPTF	Desvio padrão do tamanho dos fragmentos
CVF	Coefficiente de variância dos fragmentos urbanos
Pr1	Porosidade
Pr2*	Porosidade2
TEd*	Total de Edifícios
DC1	Densidade de construção
DC2*	Densidade de construção2

Grupo inicial de indicadores do estado socioeconómico (10) selecionado	
Diss-G	Índice de dissimilaridade
Alo (dwell)	Alojamento
Fam (hh)	Famílias
DFam (hh/area)	Densidade de famílias
DFAU (hh/urban)	Densidade de famílias na área urbana
Pop	População residente
DPop (pop dens)	Densidade da população
DPAU (pop dens urban)	Densidade de população na área urbana
AUca (urban/capita)	Área urbana per capita
Edu (prop high education)	Proporção de população com maior nível de educação

Figura 11- Indicadores da métrica da paisagem e do perfil sócio-económico adaptados de Schwarz (2010) e da revisão bibliográfica.

Grupo inicial de indicadores da métrica da paisagem (32) seleccionado		Grupo inicial de indicadores da métrica da paisagem (32) seleccionado		Grupo inicial de indicadores do estado socioeconómico (10) seleccionado	
AT	Área total	CoUr	Peso da área residencial continua na área urbana	Diss-G	Índice de dissimilaridade
AC	Áreas urbanas contínuas	UrAT	Peso da área urbana na área total do concelho	Alo (dwell)	Alojamento
AD	Áreas urbanas descontinuas	DL	Densidade dos limites	Fam (hh)	Famílias
AU	Área urbana	NF	Número de fragmentos urbanos no concelho	DFam (hh/area)	Densidade de famílias
AR*	Área residencial	MTFU	Mediana do tamanho dos fragmentos urbanos	DFAU (hh/urban)	Densidade de famílias na área urbana
ANU*	Área não urbana	MRPA	Média da razão perimetro-área urbana	Pop	População residente
LU	Limite urbano	MFL	Média dos limites dos fragmentos urbanos	DPop (pop dens)	Densidade da população
PT*	Perímetro total	MFT	Tamanho médio dos fragmentos urbanos	DPAU (pop dens urban)	Densidade de população na área urbana
APFU	Índice da área média ponderada dos fragmentos de área urbana	NFr	Número de freguesias	AUCa (urban/capita)	Área urbana per capita
AFU	Índice da área média dos fragmentos de área urbana	DPTF	Desvio padrão do tamanho dos fragmentos	Edu (prop high education)	Proporção de população com maior nível de educação
DFAP	Dimensão fractal da área média ponderada	CVF	Coefficiente de variância dos fragmentos urbanos		
DFA	Dimensão fractal da área média dos fragmentos	Pr1	Porosidade		
Ice	Índice de Centralidade	Pr2*	Porosidade2		
IC	Índice de compacidade	TEd*	Total de Edifícios		
ICFL	Índice de compacidade do fragmento de maior amplitude (largura)	DC1	Densidade de construção		
CoRe	Peso da área residencial continua na área residencial total	DC2*	Densidade de construção2		

Figura 12- Indicadores cujo resultado é obtido diretamente das fontes (a cinzento mais escuro) e indicadores obtidos após a aplicação de procedimentos matemáticos ou estimados (a cinzento mais claro).

Grupo inicial de indicadores da métrica da paisagem (32) seleccionado		Grupo inicial de indicadores da métrica da paisagem (32) seleccionado		Grupo inicial de indicadores do estado socioeconómico (10) seleccionado	
AT	Área total	CoUr	Peso da área residencial continua na área urbana	Diss-G	Índice de dissimilaridade
AC	Áreas urbanas contínuas	UrAT	Peso da área urbana na área total do concelho	Alo (dwell)	Alojamento
AD	Áreas urbanas descontinuas	DL	Densidade dos limites	Fam (hh)	Famílias
AU	Área urbana	NF	Número de fragmentos urbanos no concelho	DFam (hh/area)	Densidade de famílias
AR*	Área residencial	MTFU	Mediana do tamanho dos fragmentos urbanos	DFAU (hh/urban)	Densidade de famílias na área urbana
ANU*	Área não urbana	MRPA	Média da razão perimetro-área urbana	Pop	População residente
LU	Limite urbano	MFL	Média dos limites dos fragmentos urbanos	DPop (pop dens)	Densidade da população
PT*	Perímetro total	MFT	Tamanho médio dos fragmentos urbanos	DPAU (pop dens urban)	Densidade de população na área urbana
APFU	Índice da área média ponderada dos fragmentos de área urbana	NFr	Número de freguesias	AUCa (urban/capita)	Área urbana per capita
AFU	Índice da área média dos fragmentos de área urbana	DPTF	Desvio padrão do tamanho dos fragmentos	Edu (prop high education)	Proporção de população com maior nível de educação
DFAP	Dimensão fractal da área média ponderada	CVF	Coefficiente de variância dos fragmentos urbanos		
DFA	Dimensão fractal da área média dos fragmentos	Pr1	Porosidade		
Ice	Índice de Centralidade	Pr2*	Porosidade2		
IC	Índice de compacidade	TEd*	Total de Edifícios		
ICFL	Índice de compacidade do fragmento de maior amplitude (largura)	DC1	Densidade de construção		
CoRe	Peso da área residencial continua na área residencial total	DC2*	Densidade de construção2		

Figura 13- Indicadores cujo resultado é obtido a aplicação de procedimentos matemáticos (a cinzento mais escuro).

Índice da área média ponderada dos fragmentos da área urbana	$APFU = \sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{p_i}{2\sqrt{\pi} \cdot a_i} \right) \left(\frac{a_i}{\sum_{i=1}^n a_i} \right) \right]$	APFU ≥ 1
Dimensão fractal da área média ponderada dos fragmentos	$DFAP = \sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{2 \ln p_i}{\ln a_i} \right) \left(\frac{a_i}{\sum_{i=1}^n a_i} \right) \right]$	AFU ≥ 1
Índice de centralidade	$ICe = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{D_i}{NF-1} \right)}{\sqrt{a/\pi}}$	Sem limite.
Índice de compacidade da forma	$IC = \frac{\sum_i 2\pi\sqrt{a_i}/\pi/P_i}{NF^2}$	Sem limite.
Índice de compacidade do fragmento de área urbana de maior amplitude (largura)	$ICFL = \frac{2\pi\sqrt{a}/\pi}{p}$	Sem limite.
Índice de dissimilaridade de Gini	$G = 1 - \sum_{K=1}^{K=n-1} (a_{k+1} - a_k) (Pop_{k+1} + P_{c0} > G < 1)$	
Proporção e população com maior nível de educação	$EDU = \sum_{N=1}^{N=6} \left(\frac{N_k}{Pop_k} z \right)$	Sem limite.

Figura 14 – Exemplos das fórmulas de cálculo de alguns dos indicadores seleccionados.

A correlação entre indicadores permitiu reduzir o número de indicadores depois de identificar as semelhanças de comportamento entre algumas das variáveis. Este procedimento foi executado em 3 etapas: i) primeiro, os indicadores da métrica da paisagem entre si; ii) depois, os indicadores socioeconómicos entre si; iii) finalmente, os indicadores da métrica da paisagem com os indicadores socioeconómicos resultantes das duas primeiras etapas.

Utilizou-se a correlação não linear de Spearman (ρ), uma vez que verificamos que as variáveis não tinham uma distribuição normal.

Posteriormente, submeteram-se os indicadores obtidos após a aplicação da correlação não linear de Spearman (ρ) a uma análise de componentes principais (ACP) para procurar simplificar ainda mais o número de variáveis explicativas das formas urbanas na GAMP, garantindo uma parte substantiva da informação inicial (93%).

Depois desta simplificação pela ACP, cujos procedimentos matemáticos podem ser recordados em Monteiro (1988), o número de variáveis explicativas das formas urbanas na GAMP passou de 42 indicadores para 5 componentes.

As formas urbanas da GAMP caracterizadas com base no valor de cada uma destas 5 novas variáveis – as componentes principais obtidas – permitiu procurar agrupar, por afinidade de características, cada um dos concelhos, utilizando a análise de *clusters* e posteriormente, a análise unidirecional de variância.

A análise de *clusters* foi realizada pelo método hierárquico de aglomeração de Ward que sugeriu como solução 5 agrupamentos afins entre os 16 concelhos da GAMP.

Os concelhos agrupados em cada um dos 5 *clusters* foram de seguida submetidos a uma análise unidirecional de variância usando o indicador mínimo definido como variável dependente e os *clusters* como parâmetros de grupo.

Seguidamente, representou-se graficamente a distribuição dos *clusters* na área da GAMP e analisou-se cada uma das tipologias de paisagem urbana encontradas procurando, na medida do possível, catalogá-las.

Finalmente, tendo em conta as tipologias de forma urbana encontradas e recuperando a informação sobre as características dos fragmentos urbanos, aplicou-se a estimativa das anomalias térmicas utilizando a fórmula de Oke (1973), que para as zonas temperadas é $(2.01 \times \log.\text{pop.}) - 4.06$ e delimitou-se, ajustando por estimativa, a magnitude e a forma das anomalias térmicas positivas na GAMP.

3. Resultados

A inserção em Sistema de Informação Geográfica (SIG) da cartografia disponível no *Corine Land Cover* 2000 e a adaptação realizada com o recurso a imagens de satélite, fotografia aérea e imagens do Landsat 7-banda termal da GAMP, permitiu estimar as áreas urbanas de cada concelho e o número de fragmentos urbanos existentes (Figura 15 e 16 e Quadro 2).

