

**Universidade do Minho**  
Instituto de Ciências Sociais

António Filipe Nunes Alves

**Avaliação da capacidade de arrefecimento  
do ar em áreas críticas da cidade de  
Guimarães sob diferentes cenários de  
reabilitação e expansão urbana**

Dissertação de Mestrado  
Mestrado em Geografia  
Área de Especialização em Sistemas de Informação  
Geográfica

Trabalho efetuado sob a orientação da  
**Professora Doutora Maria Manuela Laranjeira**

setembro de 2022

## **DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS**

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos. Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.



### **Atribuição-NãoComercial-SemDerivações CC BY-NC-ND**

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

## **Agradecimentos**

Não poderia deixar de agradecer a todas as pessoas que me acompanharam ao longo da vida académica e que foram essenciais para a concretização desta dissertação.

Um agradecimento á Professora Doutora Maria Manuela Laranjeira, pelo apoio e ajuda prestada ao longo do desenvolvimento desta dissertação.

Gostaria de agradecer de uma forma especial ao meu pai Agostinho Alves e á minha mãe Diva Nunes pelo apoio que me prestaram ao longo de todo o meu percurso académico e por me ajudarem a superar-me nas dificuldades e por todo o incentivo que me deram.

Um agradecimento especial aos meus colegas de universidade pelo apoio que me deram ao longo destes anos académicos na Universidade, em que me apoiaram e ajudaram quando estive em momentos mais difíceis.

Por fim agradecer a todos aqueles que de uma forma indireta e direta me ajudaram na concretização deste trabalho.

## Resumo

Nesta dissertação pretendeu-se compreender de que modo diferentes opções de reabilitação e expansão urbana podem ter impacto sobre os serviços ecossistémicos prestados pelas áreas sujeitas a estes tipos de intervenção, nomeadamente a capacidade de arrefecimento do ar associada à presença de vegetação arbórea e ao tipo de cobertura do solo em determinados quarteirões urbanos. A cidade de Guimarães serviu de base a este trabalho, tendo sido selecionados cinco quarteirões que constituem áreas críticas do ponto de vista da consolidação e da expansão futura do núcleo central da cidade, de acordo com a sua classificação constante no Plano Diretor Municipal (PDM) em vigor. O objetivo principal deste trabalho consistiu em avaliar a capacidade de arrefecimento do ar pelas cinco áreas críticas selecionadas, sob diferentes cenários de ocupação do solo resultantes de distintas opções de intervenção urbanística, implicando desde a total eliminação da vegetação preexistente e a impermeabilização da superfície do quarteirão até ao acréscimo da mancha arbórea e da cobertura vegetal do solo (vegetação herbácea), tomando por referência a situação do Urban Atlas 2018.

Nos cenários em que as Infraestruturas Verdes Urbanas (IVU) desaparecem totalmente ou quase por completo perde-se toda a capacidade de arrefecimento do ar e os efeitos da ilha de calor são sentidos de forma extrema na cidade – estes são cenários climaticamente muito desfavorável (muito pessimista) e desfavorável (pessimista), respetivamente. Nos outros cenários, as IVU conseguem manter ou melhorar a capacidade de arrefecimento do ar, contribuindo para mitigar os efeitos da ilha de calor na cidade – cenários climaticamente muito favorável (muito otimista) e favorável (otimista/realista).

Uma das áreas estudadas sofreu grandes transformações no decorrer da realização deste trabalho, no âmbito de uma Operação de Reabilitação Urbana (ORU), verificando-se que a partir de 2021 foram construídos novos arruamentos, um hipermercado e futuras áreas residenciais ou de serviços. A intervenção neste quarteirão eliminou quase completamente a mancha arbórea preexistente, com um impacto expectável sobre a IVU de Guimarães extremamente elevado e similar ao do cenário climaticamente muito desfavorável (muito pessimista). Neste local, a área ocupada por árvores ou vegetação arbustiva e herbácea permitia uma importante capacidade de arrefecimento do ar. Além disso, os solos, estando localizados numa zona mais elevada da cidade, permitiam a retenção da escorrência superficial, evitando/minimizando inundações nomeadamente na Rua da Caldeiroa, aquando de eventos de precipitação excessiva. Estes serviços ecossistémicos urbanos foram irremediavelmente perturbados nesta área. Espera-se agora que nas restantes áreas não se venha a verificar o pior cenário, mas que as futuras intervenções concretizem as condições climaticamente favoráveis.

## **Abstract**

This dissertation aimed to understand how different options for rehabilitation and urban expansion can have an impact on ecosystem services provided by areas subject to these types of intervention, namely air cooling capacity related with the presence of trees and herbaceous land cover in certain urban blocks. The city of Guimarães served as the basis for this work, having been selected five blocks that constitute critical areas from the point of view of consolidation and future expansion of the central core of the city, according to their classification in the Municipal Master Plan (PDM) in force. The main objective of this work was to evaluate the air cooling capacity of the five selected critical areas, under different land occupation scenarios resulting from different urban intervention options taking as a reference the situation of the Urban Atlas 2018. These scenarios encompass the total elimination of pre-existing vegetation and surface sealing to the addition of tree patches and vegetation cover of the soil (herbaceous vegetation).

In scenarios where the Urban Green Infrastructure (UGI) disappears completely or almost completely, all air cooling capacity is lost and the effects of the heat island are felt in an extreme way in the city - these are very unfavorable climate scenarios (very pessimistic) and unfavorable (pessimistic), respectively. In the other scenarios, UGIs manage to maintain or improve the air cooling capacity, and mitigate the effects of the urban heat Island – very favorable (very optimistic) and favorable (optimistic/realistic) climatic scenarios.

One of the studied areas underwent major transformations during the course of this work, within the scope of an urban rehabilitation project. From 2021 onwards, new streets, a hypermarket and future residential or service areas were built. The intervention in this block almost completely eliminated the pre-existing tree patches with an expected extremely high impact on the UGI of Guimarães, similar to the very unfavorable climatic scenario (very pessimistic). The area occupied by trees or shrub and herbaceous vegetation allowed an important air cooling capacity. In addition, the soils being located in a higher area of the city allowed the retention of surface runoff, preventing/minimizing floods, namely in Rua da Caldeiroa, when extreme weather events such as excessive precipitation occurred. These urban ecosystem services have been irremediably disrupted in this area. It is now expected that in the remaining areas the worst-case scenario will not occur, but that future interventions will materialize favorable climatic conditions.

## Índice

Agradecimentos.....	i
Resumo.....	ii
Abstract.....	iii
Introdução.....	1
Objetivos do Trabalho.....	2
1.    Clima Urbano e Regulação Microclimática pelas Infraestruturas Verdes Urbanas.....	4
1.1.    Formação da Ilha de Calor Urbano.....	5
1.2.    Serviços Ecosistêmicos Urbanos e Regulação Microclimática pelas Infraestruturas Verdes Urbanas.....	7
2.    Caracterização das Áreas de Estudo.....	11
2.1.    Enquadramento Geográfico do Município de Guimarães.....	11
2.2.    Caracterização das Áreas Críticas de Regeneração e Expansão Urbana Seleccionadas na Cidade de Guimarães.....	16
3.    Análise Multiespectral do Ambiente Térmico em Guimarães.....	23
3.1.    Principais Componentes Biofísicas Derivadas por Índices Espectrais.....	23
3.2.    Caracterização do Ambiente Térmico com Base na Temperatura de Superfície.....	25
3.3.    Relação entre as Componentes Biofísicas e o Ambiente Térmico (Análise do Espaço TVX).....	28
4.    Avaliação da Capacidade de Arrefecimento do Ar sob Diferentes Cenários de Intervenção Urbanística nas Áreas Críticas de Estudo.....	31
4.1.    Avaliação da Capacidade de Arrefecimento do Ar.....	31
4.2.    Capacidade de Arrefecimento do Ar para a Situação de Referência (Ocupação do Solo Existente em 2018).....	36
4.3.    Capacidade de Arrefecimento do Ar para Cenários de Intervenção Urbanística.....	39
<i>Cenário 1A- Climaticamente Muito Desfavorável (Muito Pessimista)</i> .....	40
<i>Cenário 1B- Climaticamente Desfavorável (Pessimista)</i> .....	42
<i>Cenário 2- Climaticamente Muito Favorável (Muito Otimista)</i> .....	43
<i>Cenário 3- Climaticamente Favorável (Otimista/Realista)</i> .....	44
Notas Finais.....	46
Bibliografia.....	47

## Índice de Figuras

Figura 1- Avaliação da Capacidade de Arrefecimento do Ar pela Infraestrutura Verde Urbana (IVU).....	9
Figura 2- Enquadramento Geográfico do Município de Guimarães .....	11
Figura 3- Freguesias do município de Guimarães .....	12
Figura 4- Variação da População Residente em Guimarães entre os Censos de 2021 e 2011 .....	14
Figura 5- Variação dos Edifícios Existentes em Guimarães entre os Censos de 2021 e 2011 .....	15
Figura 6- Temperaturas do Ar em Braga (Normal Climatológica 1981-2010).....	15
Figura 7- Número de Dias para Limiares Significativos de Temperatura em Braga (Normal Climatológica 1981-2010).....	16
Figura 8- Zona e Áreas Críticas de Regeneração e Expansão Urbana Seleccionadas para o Estudo .....	17
Figura 9- Tipos de Ocupação e Uso do Solo na Zona de Estudo em Guimarães, 2018.....	18
Figura 10- Classificação das Áreas Críticas em Estudo segundo o PDM de Guimarães .....	19
Figura 11- Área Crítica 5 em junho de 2021 .....	22
Figura 12- Área Crítica 5 em maio de 2019 .....	22
Figura 13- NDVI em Guimarães, a 18 de agosto de 2018.....	24
Figura 14- UI em Guimarães, a 18 de agosto de 2018. ....	25
Figura 15- Temperatura de Superfície em Guimarães, 18 de agosto de 2018.....	26
Figura 16- Ilhas superficiais de calor em Guimarães, 18 de agosto de 2018. ....	27
Figura 17- IC em Guimarães, 18 de agosto de 2018. ....	28
Figura 18- Espaço TVX, por freguesia, em Guimarães.....	29
Figura 19- Metodologia para a Avaliação da Capacidade de Arrefecimento do Ar.....	32
Figura 20- Classes de Capacidade de Arrefecimento do Ar por Região Climática. ....	35
Figura 21- Capacidade de Arrefecimento por Combinação de Classes das Variáveis Analisadas.....	35
Figura 22- Cobertura do Solo nas Áreas Críticas e seu Contexto Espacial. ....	36
Figura 23- Cobertura Arbórea nas Áreas Críticas e seu Contexto Espacial.....	37
Figura 24- Dimensão dos Quarteirões nas Áreas Críticas e seu Contexto Espacial. ....	38
Figura 25- Capacidade de Arrefecimento para a Situação de Referência .....	39
Figura 26- Intervenções Alternativas de Melhoria e Consequências na Capacidade de Arrefecimento .....	40
Figura 27- Capacidade de Arrefecimento sob o Cenário 1A.....	41
Figura 28- Capacidade de Arrefecimento sob o Cenário 1B.....	43
Figura 29- Capacidade de Arrefecimento sob o Cenário 2 .....	44
Figura 30- Capacidade de Arrefecimento sob o Cenário 3 .....	45

## **Índice de Tabelas**

Tabela 1- Tipo de Uso do Solo e Respetivo Efeito Climático nas Áreas Urbanas .....	7
Tabela 2-Classificação dos Principais Serviços do Ecossistema Associados a Infraestruturas Verdes Urbanas ...	8
Tabela 3- Identificação (ID) das Freguesias de Guimarães .....	13
Tabela 4- Identificação (ID) das Freguesias de Guimarães, no Espaço TVX .....	30
Tabela 5- Dados da Avaliação da Capacidade de Arrefecimento para a Situação de Referência.....	38
Tabela 6- Dados da Avaliação da Capacidade de Arrefecimento para o Cenário 1A.....	41
Tabela 7- Dados da Avaliação da Capacidade de Arrefecimento para o Cenário 1B.....	42
Tabela 8- Dados da Avaliação da Capacidade de Arrefecimento para o Cenário 2 .....	43
Tabela 9- Dados da Avaliação da Capacidade de Arrefecimento para o Cenário 3 .....	45



## **Índice de Abreviaturas**

Fr- Fração da vegetação

IC -Ilhas de Calor

IPCC- Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas

IVU- Infraestrutura Verde Urbana

ORU- Operação de Reabilitação Urbana

SE - Serviços Ecosistêmicos

TS- Temperatura de superfície

## Introdução

Os 'Serviços do Ecossistema' ou 'Serviços Ecossistêmicos' (SE) compreendem os contributos, diretos e indiretos, da estrutura e processos dos ecossistemas para o bem-estar humano (Burkhard *et al.*, 2012). Este conceito surgiu pela primeira vez em 1981 como uma evolução do termo 'serviços ambientais' (Ehrlich e Ehrlich, 1981), mas durante algum tempo ficou confinado aos limites disciplinares da Ecologia da Conservação. De facto, só no final da década de 1990, viria o conceito de SE para o primeiro plano do debate científico. Em 1997, uma visão holística dos SE foi formulada por um grupo de ecologistas e economistas na sua tentativa de calcular o valor económico total da biosfera baseado nos SE (Costanza *et al.*, 1997), gerando um interesse rápido nesta temática (Geneletti *et al.*, 2020). Em 2005, o estudo do Millenium Ecosystem Assessment (MEA), estabilizou a classificação do SE. Assim, os principais tipos de SE (MEA, 2005) são os seguintes:

- Serviços de Aprovisionamento: bens que os ecossistemas fornecem diretamente para consumo humano. Neste tipo de SE, enquadram-se os recursos como alimentos, matérias-primas, água potável, recursos genéticos ou medicinais (De Groot *et al.*, 2002);
- Serviços de Regulação: benefícios obtidos através das funções de regulação dos processos naturais;
- Serviços Culturais: experiências proporcionadas pelos ecossistemas, com relação ao lazer, recreação, educação, valorização estética, que promovem as relações sociais e conferem identidade cultural (De Groot *et al.*, 2002);
- Serviços de Suporte: estão na base de outros serviços ecossistêmicos, sendo indispensáveis à sua realização (por exemplo, ciclo dos nutrientes, produção de oxigénio; De Groot *et al.*, 2002).

Segundo Geneletti *et al.* (2020), os serviços de regulação asseguram condições do ambiente urbano favoráveis à população residente, particularmente através da regulação hidrológica (ao diminuir a escorrência superficial e a ocorrência de alagamentos e inundações fluviais) e da regulação climática (ao moderar os extremos térmicos e aumentando a humidade do ar), ambas proporcionadas pelo conjunto dos espaços verdes ou Infraestruturas Verdes Urbanas (IVU).

Se, a par de funções naturais reguladoras, forem proporcionadas condições adequadas para a recreação e o lazer, bem como para a melhoria da qualidade estética e visual urbana e novas oportunidades para o enriquecimento cultural e a preservação da identidade e sentido de lugar, então os SE promovidos pelas IVU poderão oferecer igualmente uma série de benefícios não materiais que são essenciais para

o ser humano e o bem-estar da sociedade em cidades (Gómez-Baggethun e Barton 2013; Elmqvist *et al.*, 2016).

Sabendo que as cidades se encontram entre as áreas mais vulneráveis às alterações climáticas (EEA, 2012) e que os problemas climáticos urbanos mais frequentes estão associados a uma elevada carga térmica e ao sobreaquecimento do ar (Alcoforado *et al.*, 2006; Pinheiro e Laranjeira, 2013), um dos principais desafios do século XXI é o da adaptação climática nestas áreas (EEA, 2012), cujas ações passam necessariamente pela preservação e/ou incremento dos SE de regulação climática das IVU. Não obstante este facto, continuam a observar-se operações urbanísticas, quer de expansão quer de regeneração/reabilitação, responsáveis pela drástica eliminação da vegetação arbórea preexistente e a total impermeabilização do solo, que comprometem irremediavelmente a capacidade de adaptação climática das cidades onde ocorrem.

## **Objetivos do Trabalho**

Nesta dissertação pretendeu-se compreender de que modo diferentes opções de reabilitação e expansão urbana podem ter impacto sobre os SE prestados pelas áreas sujeitas a estes tipos de intervenção. O SE analisado remete para a regulação microclimática, especificamente a capacidade de arrefecimento do ar associada à presença de vegetação arbórea e ao tipo de cobertura do solo em determinados quarteirões urbanos. A cidade de Guimarães serviu de base a este trabalho, tendo sido selecionados cinco quarteirões que constituem áreas críticas do ponto de vista da consolidação e da expansão futura do núcleo central da cidade, de acordo com a sua classificação constante no Plano Diretor Municipal (PDM) em vigor.

Posto isto, o objetivo principal deste trabalho consistiu em avaliar a capacidade de arrefecimento do ar pelas cinco áreas críticas da cidade de Guimarães selecionadas, sob diferentes cenários de ocupação do solo resultantes de distintas opções de intervenção urbanística, implicando desde a total eliminação da vegetação preexistente e a impermeabilização da superfície do quarteirão até ao acréscimo da mancha arbórea e da cobertura vegetal do solo (vegetação herbácea), tomando por referência a situação de 2018, de acordo com o Urban Atlas. A metodologia adotada para a avaliação da capacidade de arrefecimento do ar, por variados tipos de ocupação do solo, foi desenvolvida por Geneletti *et al.* (2016) e Zardo *et al.* (2017), e aplicada neste estudo aos Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

Além disto, e dada a temática central da dissertação, consistiu um objetivo específico do presente trabalho a caracterização preliminar do ambiente térmico do município de Guimarães, com base na variação espacial da temperatura de superfície e sua relação com a componente biofísica da 'vegetação', de acordo com o modelo V-I-S (Vegetação - Impermeável - Solo) para o estudo do 'ecossistema urbano' por detecção remota (Ridd, 1995). Neste sentido, recorreu-se à integração da detecção remota e SIG para a realização da análise multiespectral de uma imagem de verão (agosto) de 2018 do arquivo Landsat.

## **1. Clima Urbano e Regulação Microclimática pelas Infraestruturas Verdes Urbanas**

As alterações climáticas decorrentes do aquecimento global da atmosfera são um facto incontornável. De acordo com o relatório de avaliação do IPCC (2019), a concentração de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera terrestre aumentou significativamente desde o período pré-industrial, tendo-se como principais emissores a queima dos combustíveis fósseis e a alteração dos usos de solo, com particular destaque para a desflorestação massiva, em que grandes manchas de floresta são destruídas para dar lugar a extensas áreas de pastoreio ou áreas de cultivo extensivo de uma só espécie vegetal. Como consequência, são suprimidos os SE que as florestas oferecem, nomeadamente é anulado o potencial de sequestro e retenção do CO<sub>2</sub> atmosférico através das árvores e do solo.

Segundo o IPCC (2019), estima-se que os vários tipos de atividade humana tenham provocado um aumento da temperatura global do ar de cerca de 1,0°C em relação aos níveis pré-industriais, com uma variação de 0,8°C-1,2°C. Caso não se verifique uma mudança drástica na tendência atual, as projeções climáticas apontam para um aumento até 1,5°C entre 2030 e 2052, com o agravamento dos fenómenos extremos que advém deste aquecimento da atmosfera. Com efeito, projeta-se o aumento da frequência de eventos de calor extremo durante períodos mais longos, a maior ocorrência de chuvas intensas em certas regiões e em simultâneo a probabilidade acrescida de ocorrerem secas prolongadas noutras regiões.

As áreas urbanas encontram-se numa posição particular no que respeita as alterações climáticas. Por um lado, o processo de urbanização acarreta alterações do uso do solo, responsáveis pelo aumento da temperatura de superfície (Weng, 2012; Pinheiro e Laranjeira, 2015; Pinheiro, 2020) e a redução do sequestro do CO<sub>2</sub>, constituindo as cidades sede de consideráveis emissões de calor antrópico, gases poluentes e poeiras com efeito de estufa (Alcoforado *et al.*, 2006; Oke *et al.*, 2017). E, por outro lado, é nas cidades que se concentra a maioria da população mundial, pelo que estas representam uma das áreas mais vulneráveis aos riscos associados aos extremos climáticos.

Em seguida, faz-se um breve enquadramento teórico sobre os fatores na base da diferenciação do clima urbano e da importância dos espaços verdes ou IVU para a regulação microclimática, nomeadamente a amenização da temperatura do ar.

## 1.1. Formação da Ilha de Calor Urbano

Segundo Ganho (1999), a diferenciação de um clima urbano no contexto de uma determinada região climática resulta da substituição da cobertura vegetal do solo por materiais como a pedra, o cimento e o asfalto, da geometria da malha urbana e das modificações na composição da baixa atmosfera inerentes ao desenvolvimento das atividades humanas. Monteiro e Mendonça (2003) acrescentam que “a materialidade física da cidade e as atividades dela decorrentes” causam alterações nos balanços hídrico, térmico e energético, assim como implicam modificações importantes nas propriedades físicas e químicas da atmosfera, promovendo a criação de condições climáticas distintas daquelas que caracterizam as áreas não urbanizadas. Com efeito, a ilha de calor urbano é o exemplo mais bem documentado de uma modificação climática induzida pelo ser humano (Oke *et al.*, 2017).