Concelho		População residente (n.º)	Área do concelho (Km²)	Área urbana do concelho (Km²)	Número de fragmentos de área urbana (n.º)
STo	Santo Tirso	72396	136,51	21,34	22
Tro	Trofa	37581	71,88	12,68	12
Esp	Espinho	33701	21,11	10,08	3
Gon	Gondomar	164096	131,88	28,09	12
Mai	Maia	120111	83,14	22,99	13
Mat	Matosinhos	167026	62,25	34,88	7
Por	Porto	263131	41,29	34,54	1
PoV	Póvoa de Varzim	63470	82,06	13,47	17
Val	Valongo	86005	75,13	20,49	8
ViC	Vila do Conde	74391	148,98	17,12	24
VNG	Vila Nova de Gaia	288749	168,67	69,42	16
Aro	Arouca	24227	329,16	2,52	5
SMF	Santa Maria da Feira	135964	215,13	54,86	25
Oli	Oliveira de Azeméis	70721	163,53	28,15	22
SJM	S. João da Madeira	21102	7,94	5,08	1
VCa	Vale de Cambra	24798	146,52	5,21	6
GAMP		1647469	1885,18	381,92	194

Valores mais elevados

Valores mais baixos

Quadro 2 – Resultados da informação alfanumérica e dos resultados obtidos com a ferramenta ArcGIS10.1.

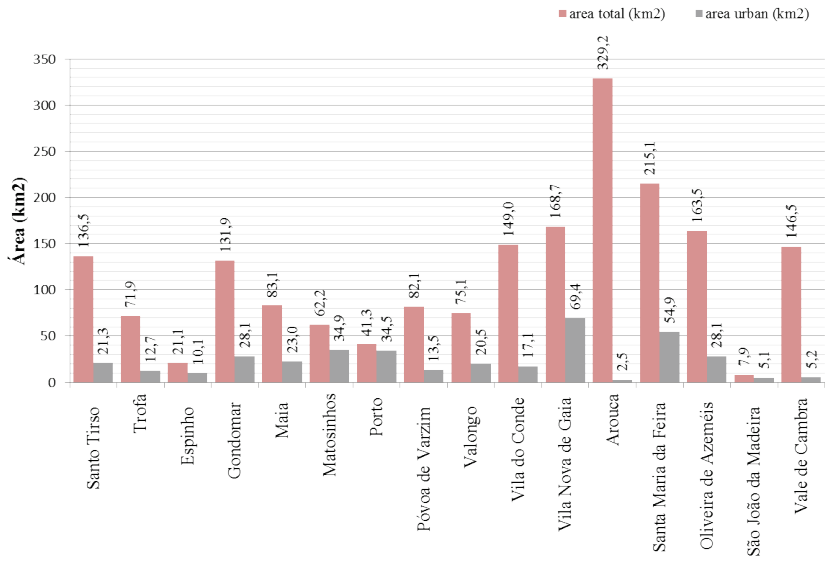


Figura - 15 – Peso da área urbana na área total do concelho.

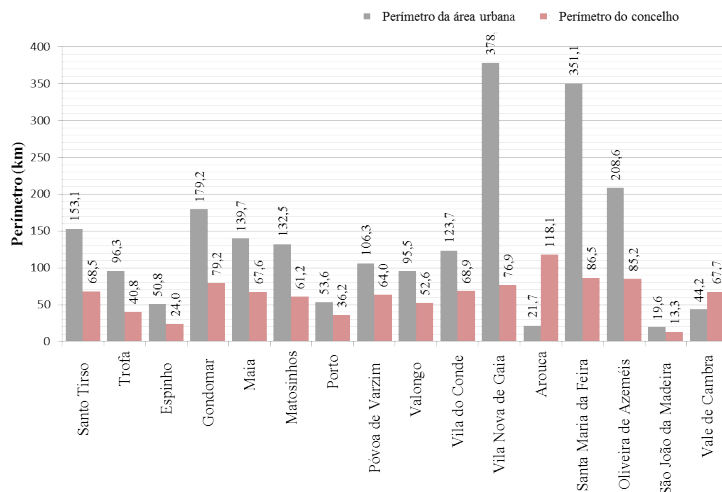


Figura 16 - Peso relativo do perímetro da área urbana no perímetro total do concelho.

Com os procedimentos estatísticos iniciais de cálculo das medidas de tendência central e de dispersão foi obtida a primeira descrição do comportamento de cada um dos indicadores na GAMP (Quadro 3).

Variáveis	Min	Max	Média	Mediana	Desvio Padrão
AC	0,00	19,64	2,45	1,16	4,81
AD	2,19	58,00	18,63	15,04	15,45
AT	7,94	329,16	117,82	107,51	80,80
AU	2,52	69,42	23,81	20,91	18,17
LU	19,61	378,30	134,63	115,02	105,11
PT	13,29	118,06	63,18	67,66	25,77
AMFU	1,79	2,84	2,26	2,23	0,26
DFAM	1,12	1,31	1,28	1,29	0,04
AMPFU	1,63	6,90	3,46	2,82	1,54
DFAMPF	1,21	1,37	1,31	1,31	0,04
ICe	0,00	10,88	2,31	1,76	2,45
IC	1,55	89,95	12,88	3,19	24,62
ICFL	0,12	0,44	0,27	0,28	0,10
AR	2,19	61,55	21,08	19,19	16,02
CoRe	0,00	63,29	10,32	4,78	16,00
CoUr	0,00	56,86	9,02	4,36	14,17
DL	1,55	8,62	6,10	6,39	1,94
MTFU	0,38	34,54	2,95	0,56	8,50
NF	1,00	25,00	12,13	12,00	8,18
MRPA	0,26	3,86	0,94	0,54	0,94
MFL	4,35	53,64	14,50	11,34	11,89
MFT	0,50	34,54	4,21	1,98	8,23
NFr	1,00	35,00	15,38	13,50	9,50
DPTF	0,00	11,64	3,33	1,61	3,66
CVF	0,00	2,54	1,43	1,45	0,80
ANU	2,86	326,65	93,31	83,79	80,49
ROS1	15,96	99,24	69,31	76,67	23,10
ROS2	0,19	129,49	12,48	3,31	31,84
UrAT	0,77	83,64	29,81	23,40	22,90
Ted	3166,00	63742,00	23306,00	19861,00	16531,31
DC1	19,36	2592,46	417,95	207,50	638,83
DC2	112,48	4048,41	1315,08	1015,97	1010,12
NFr	1,00	31,00	15,13	13,50	8,99
diss2	0,00	0,29	0,12	0,10	0,10
Alo	9347,00	125736,00	43053,50	30846,00	37002,57
Fam	7052,00	100696,00	35058,94	23461,50	29972,81
Dfam	21,80	2438,69	489,47	309,67	586,97
DFamAU	806,43	2915,70	1535,84	1409,79	616,34
Pop	21102,00	288749,00	102966,81	73393,50	82508,41
DPop	73,60	6372,60	1405,66	959,09	1543,07
DPopAU	2478,19	9603,60	4631,32	4272,08	1849,97
AUcap	104,13	403,52	244,45	234,15	84,65
Edu	0,94	1,64	1,19	1,18	0,17

Quadro 3 – Valor dos indicadores iniciais da forma urbana na GAMP.

Nesta etapa inicial de diagnóstico foi ainda possível caraterizar cada um dos 16 concelhos da GAMP quanto à irregularidade, compacidade, heterogeneidade e dissimilaridade de Gini de cada uma das formas urbanas (Figura 17 a 22 e Quadros 4 a 7).

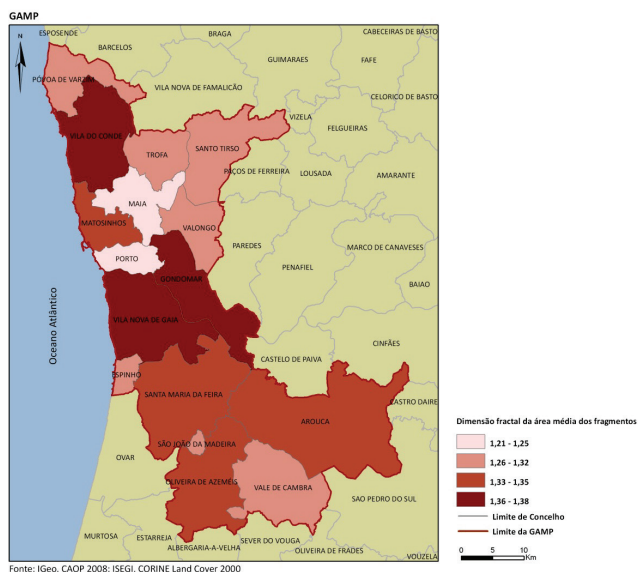


Figura 17 – Irregularidade das formas urbanas na GAMP calculada através da dimensão fractal da área média ponderada dos fragmentos urbanos (DFAP-AWMPFD).

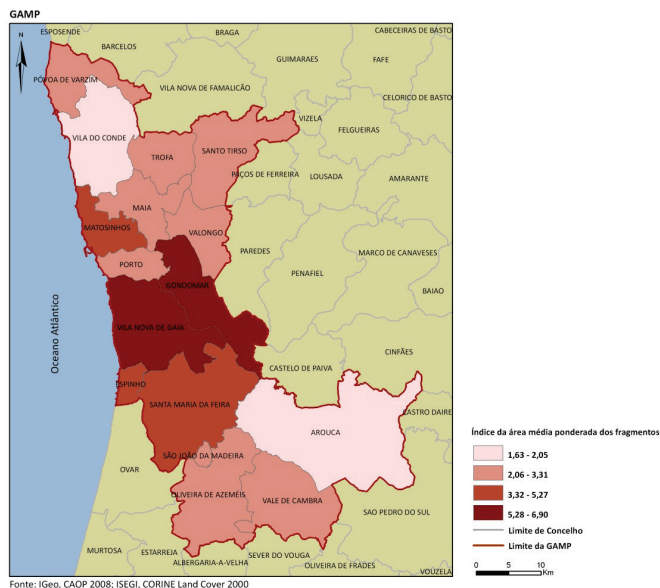


Figura 18 – Área média ponderada dos fragmentos de área urbana (APFU-AWMSI).

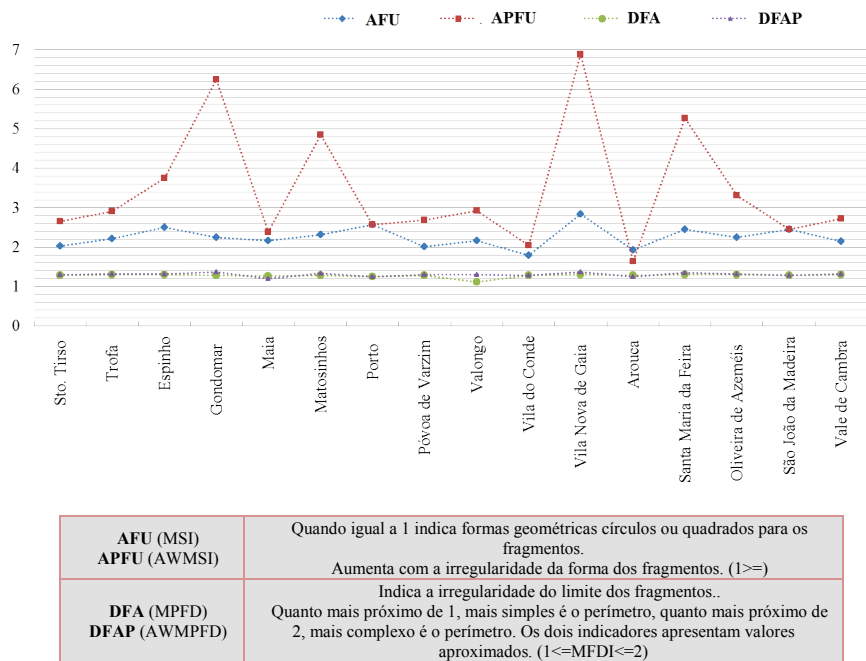


Figura 19 – Características das formas urbanas da GAMP tendo em conta o número de fragmentos e a regularidade dos limites.

Concelhos	AFU (MSI)	APFU (AWMSI)	DFA (MPFD)	DFAP (AWMPFD)
Santo Tirso	2,034	2,650	1,293	1,306
Trofa	2,219	2,911	1,302	1,317
Espinho	2,506	3,741	1,298	1,325
Gondomar	2,254	6,252	1,284	1,364
Maia	2,168	2,390	1,275	1,206
Matosinhos	2,310	4,838	1,291	1,332
Porto	2,575	2,575	1,255	1,255
Póvoa de Varzim	2,017	2,692	1,293	1,309
Valongo	2,159	2,926	1,122	1,299
Vila do Conde	1,794	2,052	1,278	1,281
Vila Nova de Gaia	2,835	6,895	1,309	1,371
Arouca	1,932	1,634	1,279	1,249
Santa Maria da Feira	2,443	5,273	1,299	1,351
Oliveira de Azeméis	2,248	3,310	1,296	1,326
São João da Madeira	2,454	2,454	1,280	1,280
Vale de Cambra	2,141	2,722	1,295	1,317

Quadro 4 – Valores do número de fragmentos e da (ir)regularidade das formas urbanas.

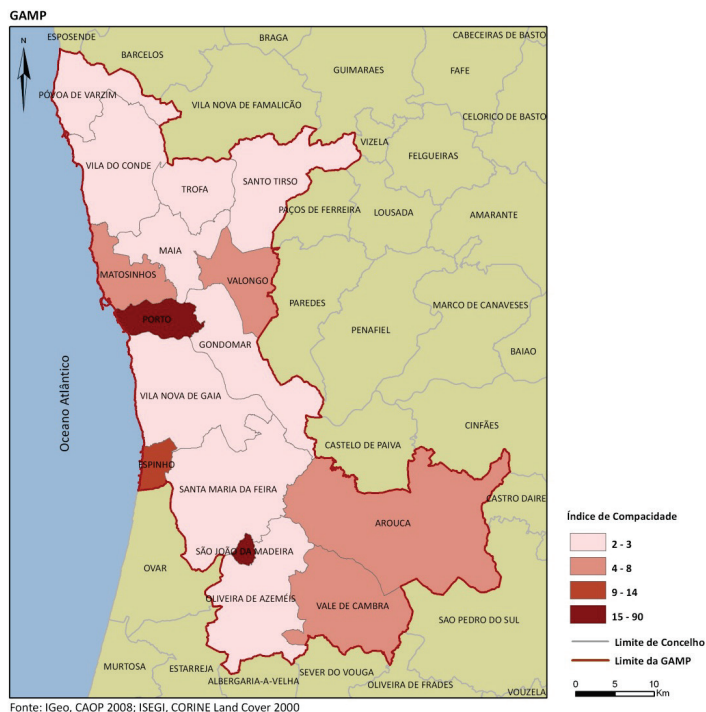


Figura 20 – Índice de compacidade da forma urbana (IC- quanto mais elevado for o Índice de Compacidade mais regular é o perímetro urbano).

Concelhos	IC
Santo Tirso	1.686
Trofa	3.071
Espinho	13.896
Gondomar	3.303
Maia	2.974
Matosinhos	5.763
Porto	89.952
Póvoa de Varzim	2.131
Valongo	5.409
Vila do Conde	1.590
Vila Nova de Gaia	2.375
Arouca	7.502
Santa Maria da Feira	1.546
Oliveira de Azeméis	1.721
São João da Madeira	57.067
Vale de Cambra	6.149

Quadro 5 – Valores do índice de compacidade na GAMP

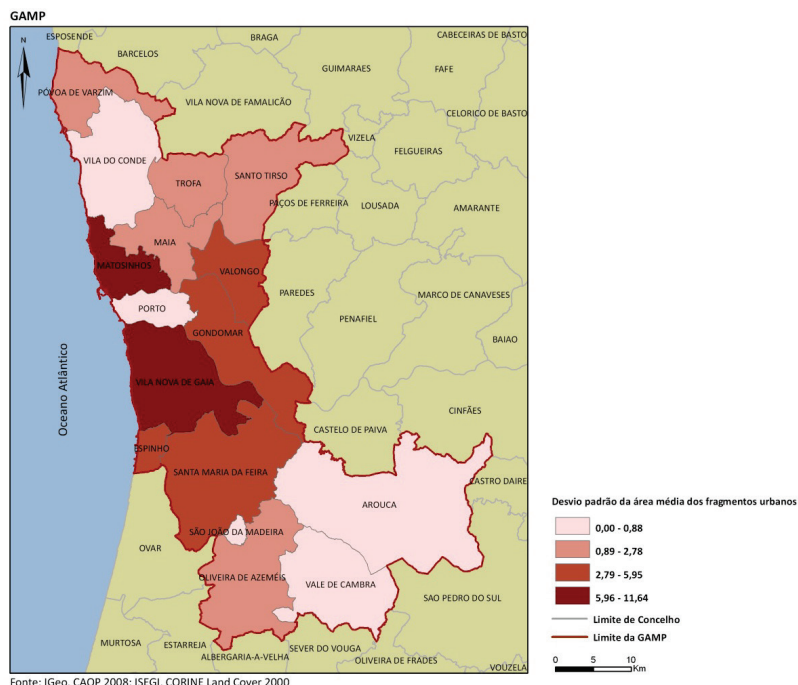


Figura 21 - Heterogeneidade da forma calculada pelo desvio padrão do tamanho médio dos fragmentos urbanos (DPTF).

Concelhos	DPTF
Santo Tirso	1.408
Trofa	1.525
Espinho	5.045
Gondomar	5.949
Maia	2.782
Matosinhos	11.639
Porto	0.000
Póvoa de Varzim	1.311
Valongo	3.646
Vila do Conde	0.876
Vila Nova de Gaia	11.042
Arouca	0.255
Santa Maria da Feira	5.352
Oliveira de Azeméis	1.702
São João da Madeira	0.000
Vale de Cambra	0.824

Quadro 6 – Valores do índice de heterogeneidade urbana na GAMP

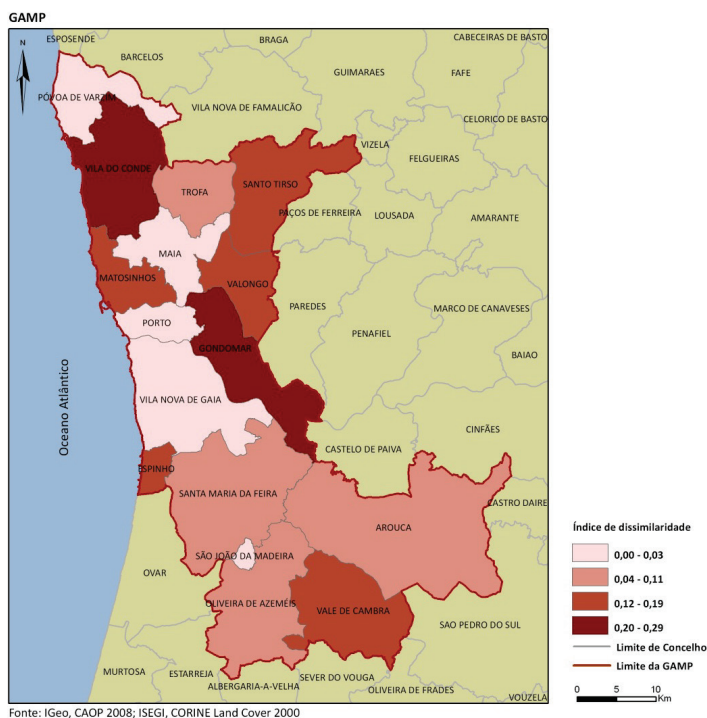


Figura 22 – Índice de dissimilaridade de Gini da forma (Diss~G).