A ilha de calor urbano designa o fenómeno do sobreaquecimento da atmosfera urbana, demonstrado pelo registo da temperatura do ar que tende a ser mais elevada nas áreas urbanas do que nas áreas rurais que as circundam (Oke *et al.*, 2017). O fenómeno da ilha de calor urbano tem sido observado em todo o globo, e amplamente atribuído à alteração das trocas de energia entre as superfícies e a baixa atmosfera em meio urbano (Lopes, 2008; Weng, 2012). A substituição de superfícies naturais, permeáveis e com cobertura vegetal, por superfícies constituídas por materiais artificiais impermeáveis acarreta por um lado uma grande absorção e armazenamento de radiação solar que é posteriormente libertada sob a forma de calor para a baixa atmosfera, e por outro lado torna a evapotranspiração inexistente ou muito reduzida, reduzindo drasticamente o calor latente (Weng, 2012) e consequentemente o processo do arrefecimento evaporativo do ar (Geneletti *et al.*, 2016).

Em síntese, os fatores que se encontram na origem do aumento da temperatura do ar e da formação da ilha de calor na atmosfera urbana são os seguintes (Alcoforado *et al.*, 2006; Lopes, 2008; Oke *et al.*, 2017):

- O aumento da absorção e armazenamento da radiação solar pelas superfícies, provocado pelo baixo albedo e propriedades térmicas dos materiais de construção e dos pavimentos;
- O calor gerado pelas atividades humanas, como o tráfego rodoviário e sistemas de climatização;
- A remoção de vegetação e de superfícies evaporativas, que conduz a uma diminuição do calor latente e ao aumento do calor sensível na baixa atmosfera;

- A lenta libertação ao longo da noite do calor absorvido durante o dia pelos materiais construtivos, devido à sua levada inércia térmica;
- O aumento da retenção da radiação infravermelha abaixo do nível da cobertura dos edifícios, devido à geometria e densidade do edificado;
- A emissão de poluentes atmosféricos (gases e poeiras) com efeito de estufa;
- A redução da circulação do ar no interior da malha urbana que causa uma menor dispersão dos poluentes atmosféricos e do calor na baixa atmosfera.

Convém salientar que, na realidade, se podem distinguir três tipos de ilha de calor, em função do nível a que se formam (Alcoforado *et al.*, 2006), sendo elas:

- Ilha de calor de superfície, que delimita as superfícies que libertam mais calor sob a forma de radiação infravermelha e calor sensível (Lopes, 2008). Por sua vez, este calor é transferido para a atmosfera urbana inferior (Lopes, 2008);
- Ilha de calor da atmosfera urbana inferior, que se forma quando o ar entre o nível da superfície e o nível médio do topo dos edifícios fica sobreaquecido. O fenómeno da ilha de calor urbano refere-se em sentido restrito a este tipo específico (Alcoforado *et al.*, 2006);
- Ilha de calor da atmosfera urbana superior, que se forma acima das coberturas dos edifícios.

Estas ilhas de calor relacionam-se entre si, mas são caracterizadas por terem magnitudes e dinâmicas temporais distintas (Alcoforado *et al.*, 2006). No caso da ilha de calor superficial, esta identifica-se por valores da temperatura de superfície mais elevados associados a determinados tipos de cobertura do solo e materiais de construção, e varia em função do respetivo albedo, admitância térmica e outras propriedades térmicas e radiativas (Voogt e Oke, 2003). Assim, o modo como a radiação solar é refletida ou absorvida, bem como o calor é armazenado e libertado para a atmosfera urbana inferior a partir das diversas superfícies, influencia os valores da temperatura do ar (Lopes, 2008) e, conseqüentemente a formação da ilha de calor correspondente.

Nos últimos anos, com o desenvolvimento da deteção remota, tornou-se mais fácil analisar os fatores subjacentes à formação da ilha de calor superficial urbana e, ao mesmo tempo, compreender melhor de que forma a vegetação influencia o ambiente térmico das cidades. Com efeito, tendo por análise os vários tipos de superfície (natural ou artificial) e os diferentes usos do solo que podem existir em espaço urbano, pode-se afirmar que as cidades são compostas por um mosaico de áreas quentes (como as áreas densamente construídas, industriais ou de tráfego intenso) e de áreas frescas (como os espaços

verdes), (Eliasson, 2000; Alcoforado *et al.*, 2006; Pinheiro e Laranjeira, 2013). Como tal, podem ser distinguidos microclimas urbanos, favoráveis ou desfavoráveis ao conforto térmico e qualidade do ar, bem como à eficiência energética (Tabela 1).

Tabela 1- Tipo de Uso do Solo e Respetivo Efeito Climático nas Áreas Urbanas

<b>Usos do Solo</b>	<b>Consequências para o Clima Urbano</b>
Bairros residenciais de construção dispersa (moradias com jardim)	Microclima favorável
Edificação densa Polígonos industriais e instalações de uso técnico	Sobreaquecimento do ar; Produção de poluentes atmosféricos
Lotes vagos no centro da cidade	Microclima relativamente favorável
Espaços verdes e recreativos	Microclima favorável Filtração de partículas
Zonas de tráfego rodoviário, ruas e praças Instalações e tráfego ferroviário Vias fluviais e Portos	Sobreaquecimento do ar; Produção de poluentes atmosféricos; Produção de ruído
Bosques/Florestas urbanas	Microclima favorável Sequestro e armazenamento de carbono Filtração de partículas
Campos agrícolas Hortas urbanas	Microclima favorável Produção de poluentes atmosféricos
Corpos de água	Microclima favorável

Fonte: Modificado de Sukopp e Werner, 1983, citado por Palomo, 2003

## **1.2. Serviços Ecossistémicos Urbanos e Regulação Microclimática pelas Infraestruturas Verdes Urbanas**

Os SE urbanos podem ser definidos como aqueles que são produzidos pelas estruturas ecológicas em áreas urbanas e periurbanas (Jansson, 2013). Estas estruturas ecológicas, ou infraestruturas verdes, incluem várias tipologias de espaços verdes, tanto públicos como privados, que se caracterizam por coberturas do solo, estratificação e composição da vegetação muito distintas. Consequentemente, os SE urbanos que serão prestados (Tabela 2) dependem diretamente do tipo de infraestruturas verdes que uma dada cidade apresenta (Bacelar-Nicolau, 2019), desde pequenas florestas urbanas, parques urbanos, jardins e hortas urbanas até árvores de rua, edifícios verdes com pequenas hortas nas varandas e edifícios com telhados verdes. Também podem ser incluídas pequenas hortas e campos agrícolas



periurbanos. No entanto, salienta-se a importância das manchas florestais e das árvores “que desempenham funções de regulação da radiação, temperatura, composição do ar e propagação do ruído, aumentando o conforto, melhorando a qualidade do ar, reduzindo os riscos e ainda os encargos com energia e saúde, o que corresponde a serviços do ecossistema da maior relevância para as comunidades urbanas” (Azevedo, 2011).

Tabela 2-Classificação dos Principais Serviços do Ecossistema Associados a Infraestruturas Verdes Urbanas

<b>Tipologia</b>	<b>Serviço do Ecossistema</b>	<b>Exemplo</b>
Serviços de Aprovisionamento	Provisão de alimentos	Hortas urbanas, campos agrícolas periurbanos, hortas em varandas dos edifícios
Serviços de Regulação	Regulação hidrológica	Interceção da chuva pela copa das árvores, vegetação arbustiva e herbácea, possibilitando a sua infiltração no solo e a diminuição da escorrência superficial
	Regulação microclimática	Sombra fornecida pelas árvores e evapotranspiração pela vegetação e solos, atenuando a temperatura do ar e aumentando a humidade atmosférica (diminuição da ilha de calor e da magnitude dos eventos térmicos extremos); bloqueio do vento pela vegetação; sequestro do carbono pela vegetação e solos
	Purificação do ar	Remoção de poluentes atmosféricos, produção de oxigénio e filtração de poeiras
	Atenuação da poluição sonora	Absorção do ruído pela vegetação
	Polinização e dispersão de sementes	Jardins, canteiros, hortas urbanas
Serviços culturais	Lazer e recreação; atividade física; inclusão social; sensibilização e conhecimento ambiental	Parques, jardins, hortas urbanas

Fonte: Adaptado de Bacelar-Nicolau (2019)

Os SE urbanos são essenciais não só para o melhor funcionamento ecológico, climático e hidrológico das cidades, como também para a melhoria das relações sociais, o bem-estar e a saúde humana, contribuindo assim para a sustentabilidade e resiliência urbana (Bacelar-Nicolau, 2019). Porém, um fator determinante para a adequada prestação dos SE urbanos é a distribuição espacial das IVU, pois a importância das funções que os espaços verdes podem desempenhar é diretamente condicionada pela sua localização relativa na malha urbana, uma vez que dependente da relação espacial entre as áreas

de produção e as áreas de benefício dos SE (Fisher *et al.*, 2009; Geneletti *et al.*, 2020). No entanto, Bacelar-Nicolau (2019) nota que o desenho, gestão e manutenção das áreas verdes urbanas ignoram frequentemente o espaço envolvente, desde a componente construída ao comportamento e hábitos humanos. Assim sendo, as IVU quase sempre servem a função estética, mas a tipologia, dimensão, composição vegetal, localização relativa e continuidade física podem determinar que pouco ou nenhum impacto tenham sobre a regulação do ambiente urbano. Não obstante as limitações apontadas, a promoção das IVU é uma das estratégias de adaptação às alterações climáticas mais referida e aplicada atualmente nas cidades (EEA, 2021) com o objetivo de beneficiar do SE de regulação microclimática e minimizar os efeitos negativos do calor extremo no verão (Figura 1).

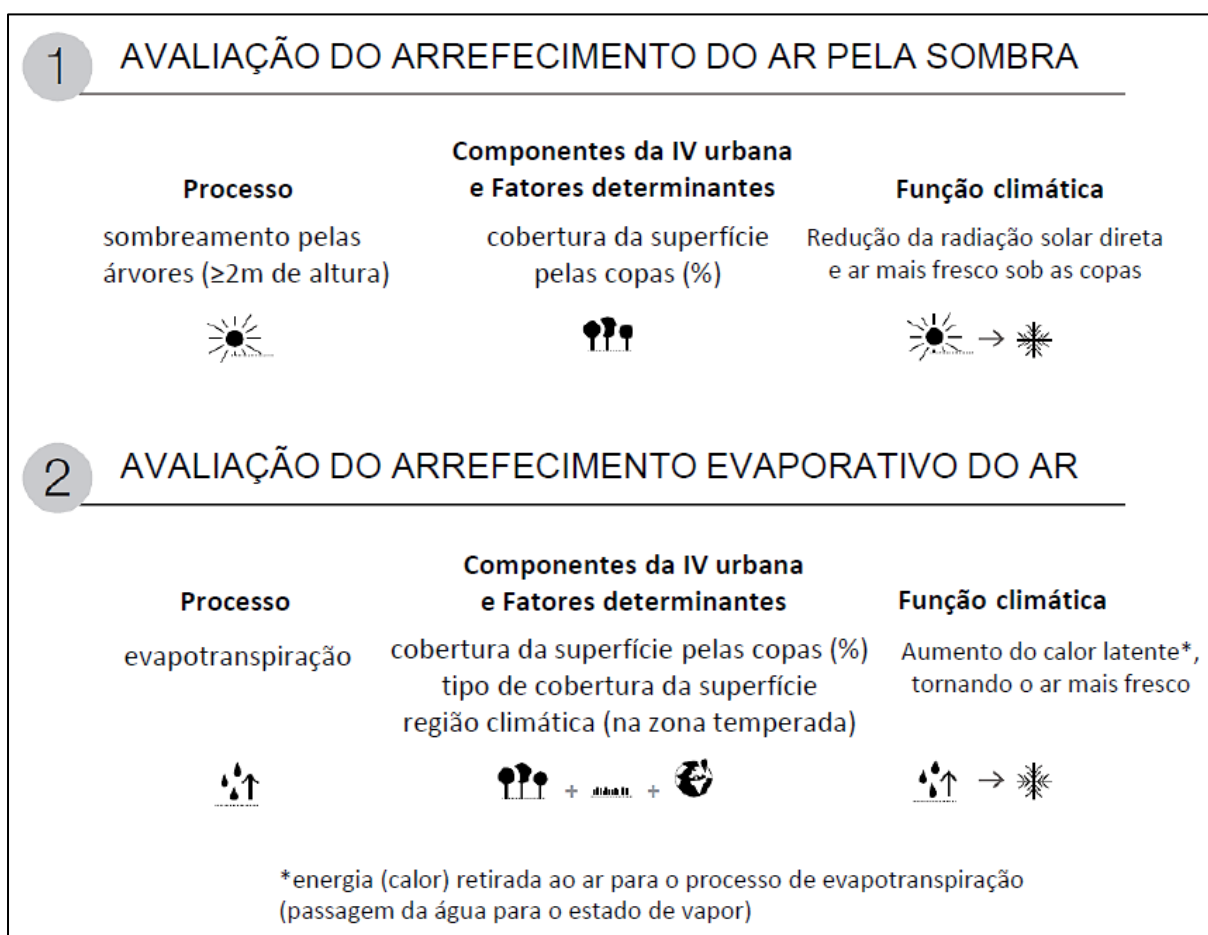


Figura 1- Avaliação da Capacidade de Arrefecimento do Ar pela Infraestrutura Verde Urbana (IVU)

Fonte: Baseado em Zardo *et al.* (2017) e Geneletti *et al.* (2016)

A capacidade de arrefecimento do ar através dos processos de sombreamento pelas árvores e da evapotranspiração pelo solo e cobertura vegetal, ilustrados e explicados na Figura 1, contribui para a redução das altas temperaturas causadas pela ilha de calor urbano e os eventos térmicos extremos como as ondas de calor, promovendo assim o combate aos riscos relacionados com a saúde da população (Lafortezza *et al.*, 2013; Escobedo *et al.*, 2015; Koomen e Diogo, 2015). Na zona temperada, as IVU podem localmente baixar a temperatura diurna do ar até 6°C em regiões com clima mediterrâneo, e até 3,5°C em regiões com clima atlântico (Geneletti *et al.*, 2016); Zardo *et al.*, 2017). A redução da temperatura é mais expressiva em áreas de maciços arbóreos densos (Teles, 2013). Com efeito, simulações numéricas sugerem que um aumento da cobertura de árvores em 25% diminui a temperatura do ar de 3,3°C a 5,6°C no verão; no entanto, outros estudos mostram pouco ou nenhum efeito dos espaços verdes sobre a temperatura do ar dentro da malha urbana, independentemente da cobertura de árvores (Souch e Souch, 1993).

## 2. Caracterização das Áreas de Estudo

Este trabalho debruçou-se sobre o município de Guimarães, numa primeira etapa, e sobre determinadas áreas localizadas no interior ou imediatamente adjacentes ao tecido consolidado do centro da cidade, numa segunda etapa. Neste sentido, segue-se um breve enquadramento geográfico de Guimarães, bem como a caracterização das áreas críticas selecionadas no contexto da cidade, em função da ocupação e uso do solo referentes ao ano de 2018, de acordo com a versão mais atual do Urban Atlas à data da realização da dissertação, e da respetiva classificação no âmbito do PDM em vigor.

### 2.1. Enquadramento Geográfico do Município de Guimarães

O município de Guimarães, localizado no noroeste de Portugal Continental (Figura 2), possui uma área de aproximadamente 240,95 km<sup>2</sup> e integra a unidade administrativa para fins estatísticos NUTS III do Ave. É limitado a norte pelos concelhos de Braga e Póvoa de Lanhoso, a este por Fafe, a sul por Felgueiras, Vizela e Santo Tirso, e a oeste por Vila Nova de Famalicão.

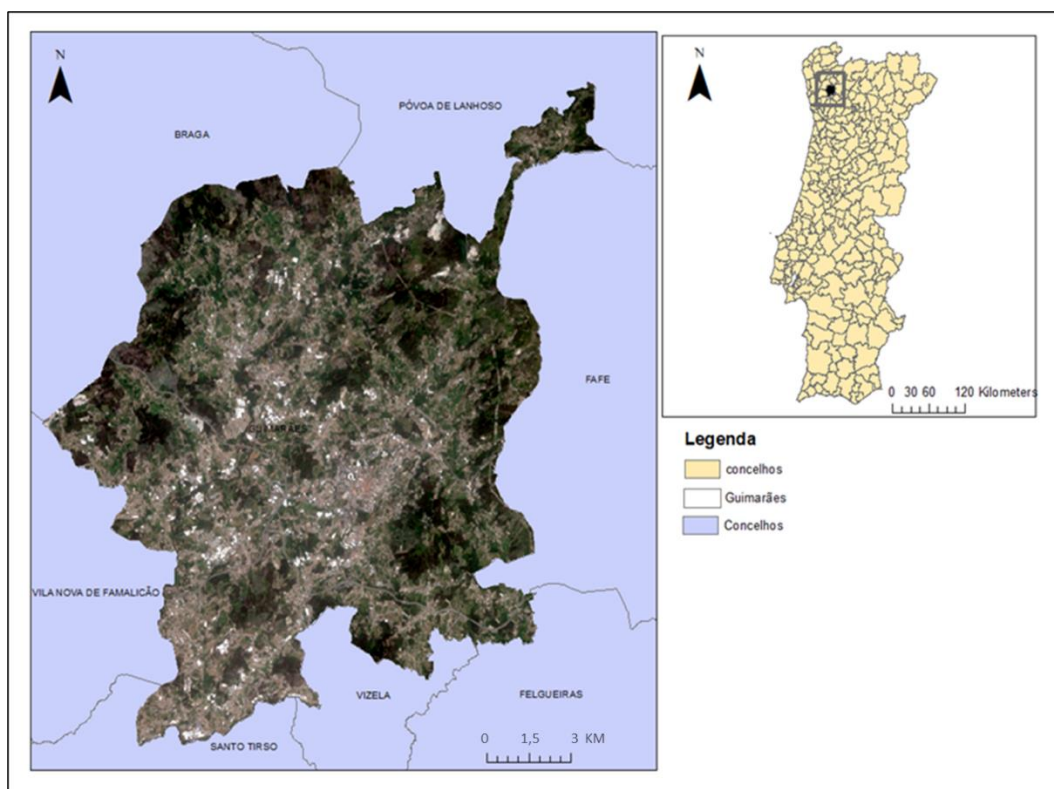


Figura 2- Enquadramento Geográfico do Município de Guimarães

O território vimaranense caracteriza-se por uma urbanização difusa, embora existam vários núcleos de maior consolidação urbana, que se encontram maioritariamente no centro e sul do município (Figura 2), sendo também estas as áreas com maior concentração de indústrias. Assim, para além da cidade propriamente dita de Guimarães, destacam-se neste território as vilas de Brito, Lordelo, Moreira de Cónegos, Pevidém, Ponte, Ronfe, Serzedelo, S. Torcato e Taipas.

No que diz respeito às principais manchas florestadas, existem três áreas primordiais (Figura 2): a noroeste, os Montes de Outeiro e Penedice, Sameiro e Falperra; a Senhora do Monte e o Monte de Santa Catarina/Penha, a sul e sudeste.

Administrativamente, o município encontra-se atualmente subdividido em 48 freguesias (Figura 3 e Tabela 3).

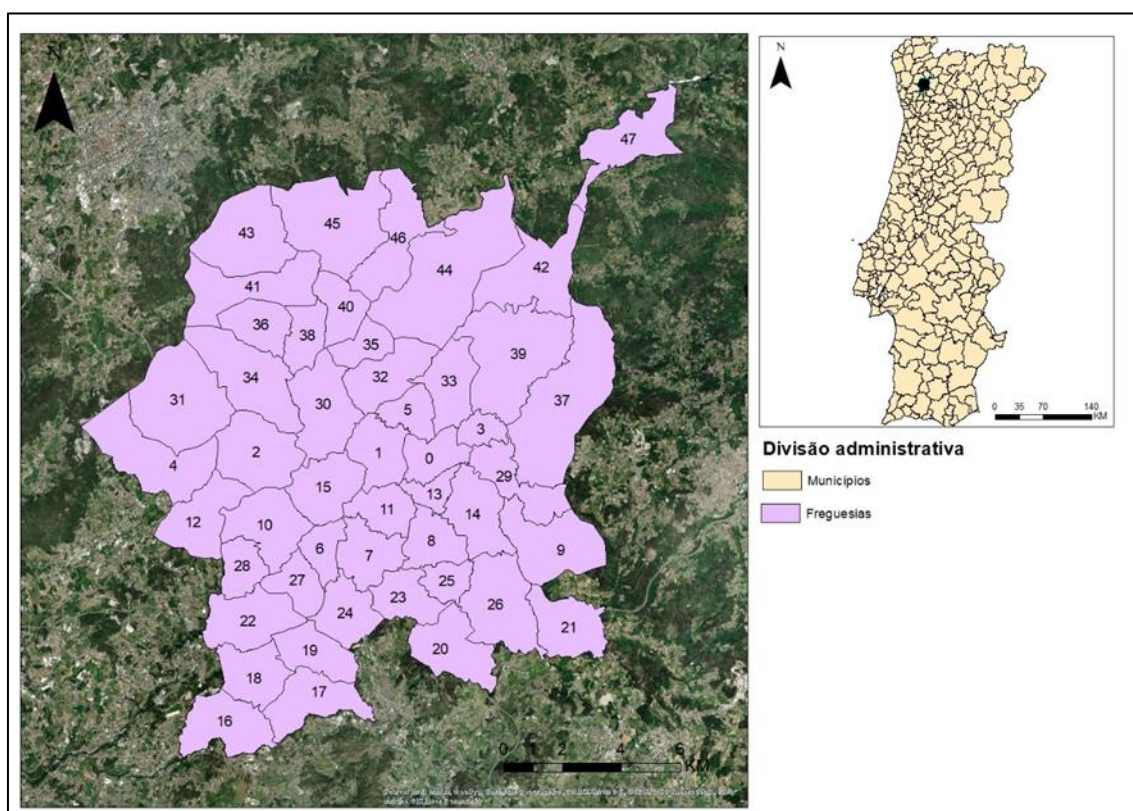


Figura 3- Freguesias do município de Guimarães  
(ver a Tabela 3, no texto, para a identificação das freguesias)

Tabela 3- Identificação (ID) das Freguesias de Guimarães

ID	Freguesia	ID	Freguesia
0	Azurém	24	Nespereira
1	Fermentões	25	Pinheiro
2	Brito	26	União das freguesias de Aباção e Gémeos
3	Aldão	27	Selho (São Cristóvão)
4	União das freguesias de Airão Santa Maria, Airão São João e Vermil	28	Gondar
5	Pencelo	29	Mesão Frio
6	Candoso (São Martinho)	30	Ponte
7	União das freguesias de Candoso São Tiago e Mascotelos	31	União das freguesias de Leitões, Oleiros e Figueiredo
8	Urgezes	32	União das freguesias de Prazins Santo Tirso e Corvite
9	Infantas	33	União das freguesias de Selho São Lourenço e Gominhães
10	Selho (São Jorge)	34	União das freguesias de Sande Vila Nova e Sande São Clemente
11	Creixomil	35	Prazins (Santa Eufémia)
12	Ronfe	36	Sande (São Martinho)
13	União das freguesias de Oliveira, São Paio e São Sebastião	37	União das freguesias de Atães e Rendufe
14	Costa	38	Caldelas
15	Silvares	39	São Torcato
16	Lordelo	40	Barco
17	Moreira de Cónegos	41	União das freguesias de Sande São Lourenço e Balazar
18	Guardizela	42	Gonça
19	União das freguesias de Conde e Gandarela	43	Longos
20	União das freguesias de Tabuadelo e São Faustino	44	União das freguesias de Souto Santa Maria, Souto São Salvador e Gondomar
21	União das freguesias de Serzedo e Calvos	45	União das freguesias de Briteiros São Salvador e Briteiros Santa Leocádia
22	Serzedelo	46	União das freguesias de Briteiros Santo Estêvão e Donim
23	Polvoreira	47	União das freguesias de Arosa e Castelões

(ver Figura 3, para a localização espacial)

Atendendo aos resultados provisórios dos Censos de 2021, divulgados pelo Instituto Nacional de Estatística (INE), no decurso dos últimos dez anos Guimarães sofreu uma quebra da população total residente de -0,8% (passando de 158088 para 156852 habitantes, entre 2011 e 2021), ficando assim consideravelmente abaixo da taxa de variação populacional do território nacional de -1,9%. Não obstante, verifica-se que quase todas as freguesias do município perderam população, com a exceção dos casos de Caldelas que teve um aumento de 10,2%, de Azurém com um crescimento de 8,7%, de Urgezes com 4,9%, da Costa com 4,8%, bem como das freguesias de Prazins (Santa Eufémia), Selho (São Jorge), União das Freguesias de Prazins, Santo Tirso e Corvite e União das Freguesias de Sande, São Lourenço

e Balazar com uma taxa de variação populacional entre 4% e 3% (Figura 4). Estes valores mostram assim um aumento expressivo da população residente em três das freguesias que circundam o centro histórico da cidade de Guimarães – ou seja, Azurém, Urgezes e Costa.

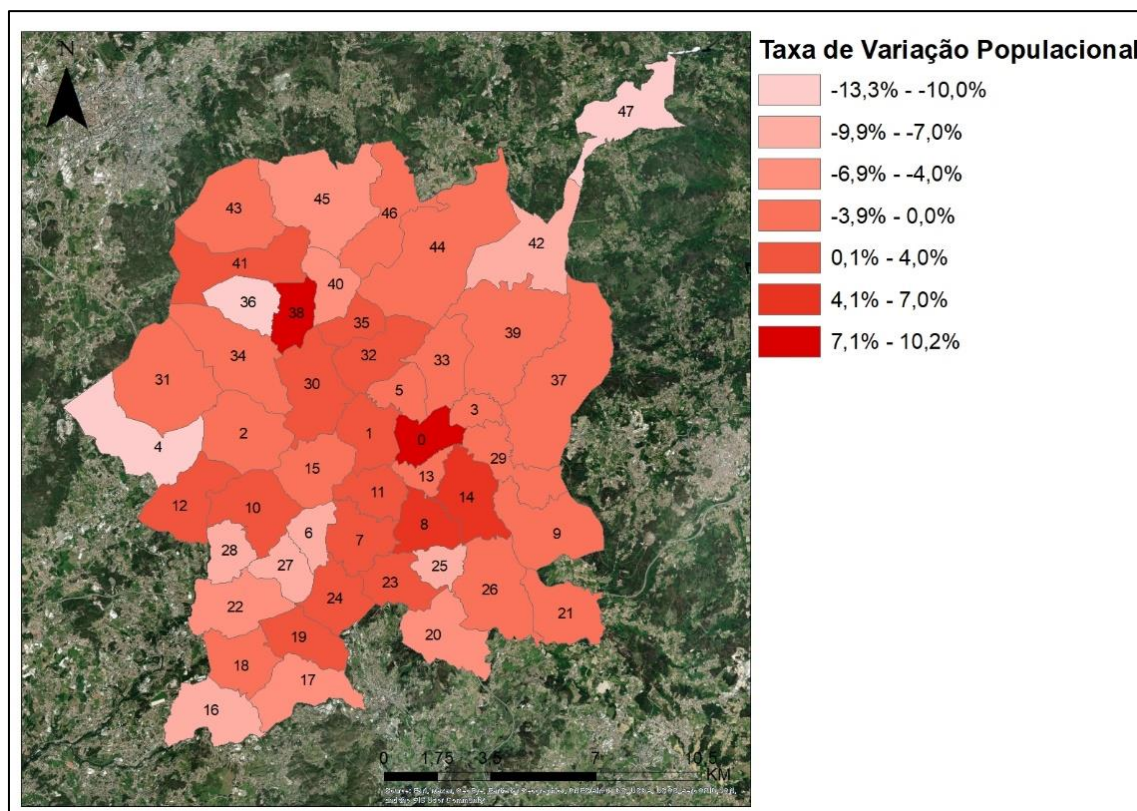


Figura 4- Variação da População Residente em Guimarães entre os Censos de 2021 e 2011

Fonte: INE (ver a Tabela 3, no texto, para a identificação das freguesias)

Paradoxalmente, a diminuição generalizada da população residente não foi acompanhada pela estabilização do tecido edificado. Na realidade, os resultados provisórios dos Censos de 2021 revelam que o número total de edifícios existentes aumentou em todas as freguesias (Figura 5), exceto em quatro (Serzedelo, União das Freguesias de Airão (Santa Maria), Airão (São João) e Vermil, Longos e Aldão). Além disso, verifica-se que, no seu conjunto, as taxas de variação do edificado mais elevadas ocorreram nas freguesias mais periféricas, sobretudo junto aos limites este e sul do município, assim como ao longo do eixo Fermentões - União das Freguesias de Prazins (Santo Tirso) e Corvite – Prazins (Santa Eufémia) – Barco, reforçando deste modo o padrão da urbanização difusa que caracteriza Guimarães. É ainda de realçar que, relativamente ao centro da cidade de Guimarães, apenas Azurém e Urgezes apresentam simultaneamente consideráveis taxas de variação positiva da população residente e dos edifícios (Figuras 4 e 5), o que dá conta da importância da expansão e consolidação do núcleo urbano em direção a estas freguesias, no período entre 2011 e 2021.

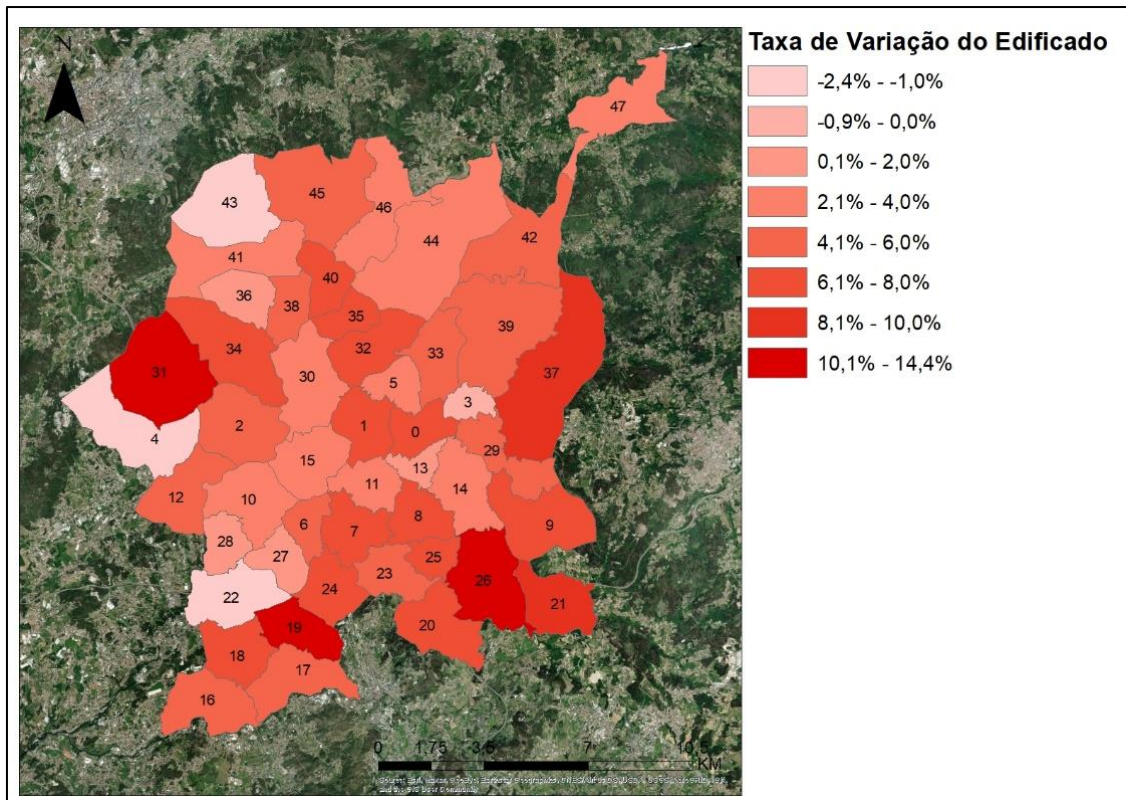


Figura 5- Variação dos Edifícios Existentes em Guimarães entre os Censos de 2021 e 2011

Fonte: INE (ver a Tabela 3, no texto, para a identificação das freguesias)

Devido à sua localização geográfica, Guimarães caracteriza-se pelo clima temperado com características mediterrânicas, mas onde se verifica também uma forte influência atlântica – ou seja, o clima temperado com verão seco e suave (Csb) (Figura 6), segundo a classificação climática de Köppen-Geiger (IPMA, 2022).

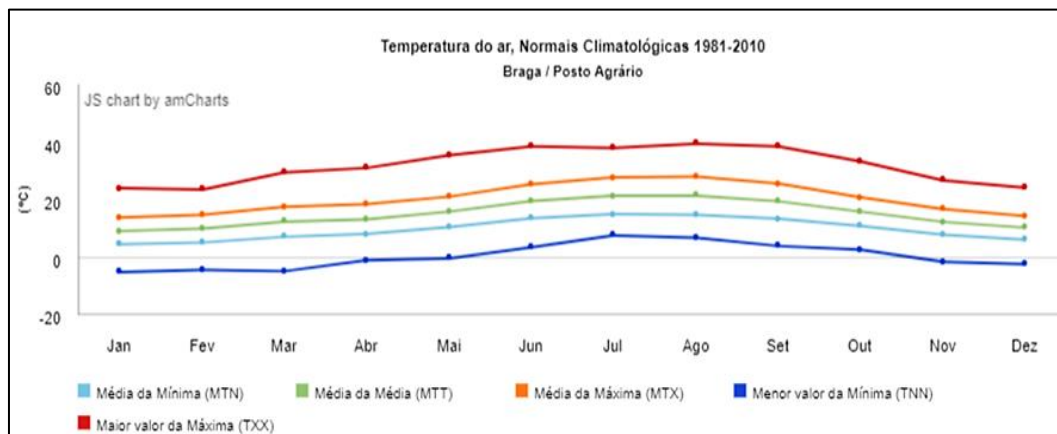


Figura 6- Temperaturas do Ar em Braga (Normal Climatológica 1981-2010)

Fonte: IPMA



Com recurso aos gráficos das Figuras 6 e 7, relativos aos dados da estação de Braga/Posto Agrário para a normal climatológica de 1981-2010, verifica-se que os máximos de temperatura igual ou superior a 25°C se tornam, em média, mais frequentes a partir de junho e até setembro, registando-se em mais de 20 dias nos meses de julho e agosto. Máximas diurnas de 30°C ou superiores registam-se, em média, sobretudo nestes dois meses, particularmente em julho (em mais de 10 dias).

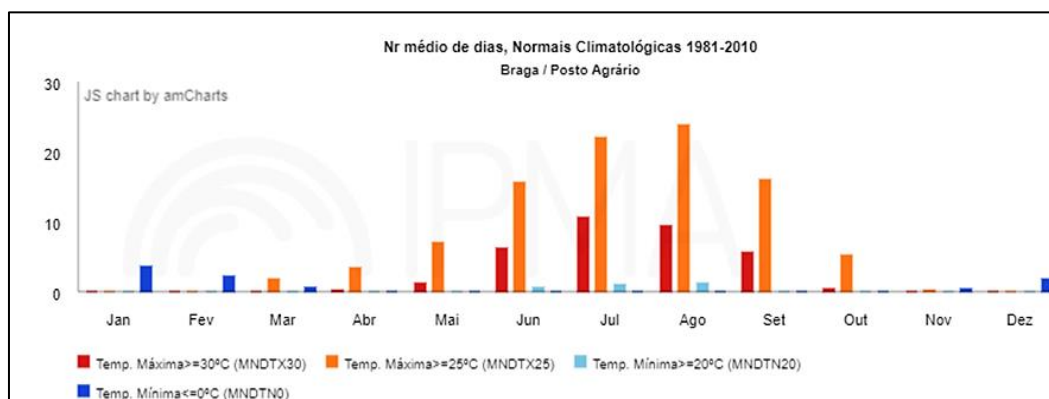


Figura 7- Número de Dias para Limiares Significativos de Temperatura em Braga (Normal Climatológica 1981-2010)

Fonte: IPMA

## 2.2. Caracterização das Áreas Críticas de Regeneração e Expansão Urbana Seleccionadas na Cidade de Guimarães

Para este estudo, foram seleccionadas cinco áreas críticas da cidade de Guimarães, no conjunto da zona urbana que marca a junção das freguesias de Creixomil, Urgezes e Costa (Figura 8), passando estas por:

- Três quarteirões adjacentes entre si, localizados nos limites da malha urbana contínua da cidade, junto à Avenida Dom João IV e já na encosta do Monte da Penha (designadas por áreas 1 a 4), que se encontram destinadas à expansão urbana, segundo o PDM de Guimarães;
- O quarteirão limitado pelas Rua Dom Afonso Henriques, Rua da Caldeiroa, Rua do Colégio Militar e a Rua Eduardo Manuel de Almeida (designado por área 5), objeto de uma Operação de Reabilitação Urbana (ORU) de acordo com o PDM de Guimarães.

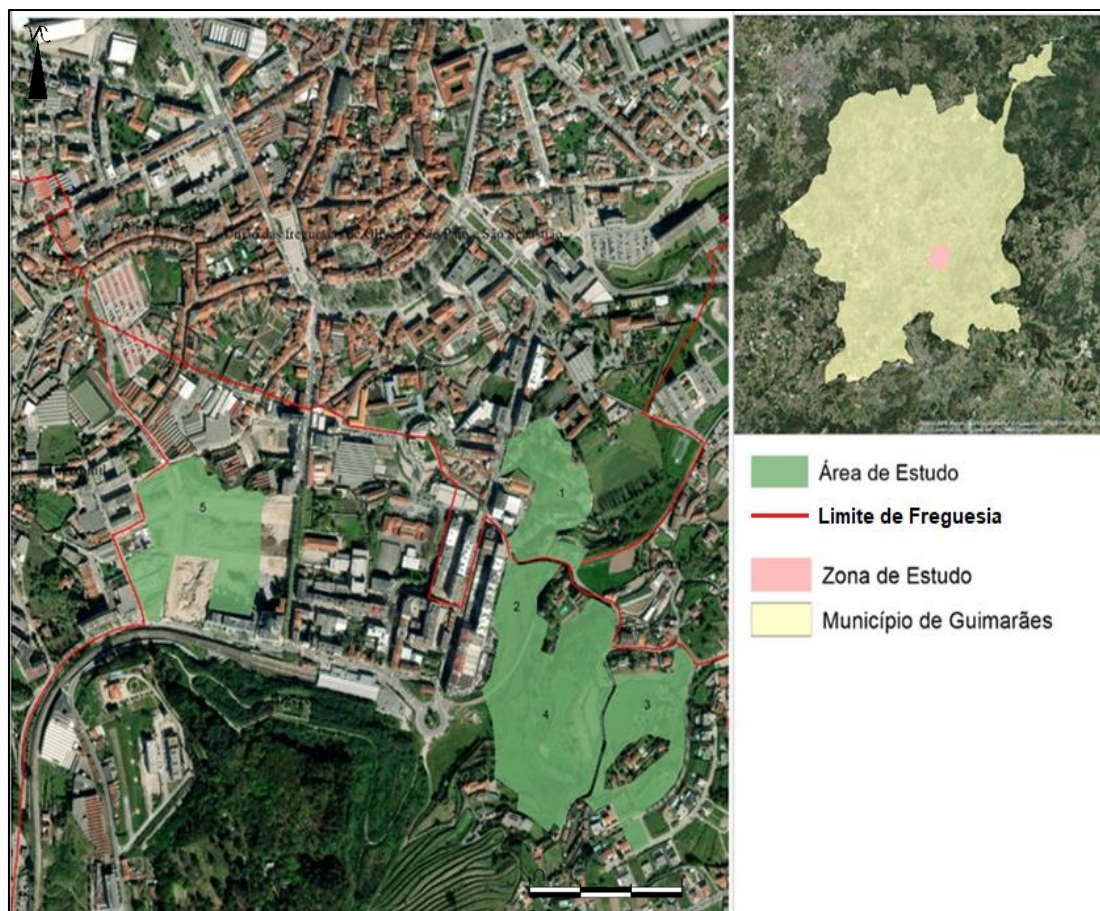


Figura 8- Zona e Áreas Críticas de Regeneração e Expansão Urbana Seleccionadas para o Estudo

Tendo por referência a situação de 2018, de acordo com o Urban Atlas, verifica-se que a superfície na zona de estudo se encontra na sua maioria ocupada com o tecido urbano contínuo e descontínuo denso do centro da cidade (Figura 9). É possível verificar ainda a existência de algumas áreas verdes no centro da cidade, contudo as principais manchas arbóreas, classificadas como ‘floresta’, surgem apenas na área 5 e a sul da cidade, junto à estação de comboios. Por seu lado, a área 1 detêm já uma ocupação como tecido urbano descontínuo de média densidade, enquanto as restantes constituem locais com uso agrícola ou pastos (Figura 9).

No seu conjunto, a zona de estudo é quase exclusivamente ocupada com construções para uso habitacional ou comercial, não existindo indústrias ativas neste local. O único uso do solo diferenciado é a estação ferroviária que delimita o fim da expansão urbana da cidade para sul, sendo que a futura expansão terá sempre de se realizar em direção a este, para a encosta do Monte da Penha.

Qualquer intervenção urbanística nesta zona de estudo deveria ter especial atenção ao facto de o nível de impermeabilização do solo ser relativamente elevado na maioria dos quarteirões (acima de 50%), pelo as áreas verdes existentes deveriam mantidas, de modo a evitar o efeito do aumento de temperatura

de superfície e conseqüentemente a intensificação e continuidade espacial de ilhas de calor superficial, permitindo o aumento do conforto térmico urbano quando ocorrem eventos de calor extremo.