Concelhos	Diss~G
Santo Tirso	0.192
Trofa	0.095
Espinho	0.150
Gondomar	0.287
Maia	0.026
Matosinhos	0.177
Porto	0.016
Póvoa de Varzim	0.009
Valongo	0.176
Vila do Conde	0.287
Vila Nova de Gaia	0.031
Arouca	0.055
Santa Maria da Feira	0.052
Oliveira de Azeméis	0.110
São João da Madeira	0.000
Vale de Cambra	0.190

Quadro 7 – Valores do índice de dissimilaridade de Gini urbana na GAMP

A simplificação/redução, em 3 etapas sequenciais, do número de variáveis pela aplicação da correlação não linear de Spearman (ρ) fez emergir 17 variáveis explicativas da diferenciação na forma urbana (Quadro 8 a 10 e Figura 23 a 25): i) área urbana descontínua; ii) área urbana contínua; iii) número de fragmentos urbanos; iv) área total do concelho; v) área média ponderada dos fragmentos urbanos; vi) desvio padrão do tamanho dos fragmentos urbanos; vii) densidade de construção; viii) total de edifícios; ix) centralidade; x) número de freguesias; xi) compacidade do fragmento de maior amplitude; xii) mediana do tamanho dos fragmentos urbanos; xiii) população residente; xiv) densidade da população na área urbana; xv) dissimilaridade de Gini; xvi) população com maior nível de educação; xvii) densidade populacional.

Correlações entre os indicadores da métrica da paisagem

AC	AD	AT	AU	LU	PT	AFU	DFA	APFU	DFAP	ICe	IC	ICFL	AR	CoRe	DL	MTFU	NF	MIRPA	MFL	MFT	NFr	DFTF	CVF	ANU	ROS1	ROS2	UAU	TEd	DC1	DC2	
1,000	0,200	-0,403	0,451	0,161	-0,385	0,293	-0,224	0,149	0,010	0,267	0,137	-0,242	0,603	0,927	0,930	-0,564	0,181	-0,121	-0,042	0,217	-0,041	0,309	0,348	-0,580	-0,551	-0,511	0,531	0,469	0,824	-0,080	
AC	1,000	0,391	0,894	0,959	0,465	0,303	0,247	0,594	0,206	-0,113	-0,644	-0,797	0,909	0,012	0,015	-0,215	0,103	0,668	-0,771	0,285	0,221	0,540	0,699	0,675	0,188	-0,168	-0,168	0,512	0,024	-0,541	
AD	1,000	0,209	0,482	0,953	-0,362	0,243	0,050	0,206	0,436	-0,600	-0,182	0,247	-0,491	-0,505	0,621	-0,456	0,615	-0,556	-0,482	-0,558	0,796	0,106	0,191	0,924	0,665	0,665	-0,009	-0,688	-0,085	-0,085	
AT	1,000	0,285	0,485	0,160	0,588	0,512	0,337	-0,412	-0,709	0,968	0,257	0,242	-0,432	0,262	0,442	-0,615	0,593	0,444	0,489	0,625	0,590	-0,009	-0,400	-0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	
AU	1,000	0,559	0,174	0,383	0,571	0,603	0,077	-0,771	-0,809	0,825	0,003	0,000	-0,015	-0,091	0,790	-0,859	0,112	0,029	0,638	0,640	0,748	0,312	0,003	0,003	-0,003	-0,003	0,429	-0,103	-0,547		
LU	1,000	0,313	0,190	0,132	0,284	0,480	-0,582	-0,288	0,324	0,463	-0,475	0,556	-0,459	0,606	-0,565	-0,424	0,524	0,780	0,209	0,286	0,894	0,612	0,612	-0,612	-0,612	0,044	-0,626	-0,071	PT		
PT	1,000	0,313	0,579	0,434	0,686	0,347	-0,441	0,479	0,107	0,137	-0,709	0,606	-0,335	0,203	0,947	0,891	-0,199	0,365	0,244	-0,521	-0,847	-0,847	-0,847	-0,847	-0,847	0,479	0,685	-0,171	AFU		
AFU	1,000	0,605	0,738	0,056	0,327	-0,533	0,122	-0,332	-0,314	0,306	-0,184	0,313	-0,252	0,084	-0,059	0,118	0,387	0,464	0,275	0,102	0,102	-0,102	-0,102	-0,102	-0,102	-0,102	-0,102	-0,102	-0,102	-0,102	
DFA	1,000	0,940	0,199	-0,168	-0,853	0,547	0,015	-0,006	-0,250	0,076	0,186	-0,262	0,509	0,432	-0,056	0,829	0,728	0,015	-0,306	-0,306	0,306	0,306	0,306	0,306	0,306	0,306	0,306	0,306	0,306	0,306	
APFU	1,000	-0,037	-0,306	-0,809	0,459	-0,097	-0,130	-0,024	-0,165	0,321	-0,369	0,319	0,218	0,086	0,744	0,705	0,213	-0,084	-0,084	0,084	0,084	0,084	0,084	0,084	0,084	0,084	0,084	0,084	0,084	0,084	
DFAP	1,000	-0,443	0,087	-0,274	-0,073	-0,082	0,695	-0,614	0,441	-0,287	-0,780	-0,793	0,342	-0,049	0,125	0,572	0,749	0,749	-0,749	-0,749	-0,749	-0,749	-0,749	-0,749	-0,749	-0,749	-0,749	-0,749	-0,749	-0,749	
ICe	1,000	0,424	-0,421	0,134	0,149	-0,397	0,347	-0,890	0,956	0,429	0,474	-0,097	-0,319	-0,478	-0,553	-0,444	-0,444	0,444	0,444	-0,444	-0,444	-0,444	-0,444	-0,444	-0,444	-0,444	-0,444	-0,444	-0,444	-0,444	
IC	1,000	-0,685	-0,063	-0,087	0,165	-0,024	0,444	0,503	-0,308	0,275	-0,183	-0,917	-0,896	-0,053	0,250	0,250	-0,250	-0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	
ICFL	1,000	0,215	0,218	-0,385	0,253	0,455	-0,615	0,485	0,409	0,519	0,553	0,562	0,024	-0,362	-0,362	0,362	0,362	0,362	0,362	0,362	0,362	0,362	0,362	0,362	0,362	0,362	0,362	0,362	0,362	0,362	
AR	1,000	0,988	-0,478	0,051	-0,118	-0,018	0,251	0,293	-0,121	0,163	0,202	-0,573	-0,409	-0,409	0,409	0,278	0,534	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	
CoRe	1,000	-0,472	0,060	-0,133	0,083	0,263	0,296	-0,124	0,163	0,223	-0,600	-0,423	-0,433	0,433	0,266	0,555	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	
DL	1,000	-0,662	0,391	-0,200	-0,868	0,929	0,299	-0,283	-0,088	0,785	0,929	0,929	0,929	0,929	0,929	0,929	0,929	0,929	0,929	0,929	0,929	0,929	0,929	0,929	0,929	0,929	0,929	0,929	0,929	0,929	
MTFU	1,000	-0,965	-0,416	0,464	0,712	0,332	0,485	0,563	0,439	0,439	0,439	0,439	0,439	0,439	0,439	0,439	0,439	0,439	0,439	0,439	0,439	0,439	0,439	0,439	0,439	0,439	0,439	0,439	0,439	0,439	
NF	1,000	0,244	0,294	-0,743	-0,402	-0,511	-0,440	-0,288	-0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	
MIRPA	1,000	0,979	-0,289	0,350	0,263	-0,653	-0,929	0,929	0,929	0,929	0,929	0,929	0,929	0,929	0,929	0,929	0,929	0,929	0,929	0,929	0,929	0,929	0,929	0,929	0,929	0,929	0,929	0,929	0,929	0,929	
MFL	1,000	-0,377	0,308	0,122	-0,738	-0,959	-0,959	0,959	0,959	0,959	0,959	0,959	0,959	0,959	0,959	0,959	0,959	0,959	0,959	0,959	0,959	0,959	0,959	0,959	0,959	0,959	0,959	0,959	0,959	0,959	
MFT	1,000	0,087	0,243	0,641	0,374	0,374	0,374	0,374	0,374	0,374	0,374	0,374	0,374	0,374	0,374	0,374	0,374	0,374	0,374	0,374	0,374	0,374	0,374	0,374	0,374	0,374	0,374	0,374	0,374	0,374	
NFr	1,000	0,879	-0,010	-0,275	-0,275	0,275	0,275	0,275	0,275	0,275	0,275	0,275	0,275	0,275	0,275	0,275	0,275	0,275	0,275	0,275	0,275	0,275	0,275	0,275	0,275	0,275	0,275	0,275	0,275	0,275	
DFTF	1,000	0,072	-0,134	-0,134	0,134	0,134	0,134	0,134	0,134	0,134	0,134	0,134	0,134	0,134	0,134	0,134	0,134	0,134	0,134	0,134	0,134	0,134	0,134	0,134	0,134	0,134	0,134	0,134	0,134	0,134	
CVF	1,000	0,838	0,838	-0,838	-0,838	-0,838	-0,838	-0,838	-0,838	-0,838	-0,838	-0,838	-0,838	-0,838	-0,838	-0,838	-0,838	-0,838	-0,838	-0,838	-0,838	-0,838	-0,838	-0,838	-0,838	-0,838	-0,838	-0,838	-0,838	-0,838	
ANU	1,000	1,000	1,000	-0,512	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	
ROS1	1,000	1,000	1,000	-0,512	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	
ROS2	1,000	1,000	1,000	-0,512	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	-0,906	
UAU	1,000	1,000	1,000	0,606	0,197	TEd	1,000	1,000	1,000	0,606	0,197	TEd	1,000	1,000	1,000	0,606	0,197	TEd	1,000	1,000	1,000	0,606	0,197	TEd	1,000	1,000	1,000	0,606	0,197	TEd	1,000
TEd	1,000	1,000	1,000	0,235	DC1	1,000	1,000	1,000	0,235	DC1	1,000	1,000	1,000	0,235	DC1	1,000	1,000	1,000	0,235	DC1	1,000	1,000	1,000	0,235	DC1	1,000	1,000	1,000	0,235	DC1	1,000
DC1	1,000	1,000	1,000	0,024	DC2	1,000	1,000	1,000	0,024	DC2	1,000	1,000	1,000	0,024	DC2	1,000	1,000	1,000	0,024	DC2	1,000	1,000	1,000	0,024	DC2	1,000	1,000	1,000	0,024	DC2	1,000