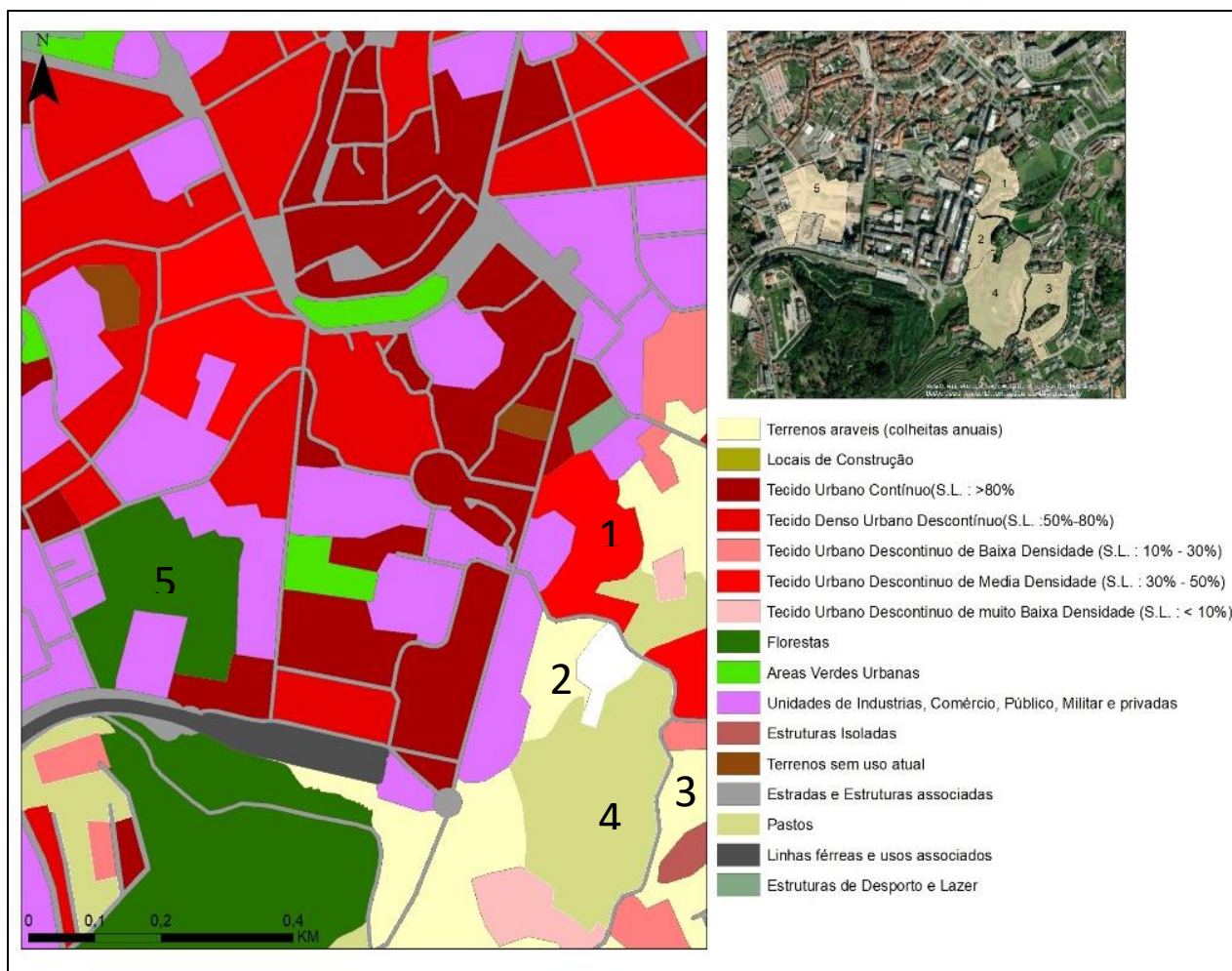


Figura 9- Tipos de Ocupação e Uso do Solo na Zona de Estudo em Guimarães, 2018

Fonte: Urban Atlas 2018

No PDM de Guimarães as áreas críticas seleccionadas encontram-se classificadas do seguinte modo (Figura 10): as áreas 1 e 5 como espaços centrais, em solo urbanizado; a área 2 como espaço central em solo urbanizável, e, as áreas 3 e 4 como solos de expansão urbana (urbanizável), mas para espaço residencial.

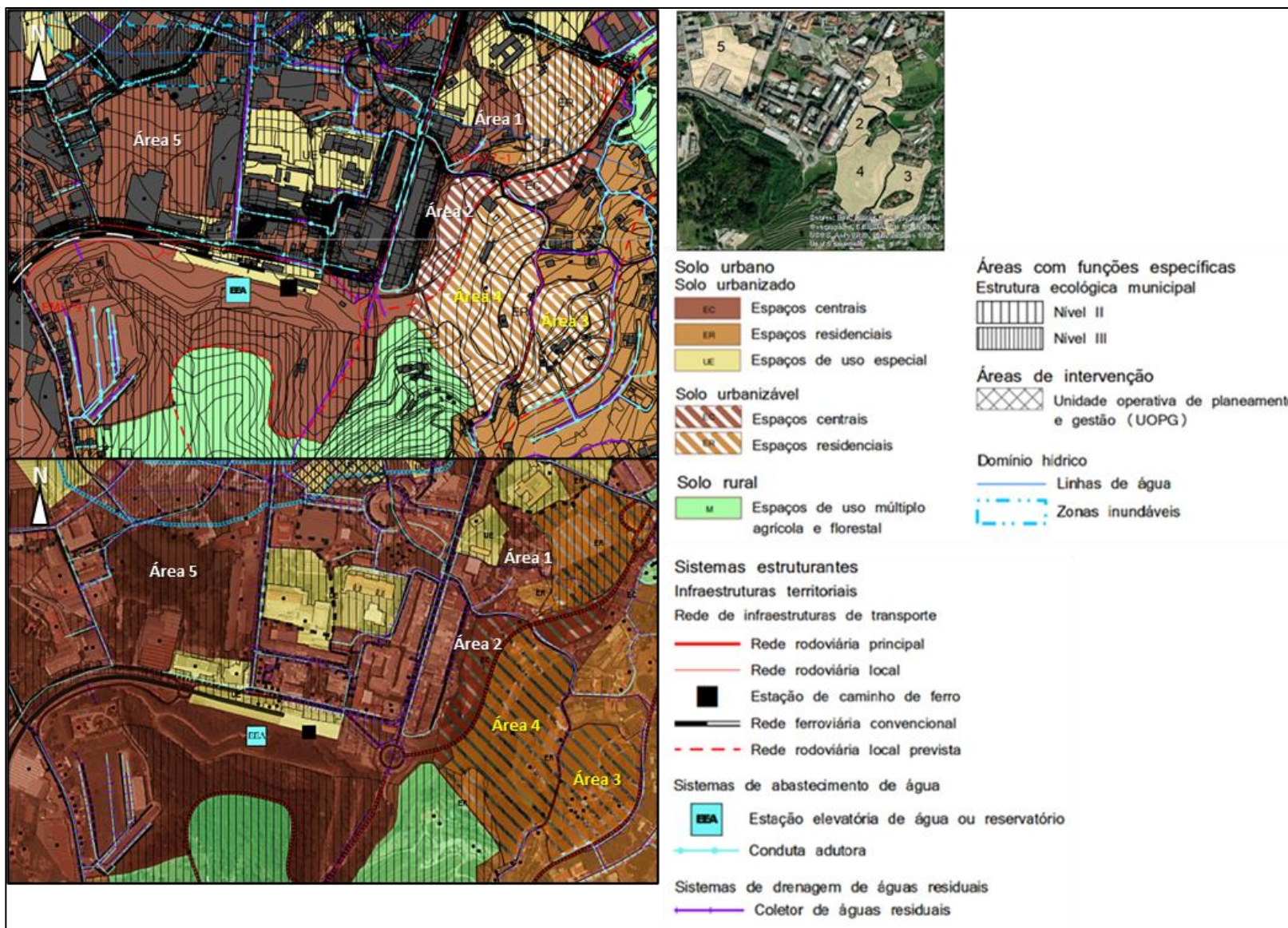


Figura 10- Classificação das Áreas Críticas em Estudo segundo o PDM de Guimarães

As disposições relativas às intervenções urbanísticas nestas áreas são assim distintas, pelo que é importante transcrever alguns artigos pertinentes a este propósito, de acordo com o regulamento do PDM em vigor:

- SOLO URBANO, Artigo 69º – Disposições gerais: O solo urbano destina-se preferencialmente à urbanização e edificação adequada à salvaguarda e desenvolvimento das atividades habitacionais, comerciais, de serviços, lazer e recreio, turísticas, produtivas e de logística.
- SOLO URBANIZADO, Artigo 70º - Disposições gerais: O solo urbanizado encontra-se dotado de infraestruturas urbanas, servido por equipamentos de utilização coletiva e correspondem a áreas de urbanização consolidada, ou em consolidação, contribuindo para os objetivos de sustentabilidade e nuclearização.
- ESPAÇOS CENTRAIS, Artigo 71º - Identificação: Correspondem às áreas urbanas já consolidadas, ou a consolidar, caracterizadas pela sua função de centralidade, onde a coexistência das funções habitação, comércio, serviços, turismo e equipamentos é acentuadamente reconhecível.

Artigo 72º - Regime: 1- Este espaço de construção destina-se preferencialmente ao desenvolvimento da função habitacional, de comércio e de serviços, admitindo-se outras funções como restauração e bebidas, turismo, armazenagem e indústria. 2- A tipologia dominante a adotar deverá ser a edificação de utilização coletiva. (...) 4- O índice de ocupação (Io) correspondente nesta categoria, não deverá ser superior a 0,7, incluindo as edificações eventualmente existentes. Em casos justificáveis por razões de melhor integração, continuidade e acerto urbanístico, nomeadamente de alinhamentos e volumetrias, poder-se-á admitir um Índice de ocupação (Io) superior, inclusive a ocupação total do solo. 5- O índice de impermeabilização (Iimp) não poderá exceder 0,75. No entanto, e em casos justificáveis por razões de melhor integração, continuidade e acerto urbanístico poder-se-á admitir um índice de impermeabilização (Iimp) superior, inclusive a impermeabilização total do solo. 6- Não se fixando qualquer dimensão de área e/ou frente de terreno, as operações urbanísticas a realizar deverão promover uma ocupação do solo adequada à envolvente.

- ESPAÇOS RESIDENCIAIS, Artigo 73º - Identificação: 1- São espaços urbanos em fase de crescimento, em consolidação, ou já consolidados, maioritariamente residenciais, cujo reforço da coexistência da habitação com o comércio e serviços de proximidade é, conjuntamente com a nuclearização, um objetivo central desta classificação do solo urbano.

Artigo 74º - Regime: 1- Este espaço de construção destina-se, essencialmente, ao desenvolvimento da função habitacional, de comércio sem exclusão de outras funções como, estabelecimentos de restauração e bebidas, turismo, serviços e indústria. 2- A tipologia dominante a adotar deverá ser a construção isolada ou geminada, com um máximo de três unidades de ocupação, admitindo-se ainda edificação em banda, coletiva e de uso misto, em situações cujo enquadramento urbanístico do local o permitam (...) 4- O índice de ocupação (Io) correspondente nesta categoria, não deverá ser superior a 0,4, incluindo as edificações eventualmente existentes. No entanto, e em casos justificáveis por razões de melhor integração, continuidade e acerto urbanístico, nomeadamente de alinhamentos e volumetrias, poder-se-á admitir um Índice de ocupação (Io) superior, nunca excedendo o índice 0,5. 5- O Índice de impermeabilização (Iimp) não poderá exceder 0,45. No entanto, e em casos justificáveis por razões de melhor integração, continuidade e acerto urbanístico poder-se-á admitir um Índice de impermeabilização (Iimp) superior, nunca excedendo o índice 0,55.

A área 5 sofreu grandes transformações no decorrer da realização deste trabalho (Figuras 11 e 12), no âmbito de uma Operação de Reabilitação Urbana (ORU), verificando-se que a partir de 2021 foram construídos novos arruamentos, um hipermercado e futuras áreas residenciais ou de serviços. A intervenção neste quarteirão eliminou quase completamente a mancha arbórea preexistente, com um impacto expectável sobre a IVU de Guimarães extremamente elevado.



Figura 11- Área Crítica 5 em junho de 2021



Figura 12- Área Crítica 5 em maio de 2019

### **3. Análise Multiespectral do Ambiente Térmico em Guimarães**

Neste capítulo, caracteriza-se o ambiente térmico do município de Guimarães, com base na variação espacial da temperatura de superfície e sua relação com a componente biofísica da 'vegetação', de acordo com o modelo V-I-S (Vegetação - Impermeável - Solo) para o estudo do 'ecossistema urbano' através da detecção remota (Ridd, 1995). Assim sendo, recorreu-se à integração da detecção remota e SIG para a realização da análise multiespectral de uma imagem do arquivo Landsat, nomeadamente do verão.

#### **3.1. Principais Componentes Biofísicas Derivadas por Índices Espectrais**

A partir da imagem Landsat OLI de 18 de agosto de 2018, derivaram-se dois índices espectrais que permitem caracterizar as principais componentes biofísicas, e sua variação espacial, no território vimaranense. Em primeiro lugar, derivou-se o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), que corresponde a um índice de vegetação, de modo a estimar a importância relativa da cobertura vegetal (Purevdoj *et al.*, 1998 *in* Pinheiro e Laranjeira, 2013). O índice NDVI foi calculado utilizando o *Raster Calculator* (Map Algebra) no ArcMap 10.6, com base na seguinte equação, sendo que os seus valores variam entre -1 e 1:

$$NDVI = (Banda\ 5 - Banda\ 4) / (Banda\ 5 + Banda\ 4)$$

No caso do município de Guimarães (Figura 13), as áreas com NDVI entre 0,06 e 0,24 caracterizam-se pela ausência de uma cobertura vegetal importante, estando de um modo geral ocupadas por urbanização, pelo que terão uma maior propensão para a formação de ilhas de calor superficial; estas áreas predominam de forma clara no centro e Sul do concelho. Os valores de NDVI compreendidos entre 0,24 e 0,32 correspondem a áreas com pouca ou alguma cobertura vegetal, nomeadamente os campos agrícolas. Os valores de NDVI entre 0,32 e 0,49 correspondem a áreas que têm quase exclusivamente cobertura vegetal densa, como as principais áreas florestais mencionadas anteriormente.



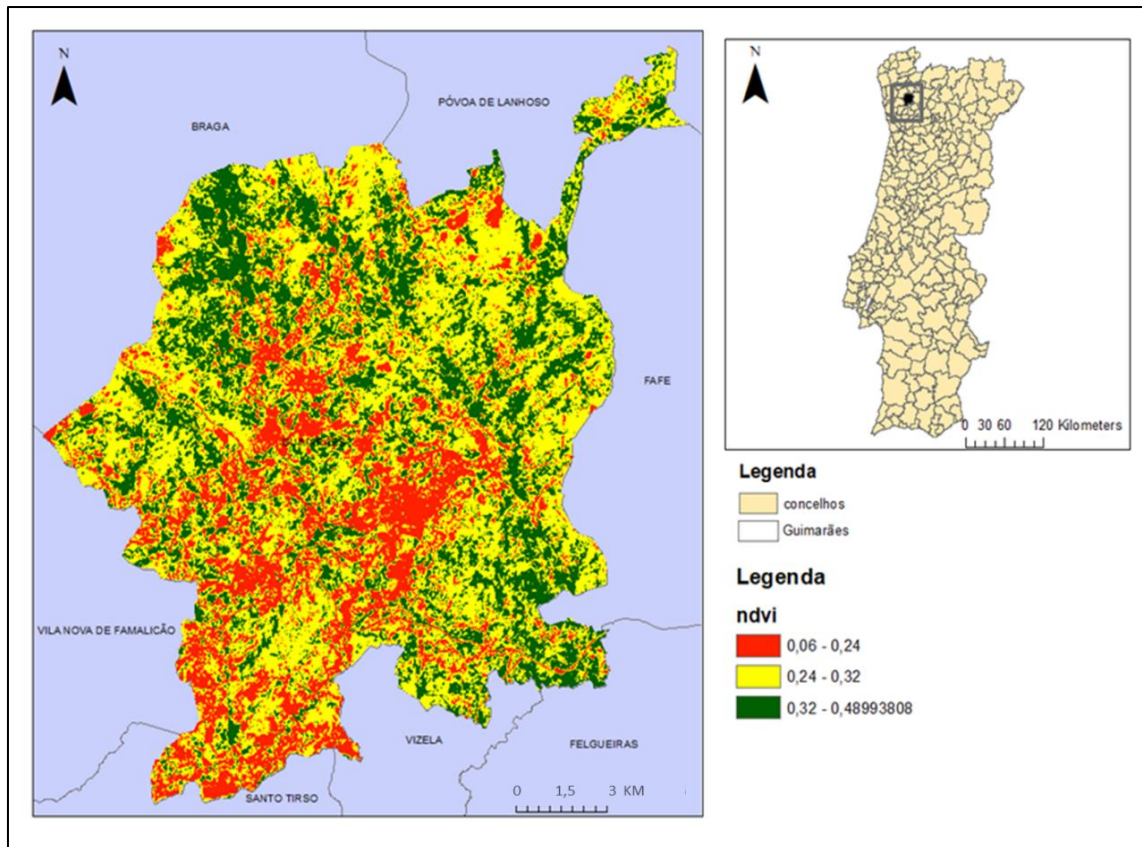


Figura 13- NDVI em Guimarães, a 18 de agosto de 2018.

Em segundo lugar, derivou-se o *Urban Index* (UI), índice que permite extrair as áreas edificadas e outras superfícies impermeabilizadas. Contudo, este índice espectral é incapaz de separar os espaços comerciais, residenciais e industriais (Zha *et al.*, 2003, *in* Pinheiro e Laranjeira, 2013). O UI foi calculado de acordo com a seguinte equação, variando os seus valores entre -1 e 1:

$$UI = (Banda\ 7 - Banda\ 5) / (Banda\ 7 + Banda\ 5)$$

Os resultados obtidos (Figura 14) mostram que no município predominam os valores de UI entre -0,48 e -0,25, correspondendo às áreas onde o edificado é quase inexistente (áreas florestais e agrícolas) e corroborando os dados de NDVI (Figura 13). A classe de valores de UI entre -0,25 e -0,15 identificam as áreas com edificado pouco denso e as principais vias rodoviárias, salientando bem o carácter difuso da urbanização em Guimarães. Os valores de UI entre -0,15 e 0,07 delimitam as áreas predominantemente construídas, com uma maior continuidade e densidade da edificação, sendo que estas constituem os principais centros urbanos do município. Em suma, o índice UI permite demonstrar que no município de Guimarães a urbanização é muito difusa, mas com três áreas principais que têm um elevado nível

de construção, sendo elas nas freguesias de UF de Oliveira, São Paio e São Sebastião, de Lordelo, Moreira de Cónegos e Selho (São Jorge).

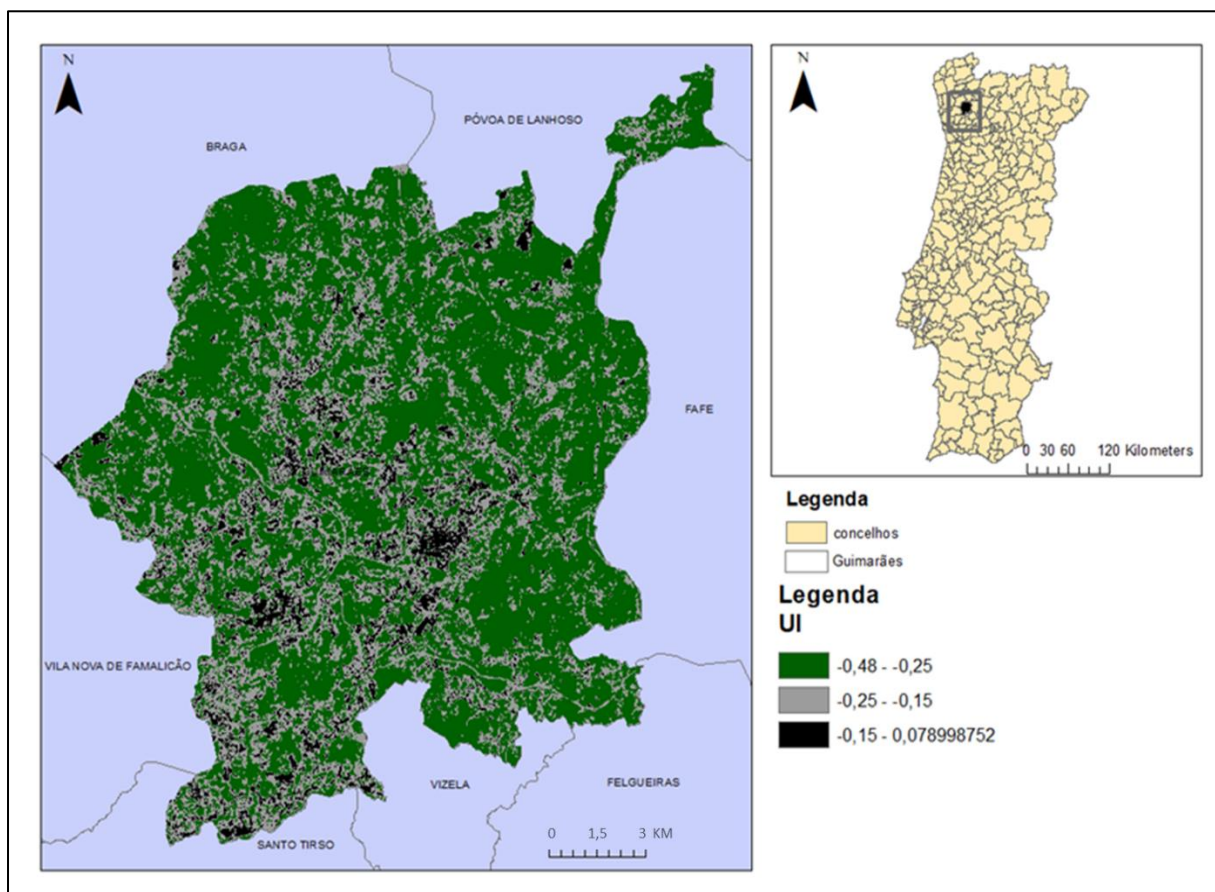


Figura 14- UI em Guimarães, a 18 de agosto de 2018.

### 3.2. Caracterização do Ambiente Térmico com Base na Temperatura de Superfície

A temperatura de superfície (TS) para o município de Guimarães foi calculada, a partir da Banda 10 (B10) da imagem Landsat OLI de 18 de agosto de 2018, com recurso à seguinte equação:

$$TS = (1321.08 / \ln(774.89 / 3.340E - 04 * B10 + 0.10000) + 1)) - 273.15$$

Tal como se pode ver na Figura 15, devido à elevada difusão da ocupação urbana no município, as temperaturas de superfície superiores a 32°C distribuem-se por todo o território., sendo que valores entre 36°C e 41°C são detetados nos centros urbanos consolidados, como no centro da cidade de Guimarães, nas freguesias de Selho (São Jorge) e Ponte (São João). Temos ainda outros núcleos com o

mesmo registo de temperatura, mas com dimensão mais reduzida, sobretudo nos centros das freguesias ou ao longo da estrada nacional N101. As temperaturas de superfície mais baixas, em particular as inferiores a 28°C individualizam as áreas de floresta, como a Penha, Sameiro e Falperra e Senhora do Monte.

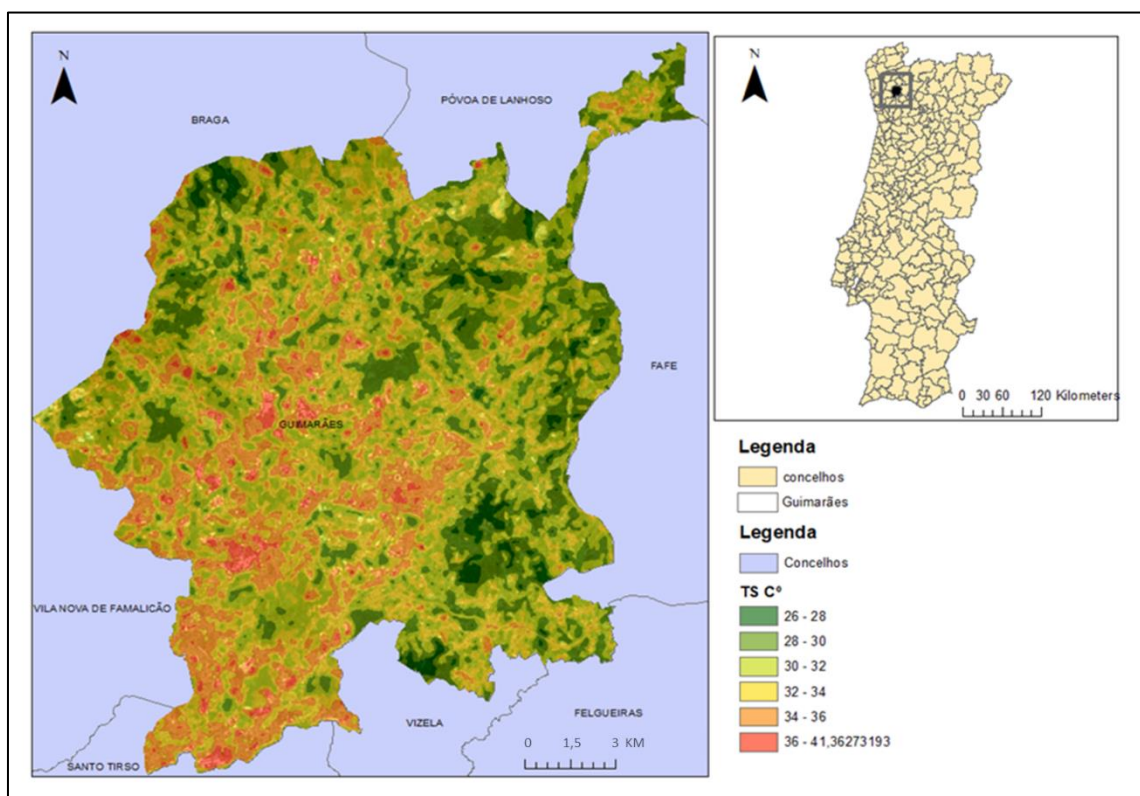


Figura 15- Temperatura de Superfície em Guimarães, 18 de agosto de 2018.

Nas freguesias com urbanização mais consolidada e/ou maior concentração de indústria, verifica-se que predominam as áreas com efeito de ilha de calor, sendo que estas têm uma incidência especial no Sul, Oeste e no Centro do município (Figura 16). No território Noroeste e Norte do município, existe um misto de áreas (muito pequenas) com efeito de ilha de calor e sem efeito de ilhas de calor, sendo que estas últimas predominam a Nordeste e Sudeste, pois aqui existem as maiores áreas com floresta.

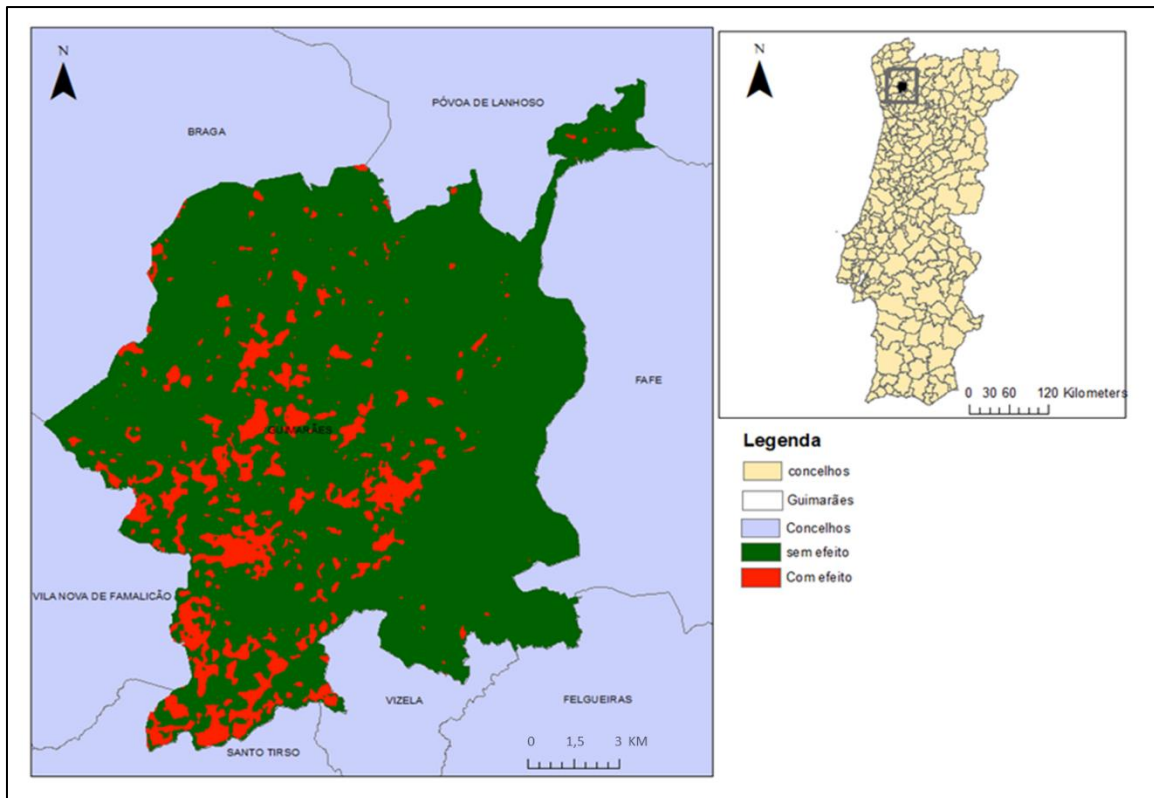


Figura 16- Ilhas superficiais de calor em Guimarães, 18 de agosto de 2018.

Por fim, o Índice de Contribuição (IC) permite uma melhor compreensão da forma como cada freguesia contribui, em média, para o aquecimento ou o arrefecimento no conjunto do município. Para o seu cálculo utilizou-se a equação:

$$IC = (Média TS - (Média da freguesia)) * (Área / Área da freguesia)$$

Os resultados de IC (Figura 17) corroboram os dados analisados anteriormente, evidenciando bem que o conjunto das freguesias situadas no Sul, Oeste e Centro do concelho de Guimarães são as que mais contribuem para o aquecimento do território municipal. Entre estas incluem-se as freguesias que constituem a cidade de Guimarães.

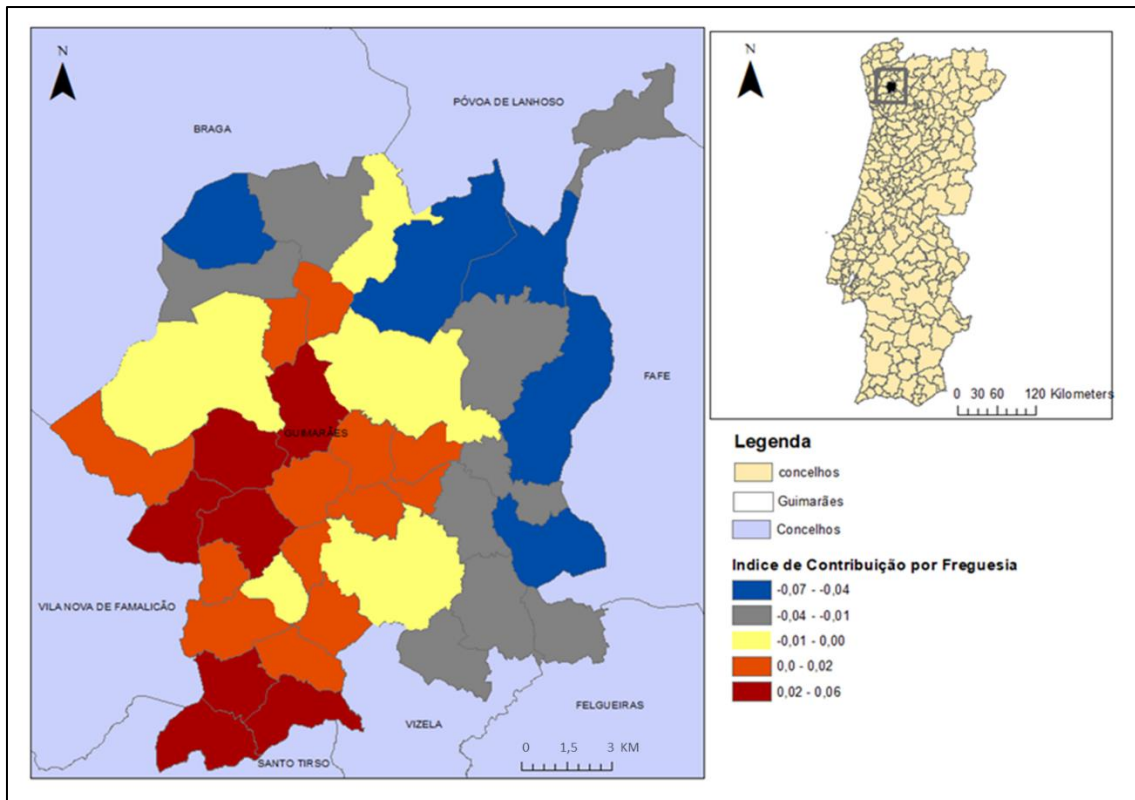


Figura 17- IC em Guimarães, 18 de agosto de 2018.

### 3.3. Relação entre as Componentes Biofísicas e o Ambiente Térmico (Análise do Espaço TVX)

A associação entre as componentes biofísicas, nomeadamente a vegetação ou cobertura vegetal, e a temperatura de superfície pode ser sintetizada através do Índice Temperatura-Vegetação (TVX), que é analisado de forma gráfica através de um diagrama de dispersão, designado por Espaço TVX. Neste trabalho, representou-se o Espaço TVX ao nível da freguesia, tendo-se calculado para cada uma delas a respetiva média da temperatura de superfície bem como o valor médio da Fração de Vegetação (Fr), índice este que estima a fração da superfície coberta por vegetação num determinado pixel em função do seu valor de NDVI. Assim, Fr é calculado a partir do NDVI normalizado (em função dos valores mínimo e máximo da área de estudo,  $NDVI^*$ ), correspondendo a  $Fr = N^{*2}$ , e os seus valores variam entre 0 e 1.

A análise do Espaço TVX, por freguesia (Figura 18 e Tabela 4), permite destacar de forma muito evidente o núcleo da cidade – ou seja, a UF Oliveira, São Paio e São Sebastião (ID 27) – como a área que no concelho de Guimarães conjuga simultaneamente a Fr média mais baixa (inferior a 0,1) e a TS média mais elevada (34,7°C). Além disso, confirma-se uma vez mais que as freguesias onde existe significativa

urbanização a par de áreas industriais são as que apresentam Fr mais baixos (inferiores a 0,2) e, logo, também têm TS médias elevadas como são os casos de Creixomil (ID 25), Moreira de Cónegos (ID 7) e Lordelo (ID 6) com 33,6°C; 33,9°C e 34,4°C, respetivamente. Outra freguesia que também tem valor semelhante de Fr, mas devido á área urbana residencial, é Azurém (ID 31) com TS média de 33°C.

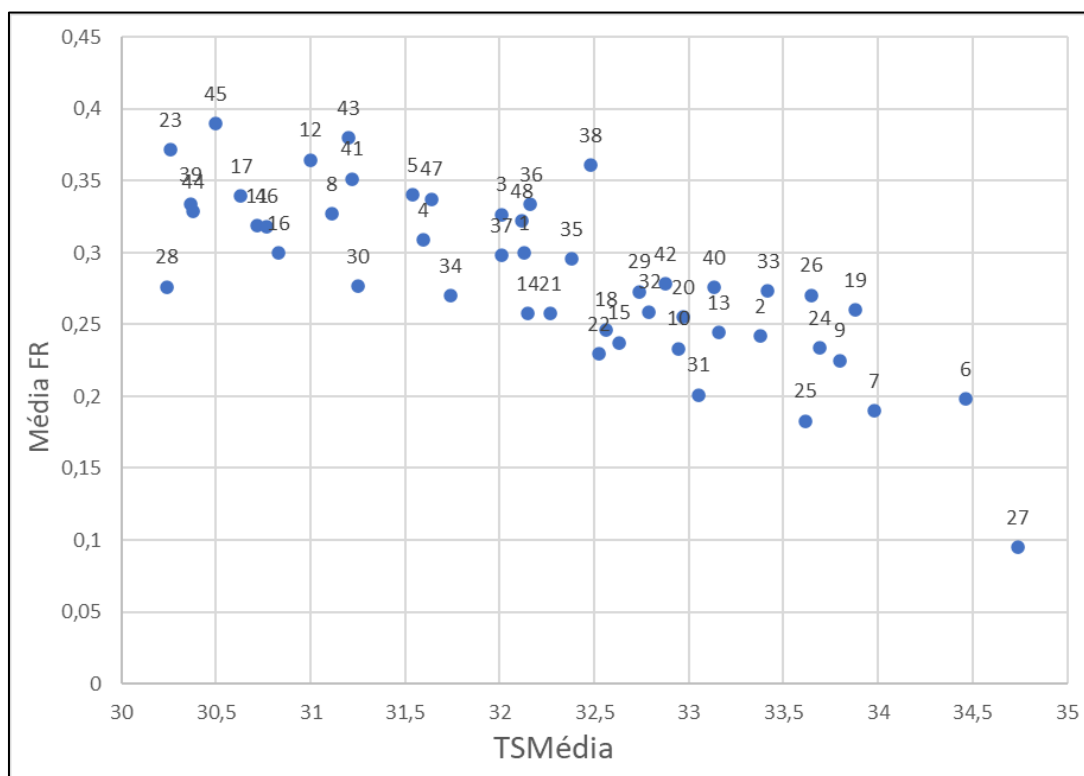


Figura 18- Espaço TVX, por freguesia, em Guimarães.  
(ver a Tabela 4, no texto, para a identificação das freguesias)

Por sua vez, identificam-se bem no Espaço TVX as freguesias em que simultaneamente se verificam as TS médias mais baixas e Fr mais elevadas. Temos então as freguesias de Infantas (ID 23) e da Costa (ID 28) com as TS médias mais baixas (30,2°C), sendo que a primeira apresenta Fr média bastante mais elevada. Destaca-se a freguesia de Longos (ID 45) com o maior valor médio de Fr registado (0,38). E, por fim, refiram-se as freguesias de Gonça (ID 44) e UF de Atães e Rendufe (ID 39) entre as que têm TS médias inferiores a 30,5°C e Fr média próxima de 0,35. Neste conjunto de freguesias, a vegetação arbórea regula eficazmente a temperatura de superfície. Por isso, é essencial evitar que estas áreas sejam destruídas e ocupadas por extensas urbanizações.

Tabela 4- Identificação (ID) das Freguesias de Guimarães, no Espaço TVX

<b>Freguesias do município de Guimarães</b>	<b>ID</b>
Pencelo	1
Ponte	2
UF Leitres, Oleiros e Figueiredo	3
UF Prazins, Santo Tirso e Corvite	4
UF Selho S o Lourenço e Gominhões	5
Lordelo	6
Moreira de Cónegos	7
UF Arosa e Castelões	8
Guardizela	9
UF Conde e Gandarela	10
UF Tabuadelo e São Faustino	11
UF Serzedo e Calvos	12
Serzedelo	13
Polvoreira	14
Nespereira	15
Pinheiro	16
UF Abação e Gemeos	17
Selho (São Cristóvão)	18
Gondar	19
Candoso (São Martinho)	20
UF Candoso São Tiago e Mascotelos	21
Urgezes	22
Infantas	23
Selho (São Jorge)	24
Creixomil	25
Ronfe	26
UF Oliveira, São Paio e São Sebastião	27
Costa	28
Silvares	29
Mesão Frio	30
Azurém	31
Fermentões	32
Brito	33
Aldão	34
UF Air o Santa Maria, Airão São João e Vermil	35
UF Sande Vila Nova e Sande São Clemente	36
Prazins (Santa Eufémia)	37
Sande (São Martinho)	38
UF Atães e Rendufe	39
Caldelas	40
São Torcato	41
Barco	42
uf Sande S o Lourenço e Balazar	43
Gonça	44
Longos	45
UF Souto Santa Maria, Souto São Salvador e Gondomar	46
UF Briteiros São Salvador e Briteiros Santa Leocádia	47
UF Briteiros Santo Estêvão e Donim	48

## **4. Avaliação da Capacidade de Arrefecimento do Ar sob Diferentes Cenários de Intervenção Urbanística nas Áreas Críticas de Estudo**

Neste capítulo, explicam-se os métodos e as opções metodológicas subjacentes à parte empírica, bem como se apresentam os resultados obtidos, no que respeita a:

- Avaliação da capacidade de arrefecimento do ar pela Infraestrutura Verde Urbana (IVU) existente nas áreas críticas em estudo, tendo como referência os usos do solo presentes por quarteirão em 2018, de acordo com o Urban Atlas;
- Construção e análise de cenários de intervenção urbanística para as áreas críticas em análise, pela inerente alteração das condições de cobertura do solo e da vegetação arbórea relativamente à situação de referência, avaliando as respetivas consequências sobre o aumento ou diminuição da capacidade de arrefecimento do ar da IVU.

### **4.1. Avaliação da Capacidade de Arrefecimento do Ar**

A abordagem proposta por Zardo *et al.* (2017) e Geneletti *et al.* (2016; 2020) para determinar a capacidade de arrefecimento das IVU consiste na avaliação, à microescala, do efeito climático de diferentes combinações possíveis entre o tipo de cobertura do solo ou superfície, a cobertura média da superfície pela copa das árvores (%) e o tamanho das parcelas de terreno ou quarteirões (geometria), (Figura 19). Para obter estimativas mais precisas em relação à influência que as IVU podem ter sobre a capacidade de arrefecimento do ar, é necessário considerar a região climática em causa, sendo que os autores distinguiram nos seus estudos as grandes regiões da zona temperada (região climática atlântica, região climática continental e região climática mediterrânea). Para efeito deste estudo, a região climática de referência foi a região climática mediterrânea.

A avaliação destes fatores para a capacidade de arrefecimento das IVU pode ser dividida em três partes, sendo elas o sombreamento, evapotranspiração e também a proteção contra o vento, estes três fatores são o que permite determinar a capacidade de arrefecimento da IVU (EEA, 2012). A vegetação permite a regulação do microclima urbano de três formas:

- Interceção da radiação solar incidente;
- Através da evapotranspiração;
- Trocas de calor em ambiente urbano e alteração dos movimentos do ar.