Correlações entre os indicadores socioeconômicos

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

Dis

<

Valores a negrito: coeficiente correlação de Spearman $r_s > |0,8|$

Quadro 8 – Correlação não linear de Spearman (ρ) entre as variáveis da métrica da paisagem e do perfil sócio-económico da GAMP.

Grupo mínimo de indicadores da forma urbana																	
AC	AD	AT	AFU	ICe	ICFL	MTFU	NF	NFr	DFTF	UAU	TEd	DC2	dis	Pop	DPop	DPopAU	Edu
1	0,2	-0,403	0,149	-0,267	-0,242	0,161	-0,121	-0,043	0,309	0,531	0,469	-0,006	-0,139	0,651	0,699	0,376	0,725
AC	1	0,391	0,594	-0,113	-0,797	0,103	0,668	0,548	0,699	0,168	0,512	-0,541	0,157	0,774	0,162	-0,276	0,197
AD	1	0,05	0,436	-0,182	-0,456	0,615	0,796	0,106	-0,665	-0,009	-0,085	0,21	0,1	-0,662	-0,035	-0,559	0,47
AT	1	0,605	0,056	-0,533	-0,184	0,313	0,118	0,387	-0,102	-0,153	-0,533	-0,007	-0,079	-0,174	-0,655	-0,331	0,311
AFU	1	-0,199	-0,853	0,076	0,186	-0,056	0,829	0,306	0,238	-0,529	0,202	0,474	0,274	-0,374	0,174	0,138	0,118
ICe	1	0,087	-0,614	0,441	0,342	-0,049	-0,749	-0,387	-0,093	0,777	-0,294	-0,656	-0,001	-0,62	ICe	1	0,62
ICFL	1	-0,024	-0,444	-0,183	-0,917	-0,25	-0,324	0,582	-0,125	-0,591	-0,244	0,294	-0,221	ICFL	1	0,000	-0,512
MTFU	1	0,712	0,332	-0,439	0,091	-0,513	0,235	0,287	-0,407	-0,438	-0,312	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
NF	1	0,087	-0,374	0,333	-0,118	0,097	0,408	-0,315	-0,027	-0,2	0,213	0,213	0,213	0,213	0,213	0,213	0,213
NFr	1	0,275	0,29	-0,578	0,29	0,577	0,283	-0,231	0,213	0,213	0,213	0,213	0,213	0,213	0,213	0,213	0,213
DFTF	1	0,532	-0,053	-0,434	0,429	0,941	-0,029	0,853	0,853	0,853	0,853	0,853	0,853	0,853	0,853	0,853	0,853
UAU	1	0,197	-0,209	0,791	0,641	0,244	0,612	0,612	0,612	0,612	0,612	0,612	0,612	0,612	0,612	0,612	0,612
TEd	1	-0,143	-0,2	0,106	0,75	0,206	0,206	0,206	0,206	0,206	0,206	0,206	0,206	0,206	0,206	0,206	0,206
DC2	1	0,074	-0,374	0,01	-0,378	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
dis	1	0,515	0,185	0,532	0,532	0,532	0,532	0,532	0,532	0,532	0,532	0,532	0,532	0,532	0,532	0,532	0,532
Pop	1	0,159	0,926	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297
DPop	1	0,159	0,926	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297
DPopAU	1	0,159	0,926	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297
Edu	1	0,159	0,926	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297

Valores a negrito: coeficiente correlação de Spearman $r > |0,8|$

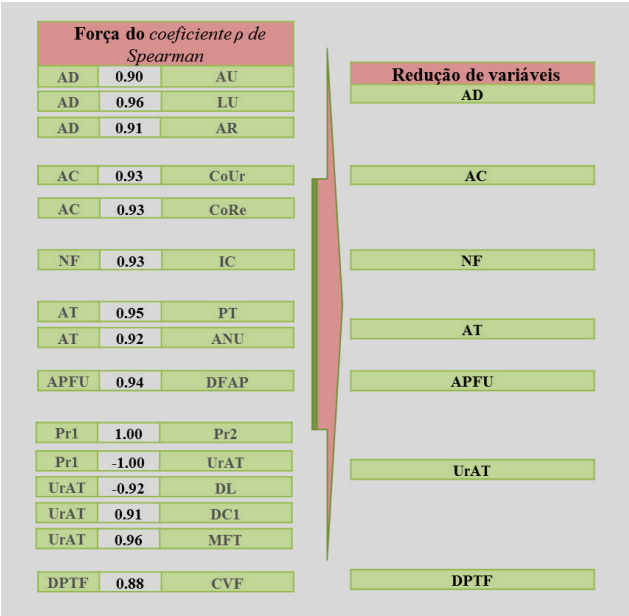


Figura 23 - Indicadores de métrica da paisagem com maior coeficiente de correlação.

Redução das variáveis (13)
AD
AC
NF
AT
APFU
UrAT
DPTF
DC2
TEd
ICe
NFr
ICFL
MTFU

Quadro 10 – O número mínimo de indicadores da métrica da paisagem a utilizar (dos 32 iniciais passaram a 13).

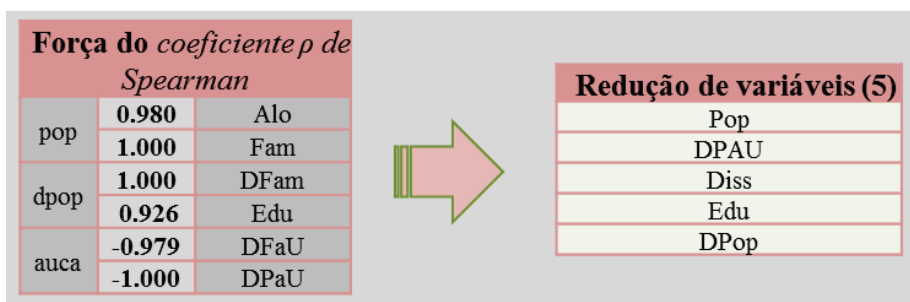


Figura 24 - Indicadores do perfil sócio-económico com maior coeficiente de correlação (dos 10 iniciais passaram a 5).



Figura 25 – Resultado final da correlação entre os indicadores da métrica da paisagem e do perfil sócio-económico (de 32 passaram 17).

O comportamento destas 17 variáveis seleccionadas foi, posteriormente, avaliado, por uma análise de componentes principais (ACP), para procurar simplificar ainda mais a informação e encontrar os eixos fundamentais de discriminação e diferenciação das formas urbanas na GAMP (Quadros 11 a 13 e Figura 26 e 27). Desta ACP surgiram 5 eixos determinantes de diferenciação das formas urbanas na GAMP cuja capacidade de substituição das variáveis iniciais é de 93%: i) o total de edifícios ou a população residente; ii) a área urbana descontínua ou número de fragmentos urbanos por concelho; iii) a área total do concelho; iv) o desvio padrão do tamanho dos fragmentos urbanos; v) a densidade de construção no concelho.

Estas 5 componentes explicativas da diversidade existente entre as formas urbanas da GAMP traduzem as 7 características principais que as distinguem - o número total de edifícios construídos; a população residente; o índice de compacidade do fragmento de maior amplitude; o número de fragmentos de área urbana; a área total do município; o desvio padrão da área dos fragmentos de área urbana; o índice de dissimilaridade de Gini da distribuição da população (Quadro 13).