Os processos que contribuem de uma forma mais impactante para a capacidade de arrefecimento derivada das IVU são o sombreamento e a evapotranspiração (Skelhorn *et al.*, 2014). A contribuição do vento para a capacidade de arrefecimento é extremamente complexa e não está diretamente relacionada com os serviços ecossistêmicos, pois está dependente das condições físicas das áreas urbanas, tal como o tamanho e geometria dos edifícios e direção das ruas (Bowler *et al.*, 2010b).

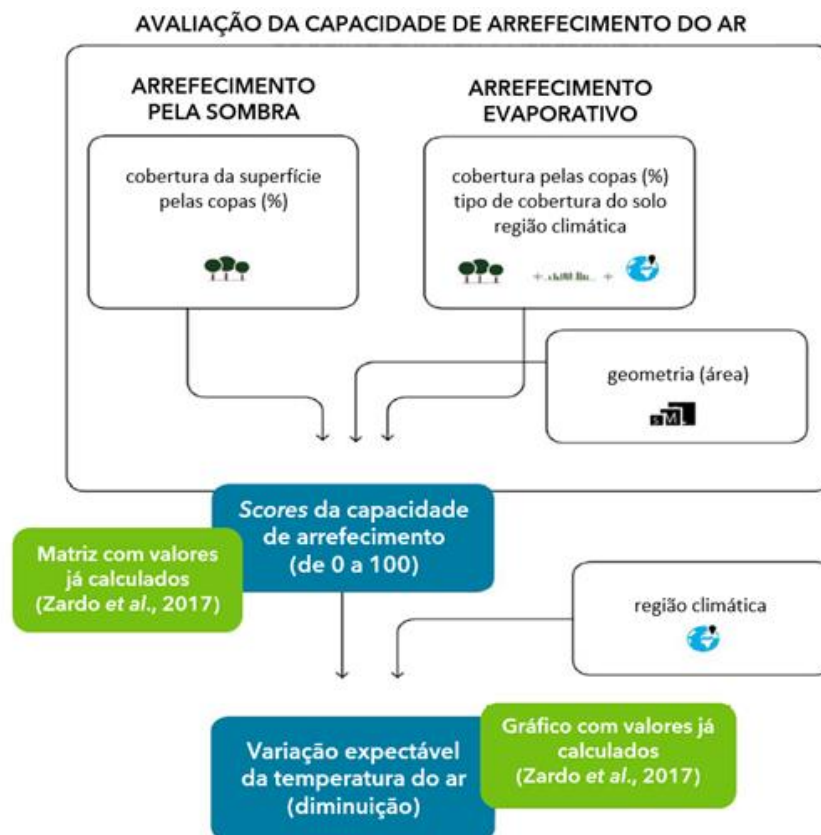


Figura 19- Metodologia para a Avaliação da Capacidade de Arrefecimento do Ar.

Fonte: Adaptado de Geneletti *et al.*(2020)

A influência da copa das árvores na capacidade de arrefecimento das IVU pode ser calculada com recurso a estimativa visual em que podemos criar uma relação linear entre a cobertura das copas das árvores e o sombreamento (Potchter *et al.* 2006), esta avaliação pode ser realizada com recurso a uma pontuação igual a "x" que é atribuída a uma IVU em que a "x%" de coberturas da árvores existentes. A região climática pode ser considerada como um fator crucial que afeta a evapotranspiração, pois em regiões quentes e secas a capacidade de evapotranspiração é mais eficaz em relação a regiões climáticas húmidas e frias (Taha *et al.* 1991; Bowler *et al.* 2010b).

Com recurso à abordagem de Allen et al.(1998), podemos calcular a influência da evapotranspiração com recurso à seguinte fórmula:

$$ET_c = K_c \cdot ET_0$$

ET<sub>c</sub> é a evapotranspiração emitida pelas árvores ou vegetação existente no solo em condições onde a água é ilimitada no solo (irrigado), H<sub>c</sub> é o coeficiente da cobertura do solo e ET<sub>0</sub> é a referência de evapotranspiração, tendo a região climática da área de estudo em consideração. Nesta abordagem o valor global de evapotranspiração da IVU, é obtida ao adicionar as diferentes contribuições, sendo que estas são expressas em mm d<sup>-1</sup>, que quando aplicado a um modelo padronizado obtemos a pontuação da evapotranspiração num intervalo de 0-100.

A redução da temperatura do ar é obtida devido à conjugação do sombreamento e da evapotranspiração, sendo que o impacto das mesmas se torna mais relevante quando as áreas ficam maiores (Akbari et al. 1992). Segundo Chang et al. (2007), as áreas com dimensões superiores a 2ha são mais frescas que as áreas circundantes, sendo que áreas inferiores a 2ha têm um impacte limitado.

Na abordagem a realizar a capacidade de arrefecimento das IVU é avaliada com recurso à soma dos valores de evapotranspiração e sombreamento, usando valores diferentes de acordo com o tamanho das áreas e padronização numa escala de 0-100. Em áreas maiores que 2ha os pesos são de 0,4 para o sombreamento e 0,6 para a evapotranspiração e em áreas menores de 2ha os valores são 0,8 e 0,2 respetivamente. Áreas com menos de 50% de cobertura das copas das árvores podem ser ilhas de calor e não áreas frescas no verão quando ocorrem eventos climáticos extremos.

De modo a poder definir as diferentes IVU tipológicas, foram combinados três componentes da cobertura das copas das árvores, cobertura do solo e o tamanho das áreas. Deste modo classificamos a influência da cobertura das copas das árvores em cinco intervalos, sendo eles; 0-20%, 21-40%, 41-60%, 61-80%, 81-100%. A cobertura do solo é classificada como impermeável, solo nu, cobertura heterogénea (solo coberto por arbustos, mistura de solos descobertos, hortas e terrenos baldios), vegetação herbácea (e arbustos de média dimensão), e água (Cadenasso et al. 2007). Por último o tamanho das áreas é dividido em duas classes, superior ou inferior a dois hectares, posteriormente são analisadas cerca de 50 tipologias de IVU em que são consideradas as três diferentes regiões climáticas.

Desta forma, para analisar as tipologias da IVU em cada região climática, foram usados os dados de ET<sub>0</sub> e K<sub>c</sub> obtidos de vários bancos de dados, tal como os dados de CGMS do Mars Crop Yield Forecasting

System e da FAO (Zardo et al . 2017), desta forma é possível calcular a capacidade de arrefecimento de acordo com cada tipologia de IVU.

Podemos desta forma observar na Figura 20 as mudanças de temperaturas e forma como elas são afetadas de acordo com a região climática (Taha et al. 1991).

Na Figura 21 podemos ver representadas as diferentes tipologias de IVU em que a capacidade de arrefecimento é demonstrada de acordo com as três regiões climáticas em que se encontram. A componente que mais está influenciada na capacidade de arrefecimento é o tamanho das áreas, seguindo esta análise verificamos que as IVU que tenham mais de 60 pontos são áreas superiores a 2ha, sendo que apenas 3% da IVU acima dos 2ha pontuam menos de 60. Nenhuma IVU com área menor de 2ha pontua mais de 60, as pontuações entre os 41 e os 60 compreendem essencialmente áreas menores de 2ha (91%). Podemos também verificar que a segunda componente mais influente é a cobertura de copa das árvores, quando incluímos todas as IVU que tem uma cobertura de copa das árvores de 100% e quase todas as IVU com 80%, correspondem a valores entre os 41 e os 60 pontos. As pontuações entre os 21 e os 40 menores de 2ha detém uma cobertura de copa entre os 20 e 60%.

As variações de temperatura esperadas de acordo com a região climática, verificamos que obtemos temperaturas diferentes, conforme podemos verificar nas Figuras 20 e 21 as maiores alterações de temperatura foram registadas na região climática mediterrânea, sendo seguido da região climática continental e, por fim, a região climática atlântica. Na região climática mediterrânea uma IVU com pontuação de 100 obtemos até 6°C de capacidade de arrefecimento sendo que quando o valor é de até 20 pontos, apenas obtemos uma capacidade de arrefecimento de 1.2°C. No caso da região climática continental o máximo de capacidade de arrefecimento é de 4.8°C quando os valores são superiores a 81 pontos e apenas 1°C quando são menores de 20 pontos. Por fim, a região climática mediterrânea que foi tomada no estudo, o máximo são 3.5°C de arrefecimento e 0.7°C no mínimo. Podemos então afirmar que, o investimento numa IVU para melhorar a capacidade de arrefecimento deve ter em consideração, as diferentes implicações na diminuição da temperatura, dependendo da região climática.

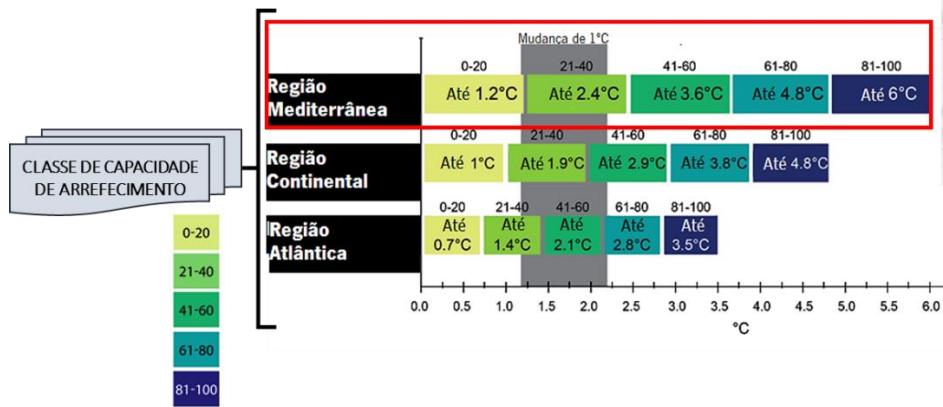


Figura 20- Classes de Capacidade de Arrefecimento do Ar por Região Climática.

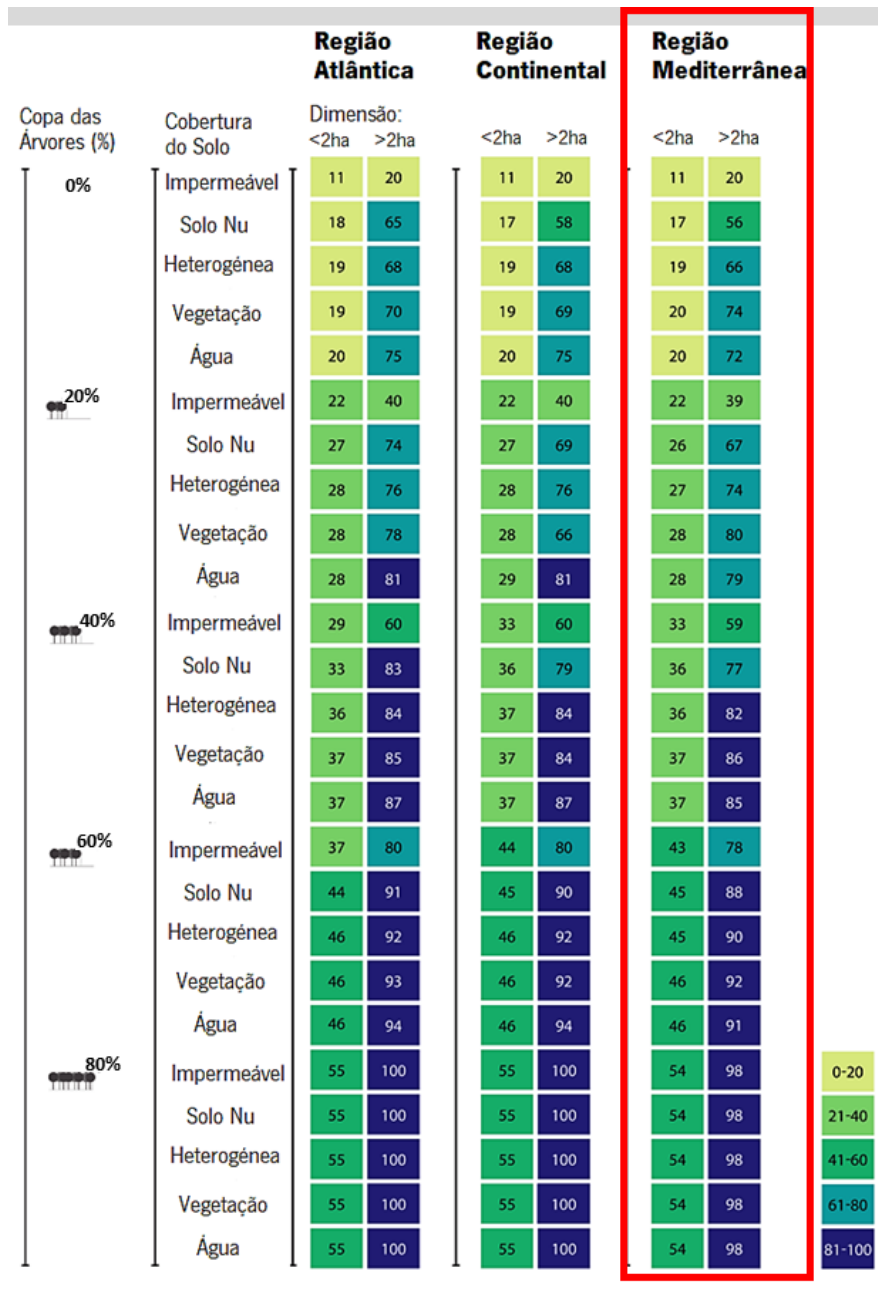


Figura 21- Capacidade de Arrefecimento por Combinação de Classes das Variáveis Analisadas.

## 4.2. Capacidade de Arrefecimento do Ar para a Situação de Referência (Ocupação do Solo Existente em 2018)

No ano de 2018, a cobertura do solo no contexto espacial das áreas críticas em estudo (Figura 22) é caracterizada maioritariamente como impermeável. Podemos verificar também que em alguns quarteirões existe solo a descoberto (solo nu), sendo estes ocupados por hortas ou espaços abandonados em que existe não existe cobertura vegetal. Algumas áreas que se encontram com cobertura heterogénea correspondem a quarteirões não urbanizados, com alguma vegetação do tipo arbustivo. A cobertura herbácea que mais efeito tem sobre a capacidade de arrefecimento do ar, apenas existe em quarteirões mais arborizados da cidade, incluindo alguns espaços verdes urbanos, e das áreas periféricas, de expansão da cidade.

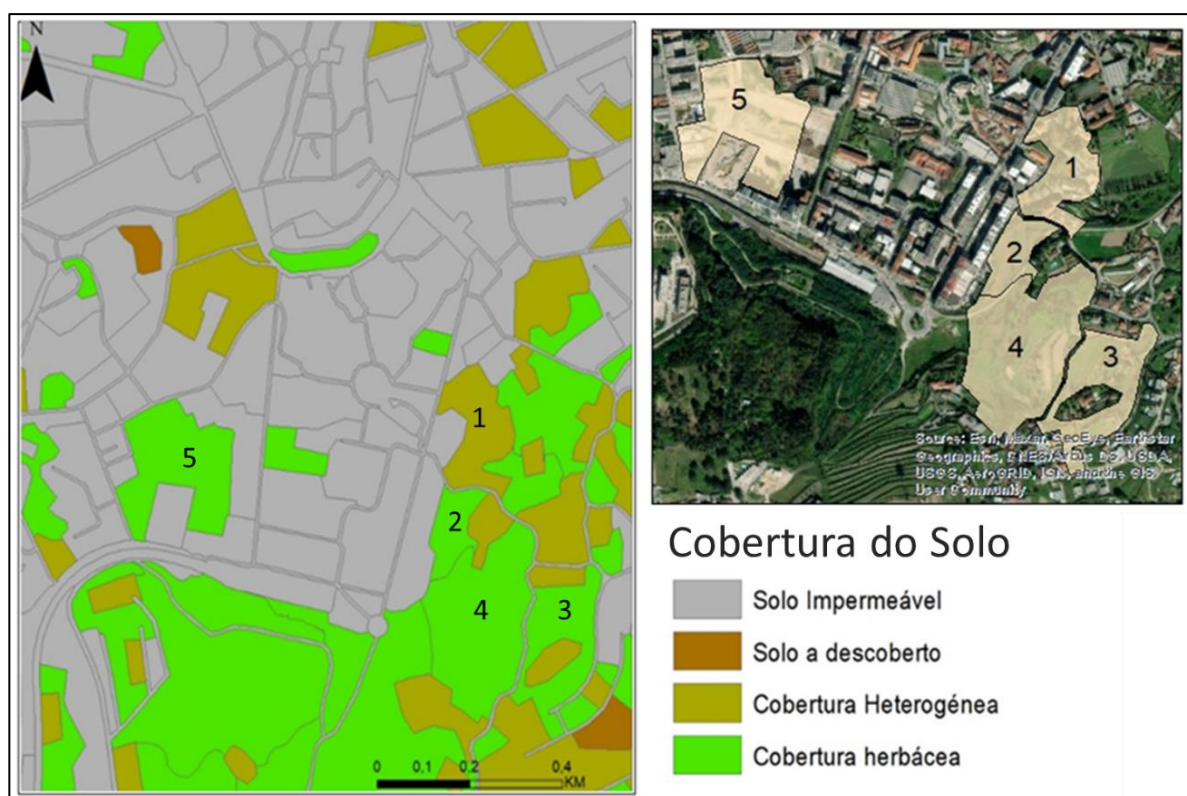


Figura 22- Cobertura do Solo nas Áreas Críticas e seu Contexto Espacial.

A zona de estudo é essencialmente urbana e, como tal, é esperada a quase ou total inexistência de espaços verdes com cobertura arbórea, mas é possível verificar a existência de áreas com cobertura florestal (Figura 23). A cidade tem poucas zonas onde verificamos a existência de cobertura arbórea superior a 40%, sendo que na sua maioria os espaços verdes caracterizam-se por vegetação baixa como relva ou pequenos arbustos, ou seja, médias de cobertura arbórea de apenas 20% no máximo, o que

pouco ou nada ajudam no combate aos efeitos do calor e na melhoria da sensação térmica da população. A única área que foi identificada neste estudo como tendo cobertura arbórea superior a 40% foi a área 5, à data de 2018.

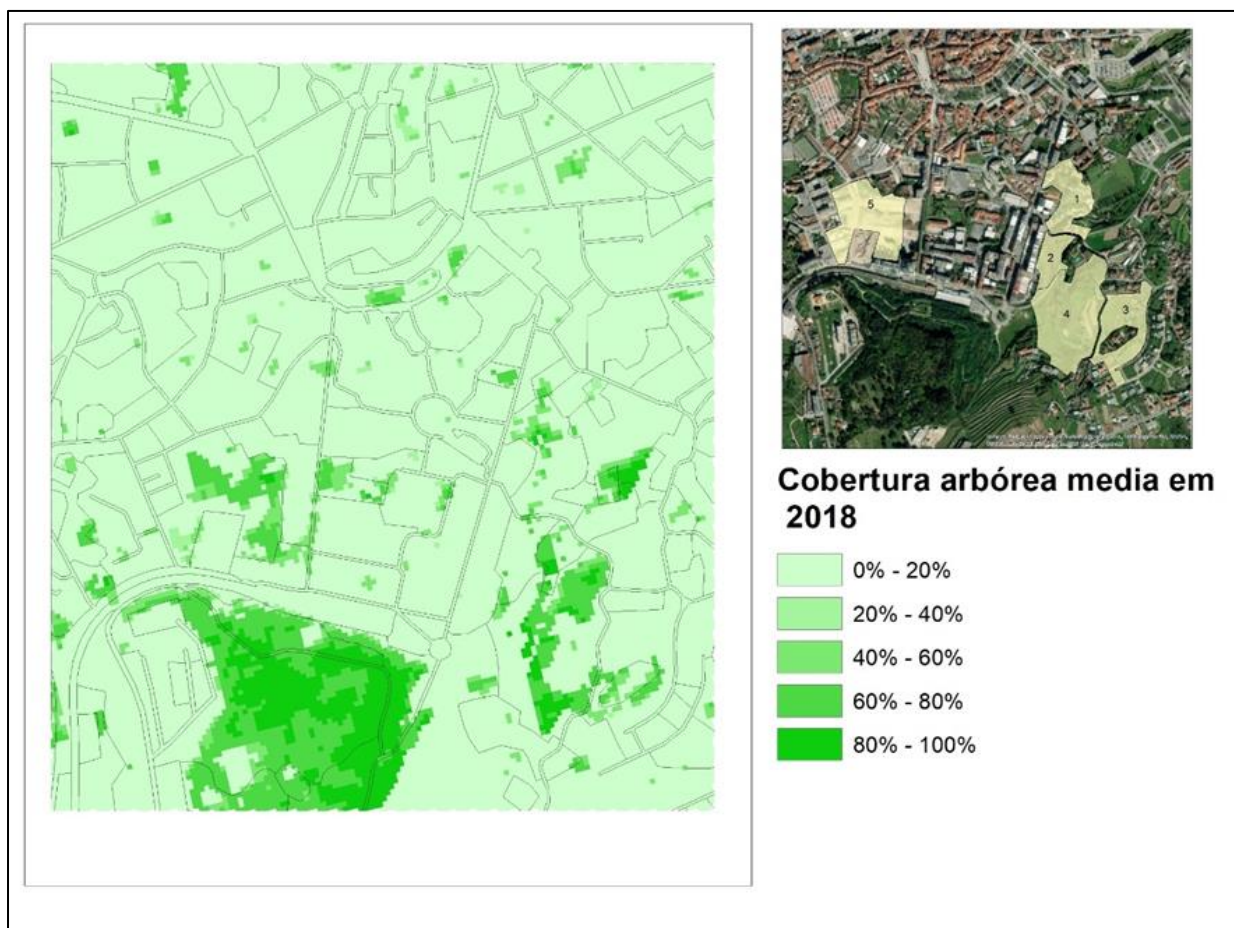


Figura 23- Cobertura Arbórea nas Áreas Críticas e seu Contexto Espacial.

No que diz respeito à dimensão dos quarteirões (Figura 24), foi possível verificar que numa zona mais central as áreas são inferiores a 2ha em que qualquer intervenção realizada terá pouco impacto na melhoria das temperaturas de superfície. Nas zonas de 2ha ou maiores, as intervenções a realizar tem um potencial de melhoria significativo, sendo que as mesmas se encontram numa zona mais periférica da cidade.

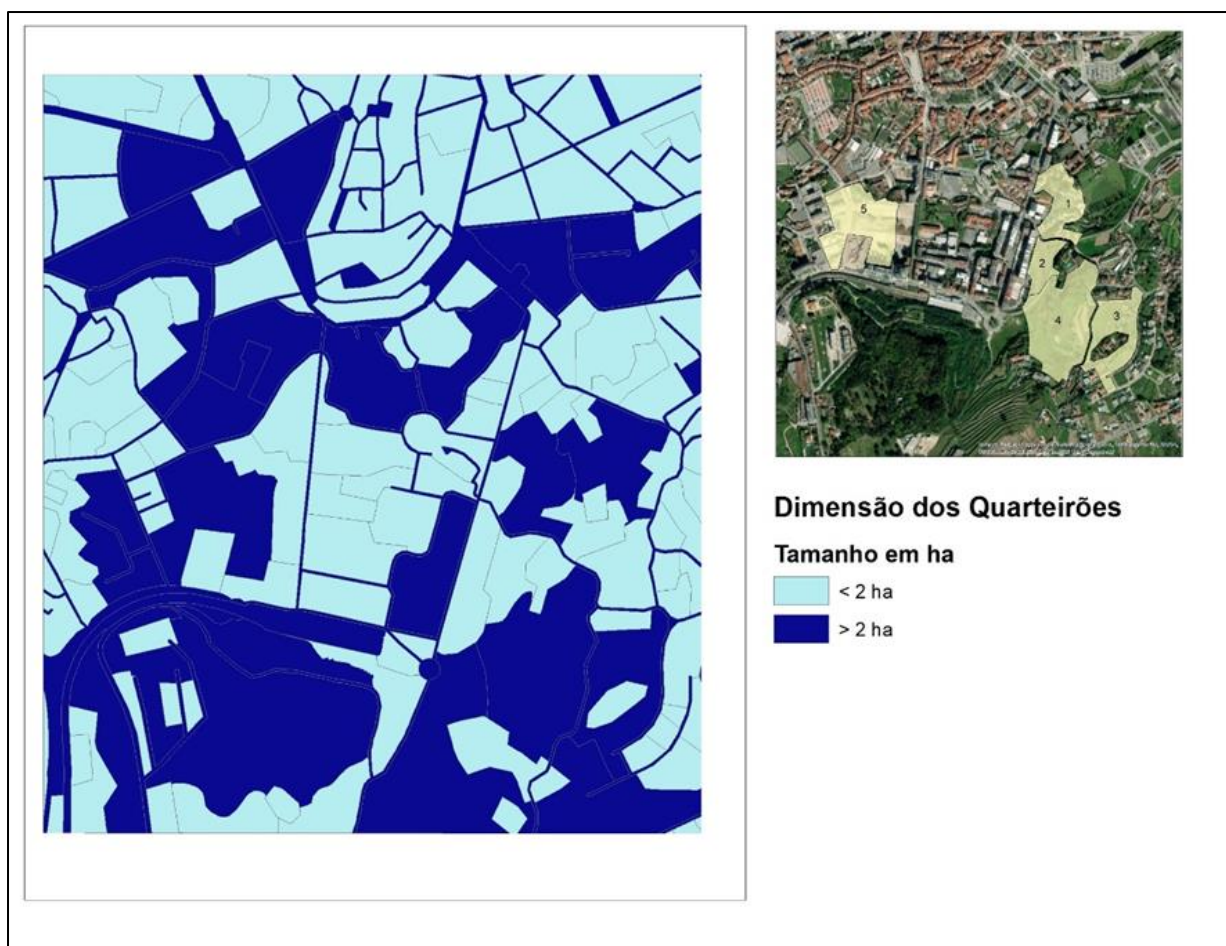


Figura 24- Dimensão dos Quarteirões nas Áreas Críticas e seu Contexto Espacial.

A capacidade de arrefecimento foi determinada a partir da conjugação das três variáveis analisadas. Na tabela seguinte sintetizam-se os resultados obtidos, que se ilustram na Figura 25.

Tabela 5- Dados da Avaliação da Capacidade de Arrefecimento para a Situação de Referência

Área	Situação de referência (existente em 2018)			
	ID	Área (ha)	Cobertura do Solo	Cobertura arbórea (copa das árvores)
1	2,56	3- Heterogénea	0-20% (média de 11,9%)	66
2	1,27	4- Vegetação herbácea	0-20% (média de 6,7%)	20
3	3,03	4- Vegetação herbácea	0-20% (média de 7,3%)	74
4	6,01	4- Vegetação herbácea	20-40% (média de 32,0%)	80
5	4,40	4- Vegetação herbácea	20-40% (média de 28,2%)	80

Podemos verificar que apenas a área 2 tem uma dimensão inferior a 2ha o que determina que os valores de efeito na capacidade de arrefecimento sejam inferiores às restantes, que variam entre os dois e seis hectares. A cobertura da superfície pela copa de árvores existentes é inferior a 40%, exceto nas áreas 4 e 5, o que por sua vez permite obter valores elevados da capacidade de arrefecimento (até 4,8°C; ambas as áreas obtiveram 80 pontos). Podemos também destacar a existência de grande mancha florestal junto à estação de caminhos ferroviários, permitindo uma elevada capacidade de arrefecimento.

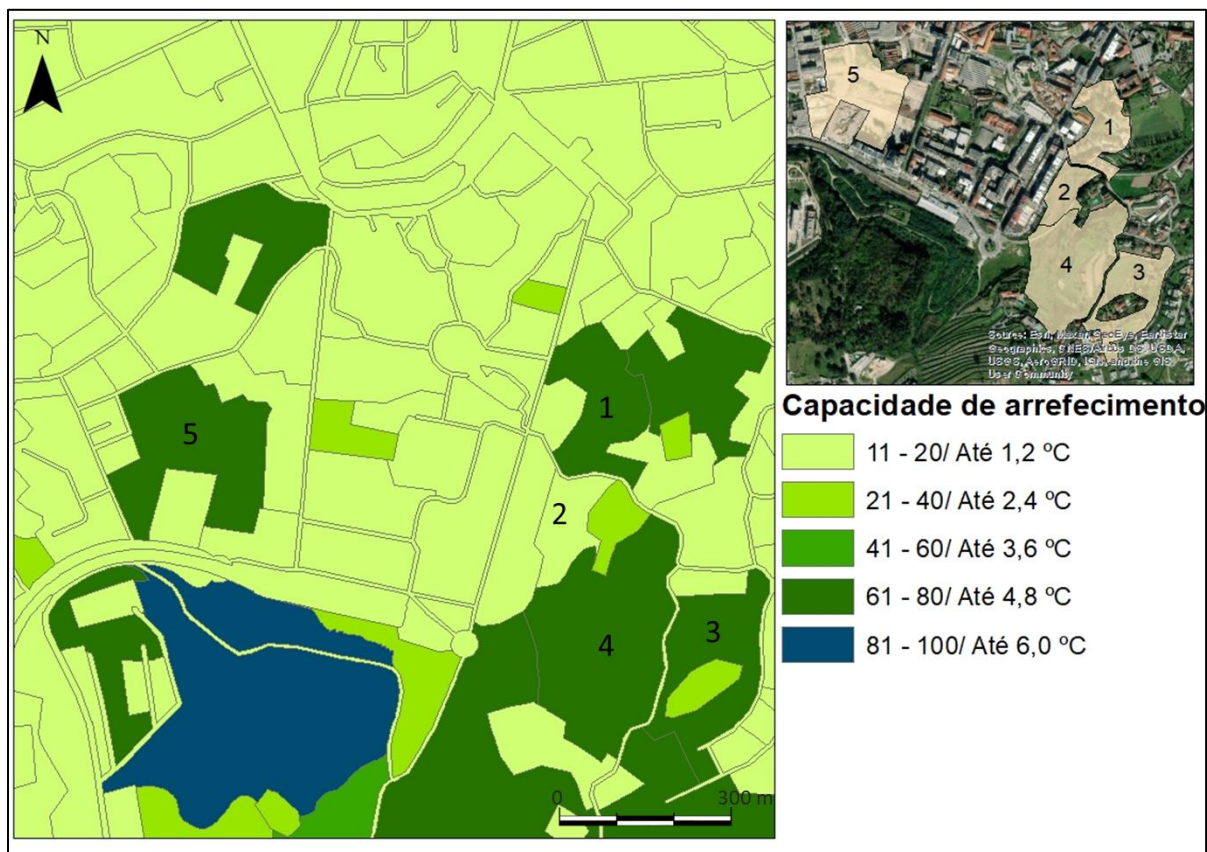


Figura 25- Capacidade de Arrefecimento para a Situação de Referência

### 4.3. Capacidade de Arrefecimento do Ar para Cenários de Intervenção Urbanística

Após a análise da situação de referência, foram realizados 4 cenários distintos, nos quais apenas se variou a cobertura do solo e a cobertura pela copa das árvores. Como é possível verificar na Figura 26, se apenas um dos parâmetros for melhorado como o tipo de cobertura do solo, o impacto sobre a capacidade de arrefecimento é baixo e inferior a 20 pontos. No caso em que todos os parâmetros




melhorados, a capacidade de arrefecimento será de 100 pontos, mesmo quando a área é inferior a 2 hectares.

intervenções alternativas:	A) MELHORIA DA COBERTURA DO SOLO	B) MELHORIA DA COBERTURA DA COPA DAS ÁRVORES	C) MELHORIA DA DIMENSÃO DO QUARTEIRÃO	resultado obtido:
	impermeável para herbáceas	20% para 100%	<2ha para >2ha	
	X			20
		X		55
			X	20
	X	X		55
		X	X	100
	X		X	70
	X	X	X	100

**Estrutura original:**

- dimensão <2ha
- solo impermeável
- cobertura pelas copas 20%



**Classe de capacidade de arrefecimento**

11

Figura 26- Intervenções Alternativas de Melhoria e Consequências na Capacidade de Arrefecimento

Fonte: Adaptado de Geneletti et al. (2020)

### *Cenário 1A- Climaticamente Muito Desfavorável (Muito Pessimista)*

Neste cenário, praticamente toda a vegetação é substituída por construções e o solo impermeabilizado com pavimentos e rede viária, o que provoca uma grande diminuição da capacidade de arrefecimento do ar em todas as áreas de estudo, sendo que apenas 4 locais asseguram este serviço ecossistémico a esta zona da cidade (Tabela 6 e Figura 27).

Tabela 6- Dados da Avaliação da Capacidade de Arrefecimento para o Cenário 1A

Área	Cenário 1A: impermeabilização total do solo e cobertura arbórea 0-20% em todas as áreas		
ID	Cobertura do solo	Cobertura arbórea (copa das árvores)	Capacidade de arrefecimento (total de pontos)
1	1 Solo Impermeável	0-20%	20
2	1 Solo Impermeável	0-20%	11
3	1 Solo Impermeável	0-20%	20
4	1 Solo Impermeável	0-20%	20
5	1 Solo Impermeável	0-20%	20

Deste modo, podemos afirmar que este é o cenário climaticamente mais desfavorável, sendo expectável que toda a área sofra um aumento da temperatura e formação de ilhas de calor devido a uma muito reduzida capacidade de arrefecimento (Figura 27).

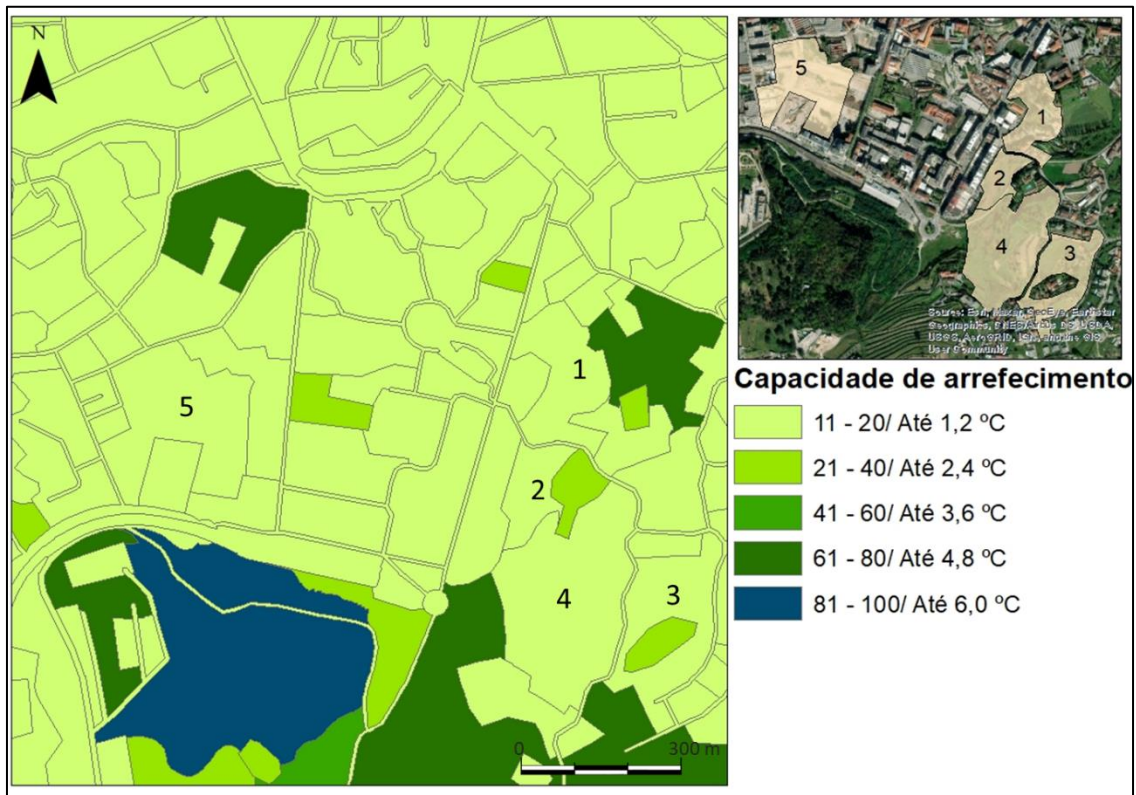


Figura 27- Capacidade de Arrefecimento sob o Cenário 1A

### *Cenário 1B- Climaticamente Desfavorável (Pessimista)*

No cenário 1B apenas duas áreas de análise sofrem transformação, sendo a 4 e 5 (Tabela 7 e Figura 28), sendo que neste caso estas duas áreas sofrem impermeabilização dos solos, mas a vegetação fica reduzida a apenas 20 a 40% da que existe atualmente. sendo que este cenário continua a ser desfavorável, mas com menor impacto sobre a capacidade de arrefecimento do ar da IVU remanescente. De facto, estas duas áreas, apesar do solo impermeabilizado, continuam a manter uma continuidade física ao nível das copas da vegetação arbórea com os restantes quarteirões adjacentes mais arborizados, pelo que em conjunto com estes quarteirões deverão continuar a assegurar uma importante faixa verde com capacidade de arrefecimento do ar significativa sobre o centro da cidade.

Tabela 7- Dados da Avaliação da Capacidade de Arrefecimento para o Cenário 1B

<b>Área</b>	<b>Cenário 1B: impermeabilização total do solo, mas manutenção da classe cobertura arbórea preexistente em todas as áreas</b>		
<b>ID</b>	Cobertura do solo	Cobertura arbórea (copa das árvores)	Capacidade de arrefecimento (total de pontos)
<b>1</b>	1 Solo Impermeável	0-20%	-
<b>2</b>	1 Solo Impermeável	0-20%	-
<b>3</b>	1 Solo Impermeável	0-20%	-
<b>4</b>	1 Solo Impermeável	20- 40%	39
<b>5</b>	1 Solo Impermeável	20- 40%	39

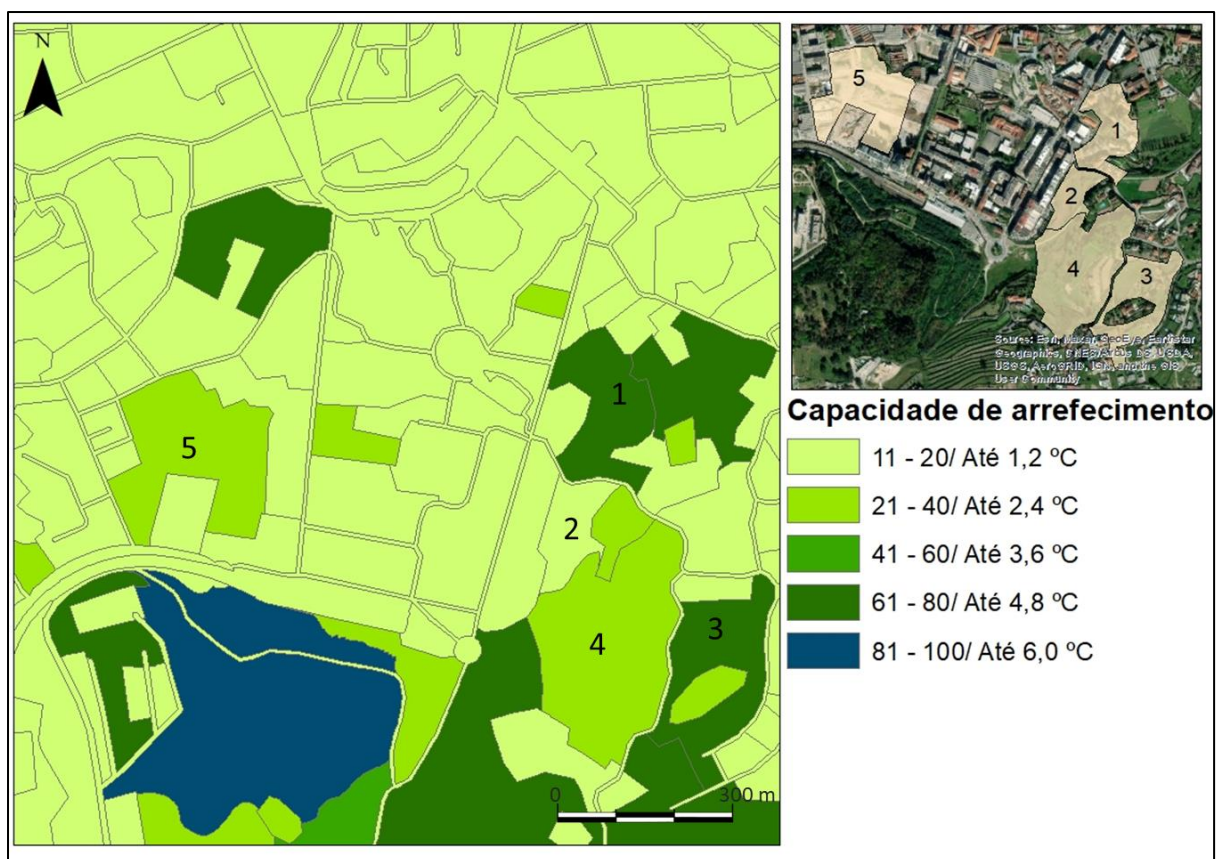


Figura 28- Capacidade de Arrefecimento sob o Cenário 1B

*Cenário 2- Climaticamente Muito Favorável (Muito Otimista)*

No cenário 2, todas as áreas sofrem intervenções, mas todas no sentido de melhorar as condições ambientais relativamente á situação de referência (Tabela 8 e Figura 29).

Tabela 8- Dados da Avaliação da Capacidade de Arrefecimento para o Cenário 2

Área	Cenário 2: aumento da cobertura arbórea para a classe 80-100% e manutenção da cobertura do solo preexistente		
OID	Cobertura do solo	Cobertura arbórea (copa das árvores)	Capacidade de arrefecimento (total de pontos)
1	3 Heterogénea	80- 100%	98
2	4 Vegetação herbácea	80- 100%	54
3	4 Vegetação herbácea	80- 100%	98
4	4 Vegetação herbácea	80- 100%	98
5	4 Vegetação herbácea	80- 100%	98

Assim, mantiveram-se as classes de cobertura do solo, mas aumentou-se a cobertura arbórea em todas as áreas para 80%-100. Sob este cenário, a capacidade de arrefecimento é elevada para os valores máximos possíveis tendo em conta a situação de referência, sendo este o cenário climaticamente mais favorável, ou seja, o cenário mais otimista.