Redução de variáveis (17)	
AD	Pop
AC	DPAU
NF	Diss
AT	Edu
APFU	DPop
DPTF	
DC2	
TEd	
ICe	
NFr	
ICFL	
MTFU	

Quadro 11 – Os 17 Indicadores alvo da análise de componentes principais

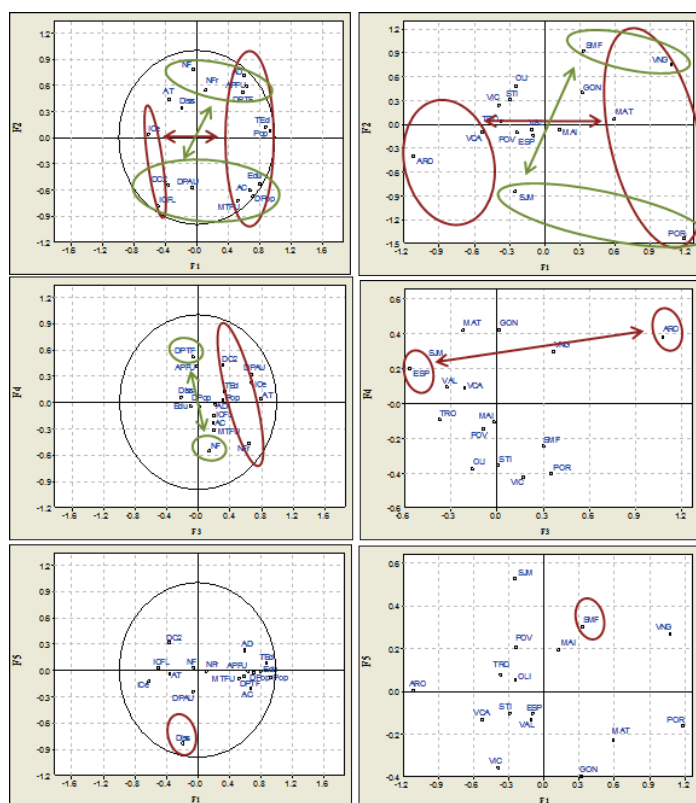


Figura 26 – Análise de Componentes principais dos 17 indicadores de forma urbana.

Eixo 1			Eixo 2		
% EXP	Variáveis Relacionadas (indicadores - colunas)	Variáveis Relacionadas (concelhos - linhas)	% EXP	Variáveis Relacionadas (indicadores - colunas)	Variáveis Relacionadas (concelhos - linhas)
33	AC, AD, APFU, MTFU, DPTF, TE _d , Pop, EDu, DPop ⇕ ICe, ICFL	MAT, POR, VNG ⇕ ARO, VCA	31	AD, APFU, NF, NFR, DPTF ⇕ AC, ICFL, MTFU, DC2, DPAU, EDU, DPOP	VNG, SMF ⇕ POR, SJM
Eixo 3			Eixo 4		
% EXP	Variáveis Relacionadas (indicadores - colunas)	Variáveis Relacionadas (concelhos - linhas)	% EXP	Variáveis Relacionadas (indicadores - colunas)	Variáveis Relacionadas (concelhos - linhas)
15	AT, ICE, NFR, DPAU	ARO ⇕ ESP	9	DPTF ⇕ NF	-
Eixo 5					
% EXP	Variáveis Relacionadas (indicadores - colunas)		Variáveis Relacionadas (concelhos - linhas)		
6	Diss		SJM		
Legenda:					
- ⇕ - Representa a oposição das modalidades no eixo factorial					
- No quadro resumo os códigos assinalados a verde procuram representar as variáveis correlacionadas com o semi-eixo factorial positivo e os códigos assinalados a vermelho representam as variáveis correlacionadas com o semi-eixo factorial negativo .					

Quadro 12 – A expressividade explicativa das 5 componentes principais

Eixo	Valor Próprio	% Exp.	% Acum.
1	5,57	32,77	32,77
2	5,22	30,69	63,46
3	2,51	14,77	78,23
4	1,50	8,85	87,08
5	1,01	5,93	93,01

Quadro 13 – Variância explicada por cada uma das 5 componentes obtidas na análise de componentes principais.

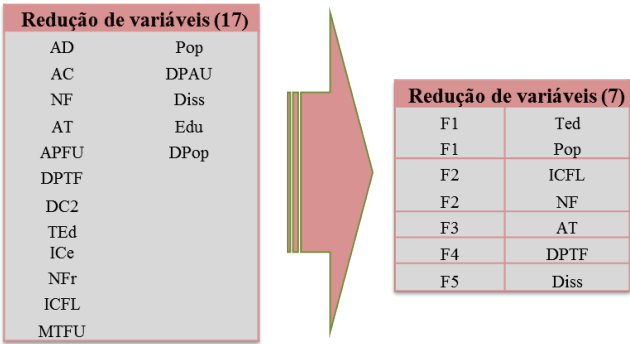


Figura 27 – Simplificação das variáveis explicativas da forma urbana na GAMP após a aplicação da análise de componentes principais

Todavia, esta ACP permitiu também concluir que considerando apenas 3 variáveis - o total de edifícios ou a população residente, a área urbana descontínua ou o número de fragmentos urbanos por concelho e a área total do concelho - é possível ter já uma explicação muito considerável da diferenciação das formas urbanas na GAMP que ultrapassa 78% (Quadro 13). Este resultado é semelhante ao obtido por Schwarz (2010) para as 231 áreas urbanas europeias (Quadro 14).

Estudo de Schwarz (2010)	Presente estudo
Pop (population) –população residente	Pop – população residente
NP (number of patches) – número de fragmentos urbanos	NF – número de fragmentos urbanos
CILP (compactness index of the largest patch) - Índice de compacidade do fragmento de maior amplitude	ICFL – índice de compacidade do fragmento de maior amplitude
Area discount (size of discontinuous area) – área urbana descontínua	Ted – número total de edifícios construídos
ED (edge density) – densidade dos limites	AT – área total do município
MPS (mean patch size) – tamanho médio dos fragmentos urbanos	DPTF – desvio padrão da área dos fragmentos de área urbana
Pop dens (density of population) – densidade populacional	Diss – índice de dissimilaridade da distribuição da população
Estes indicadores, combinados, são responsáveis por 66 % de toda a variância do conjunto de dados.	Estes indicadores, combinados, são responsáveis por 93 % de toda a variância do conjunto de dados.

Quadro 14 – Comparação entre o grupo mínimo de indicadores em Schwarz (2010) e neste exercício metodológico para a GAMP

Comparativamente com Schwarz (2010), só existem 3 indicadores de forma urbana comuns – população residente, número de fragmentos urbanos e a compacidade do maior fragmento. Os restantes 4 indicadores para as 231 cidades europeias não coincidem com os da GAMP (Quadro 14). Todavia, se admitirmos a mesma variância explicada que Schwarz (2010), isto é 66%, bastar-nos-ia, no caso da GAMP, considerar apenas as 2 primeiras componentes que representam: i) o número total de edifícios ou a população residente no concelho; ii) o índice de compacidade do fragmento de maior amplitude ou o número de fragmentos urbanos existentes no concelho (Figura 27).

Alcançadas as 5 componentes explicativas principais das diversas formas urbanas existentes na GAMP, procurou-se avaliar as afinidades existentes entre os 16 concelhos

que na análise de *clusters* pelo método hierárquico de aglomeração de Ward revelou a existência de 5 conjuntos diversos (Quadros 15 e 16 e Figura 28): o *cluster* 1 incluindo S. João da Madeira, Vale de Cambra, Valongo, Espinho, Maia, Póvoa do Varzim e Trofa; o *cluster* 2 incluindo Arouca; o *cluster* 3 incluindo Vila do Conde, Santo Tirso e Oliveira de Azeméis; o *cluster* 4 incluindo Gondomar, Matosinhos, Vila Nova de Gaia e Santa Maria da Feira; o *cluster* 5 incluindo o Porto.

ANOVA		Cluster 1 (7 Concelhos)				Cluster 2 (1 Concelho)				Cluster 2 (3 Concelho)				Cluster 3 (4 Concelho)				Cluster 5 (1 Concelho)			
	Variância	SJM, VCA, VAL, ESP, MAI, POV, TRO				ARO				VIC, STI, OLI				VNG, MAT, GON, SMF				POR			
Indicadores	F	signif.	Média	Standard	Variância	Média	Standard	Variância	Média	Standard	Variância	Média	Standard	Variância	Média	Standard	Variância				
TEd	8,15	0,00	-0,52	0,39	0,16	-0,88	0,00	0,00	-0,55	0,58	0,34	1,19	0,85	0,72	1,41	0,00	0,00				
Pop	10,04	0,00	-0,58	0,45	0,20	-0,95	0,00	0,00	-0,37	0,02	0,00	1,04	0,82	0,68	1,94	0,00	0,00				
ICFL	10,43	0,00	0,24	0,57	0,33	1,80	0,00	0,00	0,15	0,65	0,42	-1,29	0,34	0,11	1,23	0,00	0,00				
NF	4,62	0,02	-0,43	0,70	0,49	-0,87	0,00	0,00	1,29	0,14	0,02	0,35	0,93	0,87	-1,36	0,00	0,00				
AT	7,89	0,00	-0,60	0,56	0,32	2,62	0,00	0,00	0,39	0,17	0,03	0,33	0,80	0,64	-0,95	0,00	0,00				
DPTF	7,94	0,00	-0,32	0,48	0,23	-0,84	0,00	0,00	-0,55	0,11	0,01	1,41	0,90	0,82	-0,91	0,00	0,00				
diss	1,09	0,41	-0,25	0,85	0,72	-0,64	0,00	0,00	0,84	0,93	0,86	0,22	1,25	1,56	-1,05	0,00	0,00				

Quadro 15 – Análise de Clusters

Indicadores		AT	ICFL	NF	DPTF	TEd	diss	Pop
Cluster 1	SJM	7,94	0,41	1	0	20572	0	21102
	VCA	146,52	0,3	6	0,82	8297	0,19	24798
	VAL	75,13	0,29	8	3,65	17246	0,18	86005
	ESP	21,11	0,25	3	5,04	8027	0,15	33701
	MAI	83,14	0,24	13	2,78	24500	0,03	120111
	POV	82,06	0,28	17	1,31	15219	0,01	63470
	TRO	71,88	0,27	12	1,52	9009	0,09	37581
Cluster 2	ARO	329,16	0,44	5	0,25	8684	0,05	24227
Cluster 3	VIC	148,98	0,34	24	0,88	20422	0,29	74391
	OLI	163,53	0,22	22	1,7	3166	0,11	70721
	STI	136,51	0,3	22	1,41	19300	0,19	72396
Cluster 4	GON	131,88	0,13	12	5,95	35204	0,29	164096
	MAT	62,25	0,19	7	11,64	33703	0,18	167026
	VNG	168,67	0,12	16	11,04	63742	0,03	288749
	SMF	215,13	0,13	25	5,35	39124	0,05	135964
Cluster 5	POR	41,29	0,39	1	0	46681	0,02	263131

Quadro 16 – Caracterização de cada um dos *clusters* de forma urbana na GAMP.

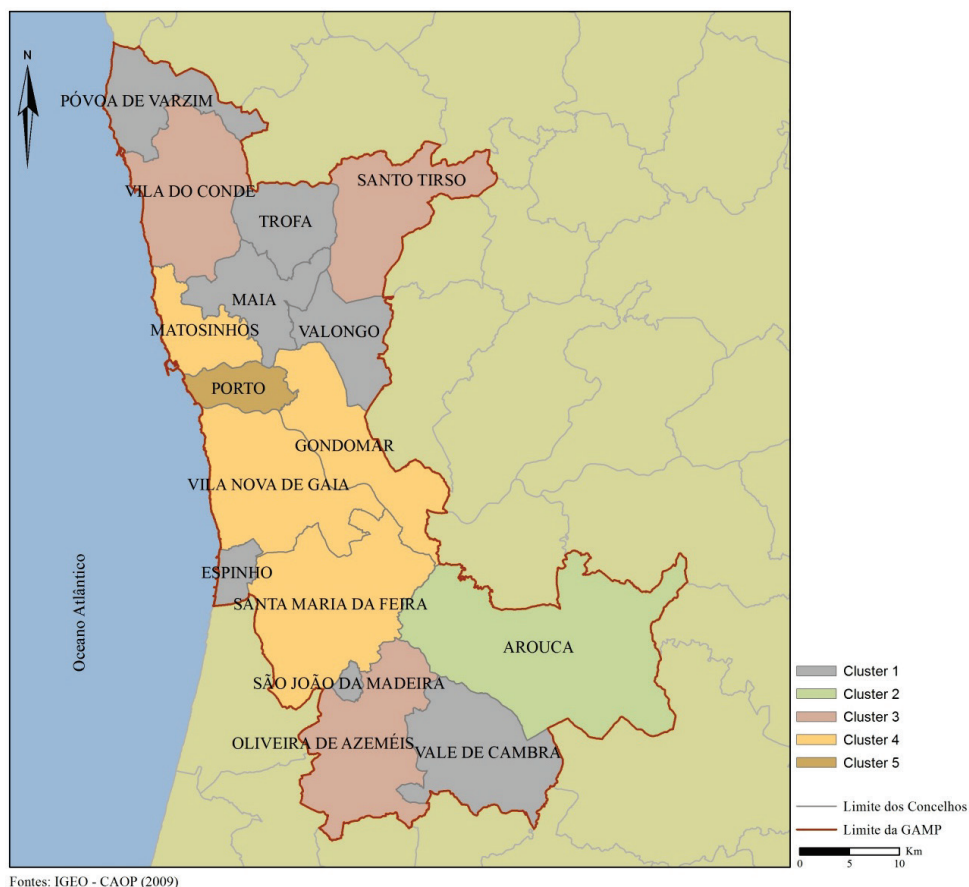


Figura 28 – *Clusters* de forma urbana na GAMP.

Graças a este procedimento metodológico parece claro que a artificialização do espaço na GAMP devida à reconstrução da paisagem pela urbanização reflete atualmente 5 tipologias diversas de formas urbanas:

- i) espaços urbanizados com uma fragmentação urbana muito elevada e com uma compacidade moderada distribuídos numa área concelhia relativamente diminuta e com baixa população residente e um pequeno número de edifícios;
- ii) espaços urbanizados com um único fragmento urbano bem definido e muito compacto em área concelhia de dimensão considerável mas com muito baixa densidade populacional;
- iii) espaços urbanizados com um elevadíssimo número de fragmentos urbanos heterogeneamente distribuídos pela área do concelho e com um grande índice de dissimilaridade;

iv) espaços urbanizados com fragmentos urbanos muito diversos quanto à área e à regularidade da sua forma onde mesmo o fragmento maior tem baixa compactidade, distribuídos por áreas concelhias de dimensão considerável e com elevada população residente e edificado;

v) espaços urbanizados com um único fragmento urbano compacto, contínuo e consolidado onde o índice de dissimilaridade é muito baixo e acolhe um elevado número de população, uma enorme densidade populacional e um grande número de edifícios.

Assim, tendo em conta as características das formas urbanas (Figura 5 e 28), e sabendo a importância que a impermeabilização do solo, a volumetria do edificado, os materiais de revestimento, a dimensão populacional e o modo como se distribui no espaço têm para facilitar ou bloquear os *inputs* e *outputs* de energia que conduzem ao balanço energético local (Quadro 17 e 18), ajustamos a equação de Oke (1973) ao resultado obtido por este procedimento metodológico para estimar a forma e a magnitude das anomalias térmicas positivas na GAMP (Figura 30).

Materiais	Albedo	Emissividade
Asfalto	0.05-0.20	0.95
Betão	0.10-0.35	0.7-0.9
Tijolo	0.2-0.4	0.9
Pedra	0.20-0.35	0.85-0.95
Telha	0.10-0.35	0.9
Lousa	0.1	0.9
Al. ondulado	0.10-0.16	0.13-0.28
Branco	0.5-0.9	0.85-0.95
Vermelho	0.20-0.35	0.85-0.95
Preto	0.02-0.15	0.90-0.98

Pop. Urbana	Concentração (g/m3)		
	Partículas	SO ₂	NO ₂
< 10 000	577	35	116
10 000 (SJM; E; SH)	81	18	64
25 000 (M)	87	14	63
100 000	134	69	163
300 000 (P)	120	85	153

Adaptado de Goudie, 1990, p.283

Adaptado de Oke, 1990, p.281.

Quadro 17 – Albedos, emissividades e poluição atmosférica em ambientes urbanizados (Monteiro, 1997).

CIDADE	Nº de veículos/dia	Velocidade (km/h)	Estimativa de emissões (kg/km percorrido)			
			CO	CxHy	NOx	SO ₂
PORTO	300 000	35	6 300	780	540	9. 900
		100	4 800	540	1 140	9. 300
MATOSINHOS	100 000	35	2 100	260	180	3. 300
		100	1 600	180	380	3. 100
ESPINHO	30 000	35	630	78	54	0. 990
		100	480	54	114	0. 930

O nº de veículos é uma estimativa resultante da informação da CCRN, 1999 e da JAE, 1999. Para o cálculo das emissões consideraram-se os veículos como alimentados a gasolina. Os factores emissão utilizados foram os do MHEP, 1980, p.64.

Quadro 18 – Estimativas de emissão de poluentes atmosféricos consoante a fluidez de circulação em espaço urbano (Monteiro, 1997).

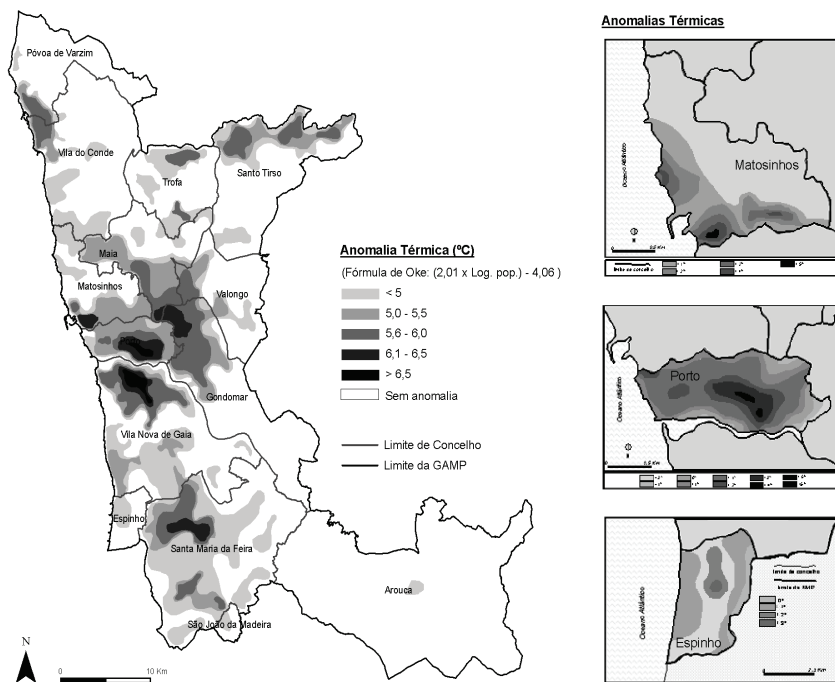


Figura 29 – À esquerda: estimativas da forma e magnitude da Ilha de Calor Urbano utilizando a fórmula de Oke $(2.01 \log \text{pop.}) - 4.06$. (1973), e o reconhecimento das características das formas urbanas. À direita: resultados de monitorizações itinerantes de temperatura.

4. Discussão

Apesar das inúmeras limitações com que conviveu este exercício metodológico e que incluem a fraca qualidade e precisão da informação utilizada para o propósito definido, a abordagem à escala do concelho e não exclusivamente à área urbanizada, a dificuldade recorrente de articulação entre informação proveniente de fontes diversas e a escalas espaciais distintas, a necessidade de criar procedimentos de cálculo próprios face à indisponibilidade do *software* utilizado por Schwarz (2000), foi possível ilustrar como, a partir de 5 variáveis de acesso e recolha fácil, é possível obter um caracterização interessante e útil das diversas formas urbanas existentes na GAMP.