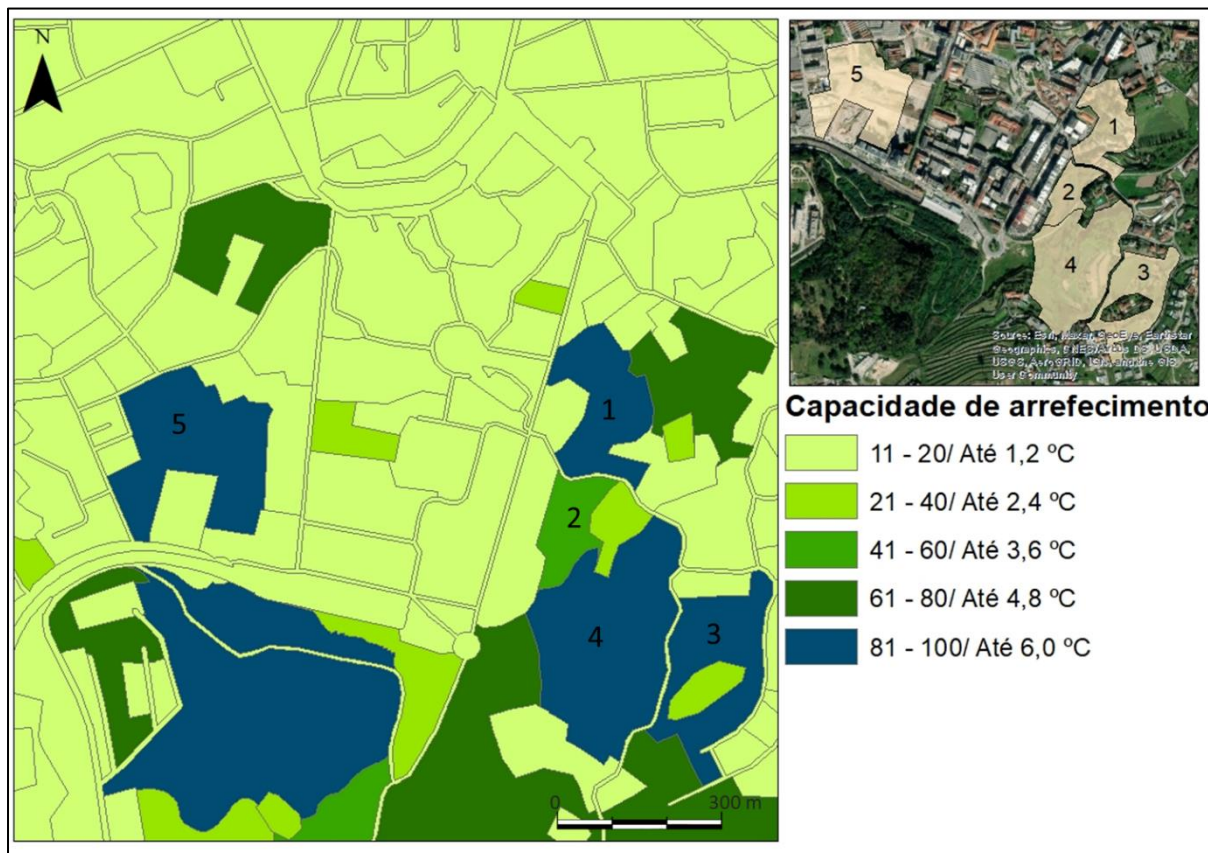


Figura 29- Capacidade de Arrefecimento sob o Cenário 2

### *Cenário 3- Climaticamente Favorável (Otimista/Realista)*

Neste último cenário 3, as intervenções realizadas são as mais realistas. A cobertura do solo será em todas as áreas heterogênea e a cobertura arbórea fica entre os 20% e 40% (Tabela 9 e Figura 30). Este cenário pode ser caracterizado por ser climaticamente favorável, apesar de entrar em linha de conta com um aumento da impermeabilização do solo e a eliminação parcial da vegetação arbórea preexistente, decorrentes de um processo de urbanização que procura manter ou mesmo melhorar (como na área 2) a IVU presente.

Tabela 9- Dados da Avaliação da Capacidade de Arrefecimento para o Cenário 3

Área	Cenário 3: cobertura heterogénea do solo e cobertura arbórea de 20-40% em todas as áreas		
OID	Cobertura do solo	Cobertura arbórea (copa das árvores)	Capacidade de arrefecimento (total de pontos)
1	3 Heterogénea	20- 40%	74
2	3 Heterogénea	20- 40%	27
3	3 Heterogénea	20- 40%	74
4	3 Heterogénea	20- 40%	74
5	3 Heterogénea	20- 40%	74

Apesar das intervenções urbanísticas, todas as áreas, exceto a área 2, asseguram uma capacidade de arrefecimento do ar semelhante (mantêm-se na mesma classe; Figura 30). No caso da área 2, a capacidade de arrefecimento do ar aumenta (mudando da classe de capacidade de arrefecimento do ar de até 1,2°C para até 2,4°C).

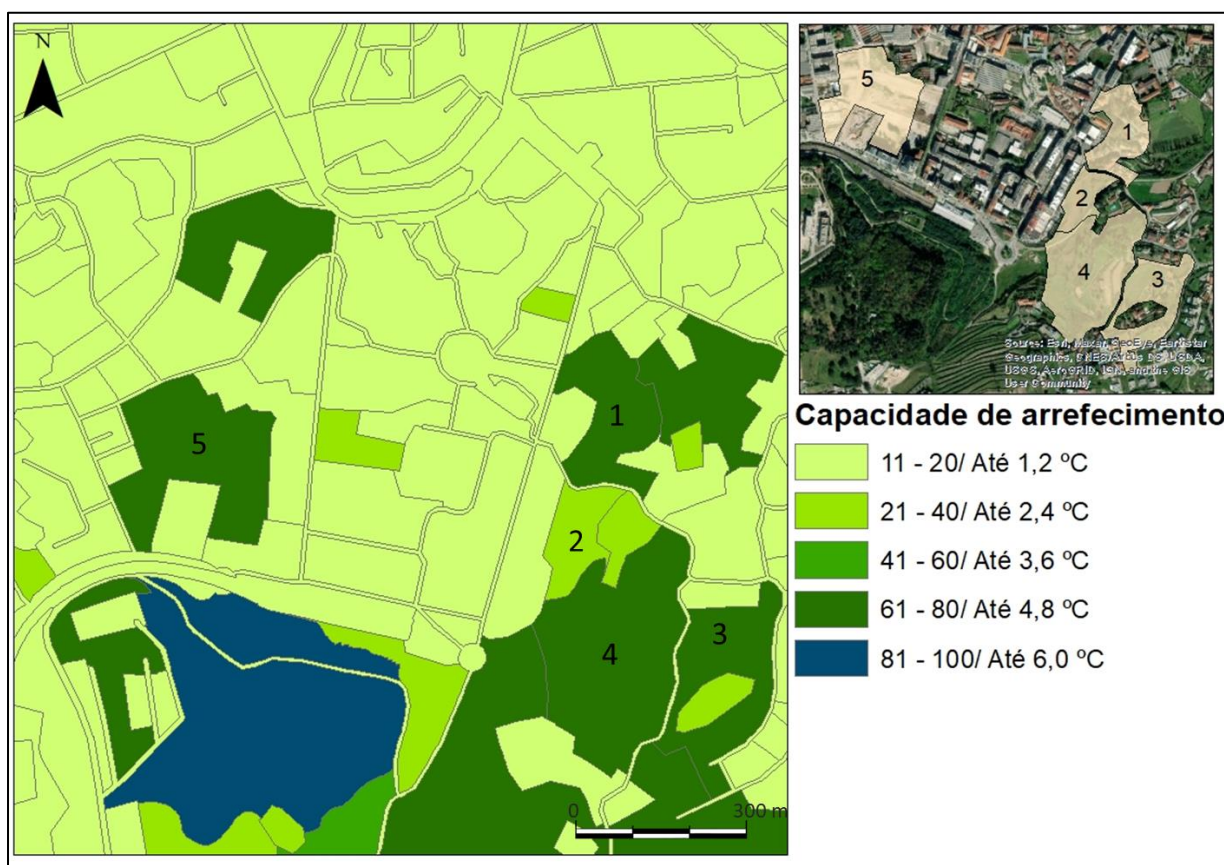


Figura 30- Capacidade de Arrefecimento sob o Cenário 3

## Notas Finais

Na zona de estudo da cidade de Guimarães o nível de urbanização é muito elevado e existem poucas áreas verdes ou com vegetação arbórea, assim a sombra e a evapotranspiração são muito reduzida, e ocorre um elevado aprisionamento da radiação, levando à formação da ilha de calor superficial. De modo a combater estes problemas é necessário a adoção de medidas de adaptação, sendo algumas delas os jardins verticais, telhados verdes, manutenção ou aumento dos espaços verdes públicos e privados onde a vegetação possa ter uma média dimensão de modo a poder surtir efeito na promoção de SE no centro urbano e que em zonas de futura expansão urbana. A vegetação arbórea deve ser também colocada ao longo das estradas de modo a absorver parte das emissões dos veículos e também para promover um melhor conforto térmico para a população através da criação de sombras.

A análise e construção de cenários de diferentes tipos de intervenção nas áreas críticas selecionadas, ao nível da cobertura da superfície e da vegetação arbórea, e resultante avaliação da capacidade de arrefecimento do ar demonstrou bem o impacto que estas modificações podem ter ao nível da importância dos SE assegurados pelas IVU, particularmente no que respeita a regulação microclimática em ambiente urbano. Em alguns cenários, as IVU desaparecem totalmente ou quase por completo (cenários 1A e 1B, respetivamente) e perde-se toda a capacidade de arrefecimento do ar e os efeitos da ilha de calor são sentidos de forma extrema na cidade. Nos outros cenários, as IVU conseguem manter ou melhorar (cenário 3 e 2, respetivamente), a capacidade de arrefecimento do ar e ajudar a combater os efeitos da ilha de calor nesta zona da cidade.

A área 5 sofreu grandes transformações no decorrer da realização deste trabalho, no âmbito de uma ORU, verificando-se que a partir de 2021 foram construídos novos arruamentos, um hipermercado e futuras áreas residenciais ou de serviços. A intervenção neste quarteirão eliminou quase completamente a mancha arbórea preexistente, com um impacto expectável sobre a IVU de Guimarães extremamente elevado e similar ao do cenário 1A. Neste local, a área ocupada por árvores ou vegetação do tipo mato, permitia uma importante capacidade de arrefecimento do ar, e também quando ocorriam eventos climáticos extremos como precipitação excessiva, os solos estando localizados numa zona mais elevada da cidade, permitia a retenção da escorrência superficial e evitando inundações, nomeadamente na Rua da Caldeiroa. Estes SE urbanos foram irremediavelmente perturbados nesta área. Espera-se agora que nas restantes áreas não se venha a verificar o pior cenário, mas que as futuras intervenções concretizem as condições climaticamente favoráveis do cenário 3.

## Bibliografia

A Carta de Zonamento Climático Local como instrumento para as políticas de base territorial: o exemplo de Vila Nova de Gaia; H. Madureira, A. Monteiro. [https://sigarra.up.pt/flup/pt/pub\\_geral.pub\\_view?pi\\_pub\\_base\\_id=283333](https://sigarra.up.pt/flup/pt/pub_geral.pub_view?pi_pub_base_id=283333)

Andrade, D. C., & Romeiro, A. R. (2009). Serviços ecossistêmicos e sua importância para o sistema econômico e o bem-estar humano. Campinas: IE/UNICAMP, 155, 1-43.

Alcoforado, M.; Lopes, A.; Andrade, H.; Vasconcelos, J. (2005) – Orientações Climáticas para o Ordenamento em Lisboa, Centro de Estudos Geográficos, Lisboa;

Alcoforado, M.; Lopes, A.; Andrade, H.; Vasconcelos, J. (2005) – Orientações Climáticas para o Ordenamento em Lisboa, Centro de Estudos Geográficos, Lisboa;

Alcoforado, M. J. (2006) – “O clima como recurso na conferência técnica da Organização Meteorológica Mundial”, Finisterra, XLI, 81, pp. 169-172;

Akbari H, Davis S, Dorsano S et al (1992) Cooling our Communities. A Guidebook on Tree Planting and Light-Colored Surfacing, Washington, DC;

Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M (1998) Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements. Food and Agriculture Organization of the United States, Rome;

Biodiversidade e Serviços de Ecossistema em espaço Urbano. Bacelar-Nicolau, P. (2019) Universidade Aberta.

Bowler DE, Buyung-Ali LM, Knight TM, Pullin AS (2010b) Urban greening to cool towns and cities: a systematic review of the empirical evidence. *Landsc Urban Plan* 97:147–155. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.05.006>;

Burkhard, B., Kroll, F., Müller, F., & Windhorst, W. (2009). Landscapes' Capacities to Provide Ecosystem Services – a Concept for Land-Cover Based Assessments. *Landscape Online*, 1-22.

Burkhard, B., Kandziora, M., Hou, Y., & Müller, F. (2014). Ecosystem service potentials, flows and demands-concepts for spatial localisation, indication and quantification. *Landscape online*, 34, 1-32.

Câmara municipal de Guimarães retirado no dia 10 de janeiro de 2020: [https://www.cm-guimaraes.pt/cmguimaraes/uploads/document/file/15830/oru\\_cidade.pdf](https://www.cm-guimaraes.pt/cmguimaraes/uploads/document/file/15830/oru_cidade.pdf)

Câmara municipal de Guimarães retirado no dia 12 de janeiro de 2020: [https://www.cm-guimaraes.pt/cmguimaraes/uploads/writer\\_file/document/7277/emaac\\_guimaraes.pdf](https://www.cm-guimaraes.pt/cmguimaraes/uploads/writer_file/document/7277/emaac_guimaraes.pdf)

Cadenasso ML, Pickett STA, Schwarz K (2007) Spatial heterogeneity in urban ecosystems: reconceptualizing land cover and a framework for classification. *Front Ecol Environ* 5:80–88;

Chang C-R, Li M-H, Chang S-D (2007) A preliminary study on the local cool-island intensity of Taipei city parks. *Landsc Urban Plan* 80:386–395. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2006.09.005> ;



Costanza, R., De Groot, R., Braat, L., Kubiszewski, I., Fioramonti, L., Sutton, P., ... & Grasso, M. (2017). Twenty years of ecosystem services: how far have we come and how far do we still need to go?. *Ecosystem services*, 28, 1-16.

DE GROOT, R.S., WILSON, M.A., BOUMANS, R.M.J., 2002. A typology for the classification, description, and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics* 41, 393-408;

EEA (2012) Urban adaptation to climate change in Europe. Challenges and opportunities for cities together with supportive national and European policies, Copenhagen.

Eliasson, I. (2000), "The use of climate knowledge in urban planning", *Landscape and Urban Planning*, 48(1-2), pp.31-44;

Ehrlich, P., and Ehrlich, A. (1981). *Extinction: the causes and consequences of the disappearance of species*.

Escobedo FJ, Adams DC, Timilsina N (2015) Urban forest structure effects on property value. *Ecosyst Serv* 12:209–217.

Ferreira, J. C. e ROCHA, J. (2010) Rede de Corredores verdes para a Área Metropolitana de Lisboa: estratégias e oportunidades para a Requalificação Ambiental, in *Corredores Verdes. Contributo para um Ordenamento Sustentável Regional e Local*, Instituto Geográfico Português, Lisboa.

Fisher, B., Turner, R. K., & Morling, P. (2009). Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological economics*, 68(3), 643-653.

Ganho, N. (1999) – "Clima urbano e a climatologia urbana, fundamentos e aplicação ao ordenamento urbano", *Cadernos de Geografia*, nº18, pp. 97-127;

Gneletti Davide; Cortinovis Chiara; Zardo Linda; Esmail Blal;(2020) - "Planning for Ecosystem Services in Cities", *Springer Briefs in Environmental Science*.

Grimm, N. B., Faeth, S. H., Golubiewski, N. E., Redman, C. L., Wu, J., Bai, X., and Briggs, J. M. J. s. (2008). Global change and the ecology of cities. 319, 756-760;

Groffman, P. M., Boulware, N. J., Zipperer, W. C., Pouyat, R. V., Band, L. E., Colosimo, M. F. J. E. s., and technology (2002). Soil nitrogen cycle processes in urban riparian zones. 36, 4547-4552;

Gómez-Baggethun, E., and Barton, D. N. (2013). Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. *Ecological Economics* 86, 235-245;

Haines-Young R, Potschin M (2010) The links between biodiversity, ecosystem services and human well-being. In: Raffaelli D, Frid C (eds) *Ecosystems ecology: a new synthesis*. Cambridge University Press, Leiden, pp 110–139;

Hübler M, Klepper G, Peterson S (2008) Costs of Climate Change. *Ecol Econ* 68: 381–393.

IPCC- PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE mudanças climáticas Sumário para Formuladores de Políticas Aquecimento Global de 1,5°C (2018).

Jansson, Å. (2013). Reaching for a sustainable, resilient urban future using the lens of ecosystem services. 86, 285-291.

JOÃO C. AZEVEDO (2011) florestas, ambiente e sustentabilidade uma abordagem centrada nos serviços de ecossistemas das florestas do distrito de bragança.

Koomen E, Diogo V (2015) Assessing potential future urban heat island patterns following climate scenarios, socio-economic developments and spatial planning strategies. Mitig Adapt Strateg Glob Chang.

Laforteza R, Davies C, Sanesi G, Konijnendijk C (2013) Green Infrastructure as a tool to support spatial planning in European urban regions. iForest – Biogeosci For 6:102–108.

Lopes, A. (2008), "O sobreaquecimento das cidades: causas e medidas para a mitigação da ilha de calor de Lisboa", Territorium, 15, pp.39-52;

Lyytimäki, J. e Sipilä, M. (2009) "Hopping on one leg – The challenge of ecosystem disservices for urban green management", Urban Forestry and Urban Greening 8(4): 309-315.

Ma, S., and Wang, R. S. J. A. e. s. (1984). Social-economic-natural complex ecosystem. 4, 1-9.

Machado, J. et al (2004) A Estrutura Ecológica do Município de Alcobaça. Relatório Técnico Preliminar, Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente da FCT/UNL, Monte de Caparica.

MEA (2005). "Ecosystems and Human Well-being: Synthesis."

NFH Gonçalves (2009) Espaços Verdes no Planeamento Urbano Sustentável

MOMM-SCHULT, S. I., FREITAS, S. R., & PASSARELLI, S. H. (2014). Uso urbano e serviços ecossistêmicos em áreas protegidas: o caso do Parque Guaraciaba em Santo André (SP).

Monteiro, C. A. F.; Mendonça, F. (Org.) (2003) – Clima Urbano, São Paulo: Contexto.

Oke, T.R. (1987) – BoundaryLayer Climates. Routledge, London.

Pinheiro, C. & Laranjeira, M., 2013. Análise do ambiente térmico e das condições de ventilação para a definição das funções climáticas na área urbana de Guimarães, s.l.: s.n.

Pinheiro, C. & Laranjeira, M., 2015. Análise espaciotemporal do efeito climático da urbanização difusa em Guimarães: a visão do Landsat, s.l.: s.n.

Potchter O, Cohen P, Bitan A (2006) Climatic behavior of various urban parks during hot and humid summer in the mediterranean city of Tel Aviv, Israel. Int J Climatol 26:1695–1711.

<https://doi.org/10.1002/joc.1330>;

Qihao Weng (2012). Remote sensing of impervious surfaces in the urban areas: Requirements, methods, and trends.

Satellite Remote Sensing of Surface Urban Heat Islands: Progress, Challenges, and Perspectives

Skelhorn C, Lindley S, Levermore G (2014) The impact of vegetation types on air and surface temperatures in a temperate city: a fine scale assessment in Manchester, UK. Landsc Urban Plan 121:129–140. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.09.012> ;

Slonecker, E. T., Jennings, D., & Garofalo, D. (2001). Remote sensing of impervious surface: A review. *Remote Sensing Reviews*, 20, 227–255

Souch CA, Souch C (1993) The effect of trees on summertime below canopy urban climates: a case study Bloomington, Indiana. *J Arboric* 19:303–312.

III Seminário Nacional sobre o tratamento de Área de Preservação Permanente e restrições ambientais ao Parcelamento do Solo. Belém–PA, 1-15.

Taha H, Akbari H, Rosenfeld A (1991) Heat island and oasis effects of vegetative canopies: micrometeorological field-measurements. *Theor Appl Climatol* 44:123–138. <https://doi.org/10.1007/BF00867999>;

Voogt, J.; Oke, T. (2003). “Thermal remote sensing of urban climates”. *Remote Sensing of Environment* 86, pp. 370-384;

Walter E. Westman (1977) How Much Are Nature 's Services Worth?

Zardo L, Geneletti D, Pérez-Soba M, Van Eupen M (2017) Estimating the cooling capacity of green infrastructures to support urban planning. *Ecosyst Serv* 26:225–235;