Este ganho em objetividade facilita a estimativa das modificações nos contextos climáticos locais provocadas pela artificialização da paisagem como acontece na GAMP, já que não basta, nestes casos, como Oke (1973) afirma, considerar exclusivamente a dimensão populacional. Dadas as características tão diversas das áreas

urbanas da GAMP, convém considerar também, a dimensão, a compacidade e a volumetria de cada fragmento urbanizado para estimar a magnitude e a forma das anomalias térmicas positivas.

Sabendo que as estações climatológicas oficiais são, na GAMP, escassas e visam cumprir o papel para o qual foram instaladas – traduzir o comportamento das principais variáveis climáticas na área em condições que possam ser comparáveis com qualquer outro ponto do globo – não é legítimo extrapolar, a partir dos seus registos, informação sobre os mosaicos climáticos locais sobretudo em áreas onde aos factores geográficos ditos naturais foram acrescentados inúmeros factores de índole antrópica.

Como não foi possível, até ao momento, monitorizar o funcionamento dos diversos *subsistemas climáticos* em espaço urbano e não urbano existentes na GAMP, o reconhecimento simplificado das variáveis determinantes que caracterizam as principais tipologias urbanas existentes, autorizou a definição ajustada da forma e da magnitude das anomalias térmicas positivas impostas pelos diversos espaços urbanizados (Figura 29). E esta informação é imprescindível sempre que, à escala local, é necessário dar aplicabilidade ao conhecimento climatológico como acontece por exemplo quando se pretende contribuir para antecipar e prevenir os riscos para a saúde pública gerados pelos episódios extremos de calor e de frio (Monteiro et al, 2012 a, b e c).

Referências Bibliográficas

ALBERTI, M. (1999). *Urban patterns and environmental performance: what do we know?* Journal of Planning Education and Research, 19 (2), 151–163.

AMP (2008). *Futuro Sustentável Plano de Acção* - Síntese para consulta pública, em http://www.futurosustentavel.org/fotos/gca/resumo_plano_de_acciao.pdf

BATTY, M., & Longley, P. (1994). *Fractal Cities. A Geometry of Form and Function*. London: Academic Press.

DOUGLAS, I. (1983). *Urban Environment*. London: Edward Arnold.

GUEROIS, M., & PUMAIN, D. (2008). *Built-up encroachment and the urban field: a comparison of forty European cities*. Marianne Guérois, Denise Pumain, 40 (9)(2186–2203).

HEROLD, M., SCEPAN, J., & CLARKE, K. C. (2002). *The use of remote sensing and landscape metrics to describe structures and changes in urban land uses*. Environment and Planning A, 34 (8)(1443–1458.).

HUANG, J., LU, X. X., & SELLERS, J. M. (2007). *A global comparative analysis of urban form: applying spatial metrics and remote sensing*. Landscape and Urban Planning, 82 (4)(184–197).

INE. (2001). *Recenseamento Geral da População e da Habitação*. Lisboa.

KASANKO, M., BARREDO, J. I., LAVALLE, C., MCCORMICK, N., DEMICHELI, L., SAGRIS, V., & BREZGER, A. (2006). *Are European cities becoming dispersed?: A comparative analysis of 15 European urban areas*. Landscape and Urban Planning, 77 (1-2)(111–130).

MONTEIRO et AL. (2012a). *Riscos para a saúde humana causados pelas ondas de calor e vagas de frio: estudo de caso no Porto* - Relatório Final. Faculdade de Medicina da Universidade do Porto, Faculdade de Letras da Universidade do Porto, Porto.

MONTEIRO A, CARVALHO V, SOUSA C. (2012b). *Morbidity during cold spells in a mild winter contexts like Portugal –climate or vulnerability?*. Journal of climatology (Submetido, a aguardar revisão)

MONTEIRO et al. (2012c). *Health and climate – good motivation to implement urban sustainable planning policies*, 32nd International Geographical Congress 2012, Colonia (Abstract)

MONTEIRO et al. (2012d). *Excess mortality and morbidity during July 2006 Heat Wave in Porto, Portugal Tmrt vs PET - efficiency to anticipate?* 8th International Conference on Urban Climate – ICUC 8 and 10th Symposium on the Urban Environment, Dublin (Abstract)

MONTEIRO et al. (2012e). *Unexpected features in the diurnal course of the urban-rural temperature difference*. 8th International Conference on Urban Climate – ICUC 8 and 10th Symposium on the Urban Environment, Dublin (Abstract)

MONTEIRO A., CARVALHO V., OLIVEIRA T., SOUSA C., (2012f). *Excess mortality and morbidity during July 2006 Heat Wave in Porto, Portugal*. Int J Biometeorol, (DOI: 10.1007/s00484-012-0543-9. 2010), Impact Factor: 1.813.

MONTEIRO A., CARVALHO V., SOUSA C., MADUREIRA H. (2012g). *The use of Cold Spell's Index to quantify the excess of Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD) morbidity during Winter:Case Study of Porto*, Int J Biometeorol (Submetido, a aguardar revisão)

MONTEIRO, A., MADUREIRA, H., (2012). *El clima urbano de Oporto. Oportunidad para repensar la sustentabilidad del territorio y retomar los ritmos de la naturaleza*. Libro colectivo Hábitat sustentable, Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), México.

MONTEIRO, A., CARVALHO, V., (2011a). *Contribución del cambio climático en el diseño de políticas eficaces para promover la sostenibilidad urbana - un estudio de caso en Oporto (Portugal)*. Memorias del Seminario Internacional de Urbanismo VII, Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), México, 25 a 29 de Abril.

MONTEIRO A., CARVALHO V., VELHO S., SOUSA C. (2011b). *Assessing and monitoring urban resilience using COPD in Porto*. Science of the Total Environment, DOI information: 10.1016/j.scitotenv.2011.11.009

MADUREIRA, H., MONTEIRO, A, GÓIS, J. (2010). *Utilisation des images Landsat – 7 pour l'analyse de la distribution spatiale des températures à Porto (Portugal)* 23 Colloque de L'Association Internationale de Climatologie, Rennes, Agosto de 2010, pp. 355-360

MONTEIRO, A. (2010). *A cidade – Um espaço de (des)encontros entre a evolução do conhecimento e qualidade de vida dos seres humanos*. Actas IX Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica – Climatologia e Gestão do Território”, Fortaleza, Brasil (disponível em versão digital).

MONTEIRO, A., MADUREIRA, H. (2009). *The shape and magnitude of Porto's heat Island*. 45th ISOCARPCongress 2009, FEUP, Porto, p.1-15, (disponível em versão digital).

MONTEIRO, A. (2006). *A Climatologia Urbana enquanto indicador de sustentabilidade urbana - estudos de caso na Área Metropolitana do Porto*. PLURIS 2006 – Actas do II Congresso Luso-Brasileiro para o Planeamento Urbano, Regional Integrado e Sustentável, Campus de Gualtar, Universidade Minho, 13p. (Versão Digital)

MONTEIRO, A., et al (2000). *CLIAS - Exemplos de agravamento de algumas patologias do foro respiratório, relacionáveis com as modificações introduzidas pela urbanização portuense na conjuntura climática e na composição química da atmosfera* - F.C.T., PRAXIS XXI, PCSH /GEO/198/96, Porto (disponível em versão digital).

MONTEIRO, A. (1997). *O clima urbano do Porto - Contribuição para a definição das estratégias de planeamento e ordenamento do território*. Fundação Calouste Gulbenkian - Junta Nacional de Investigação Científica e Tecnológica.

MONTEIRO, A. (1993). *Est-ce qu'il y a des raisons suffisantes pour parler d'un îlot d'humidité urbain dans la ville de Porto?*, Actes du Colloque de Climatologie, AIC, Thessaloniki, p.585 a 593.

MONTEIRO A. (1988). *La régionalisation climatique portugaise par une analyse factorielle-essai méthodologique*. Actas do Colloque de Climatologie, Aix-en-Provence, p.49 a 57

OKE, T. R. (1973). *City size and the urban heat island*. Atmospheric Environment, 7(769-779).

SCHWARZ, N. (2010). *Urban form revisited—Selecting indicators for characterising European cities*. Landscape and Urban Planning, 96, 29-47.

SETO, K. C., & FRAGKIAS, M. (2005). *Quantifying spatiotemporal patterns of urban land-use change in four cities of China with time series landscape metrics*. Landscape Ecology in Land Use Planning Methods and Practice, 20 (7), 871-888.

TSAL, Y. T. (2005). *Quantifying urban form: compactness versus 'Sprawl'*. Urban Studies, 42 (1)(141-161).

WORLD BANK (2009). *World Bank Annual Report - World Development Report World Bank*. Acedido em Setembro, 2012, do <http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/EXTDEC/EXTRESEARCH/EXTWDRS/0,,contentMDK:23062295~pagePK:478093~piPK:477627~theSitePK:477624,00.html>

WENG, Q., LIU, H., & LU, D. (2007). *Assessing the effects of land use and land cover patterns on thermal conditions using landscape metrics in City of Indianapolis*. United States. Urban Ecosystems, 10 (2), 203-219.

WU, J., JELINSKI, D., LUCK, M., & TUELLER, P. (2000). *Multiscale Analysis of Landscape Heterogeneity: Scale Variance and Pattern Metrics*. Annals of GIS, 6: 1, 6-19.

Agradecimentos

Este trabalho foi financiado por Fundos FEDER através do Programa Operacional Factores de Competitividade – COMPETE e por Fundos Nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia no âmbito do projeto “Riscos para a saúde humana causados pelas ondas de calor e vagas de frio: estudo de caso no Porto” (PTDC/SAU-ESA/73016/2006).

