



Contribuição da deteção remota e dos SIG na estimação do consumo de água em espaços verdes irrigados para os meses de verão no período 2013-2023: caso de estudo a cidade de Faro (Portugal)

Contribution of remote sensing and GIS in estimating water consumption in irrigated green spaces during the summer months for the period 2013-2023: a case study of the city of Faro (Portugal)

Fernando Miguel Granja Martins¹, Helena Maria Fernandez¹

¹ CinTurs-Centro de Investigação em Turismo, Sustentabilidade e Bem-estar, Universidade do Algarve, Faro, Portugal

Contato: fmartins03@gmail.com

Palavras-Chave

espaços verdes
índices de vegetação
temperatura de superfície
índice de humidade
evapotranspiração
consumo de água

RESUMO

Nos dias de hoje, os espaços verdes nas cidades do Mediterrâneo têm vindo a assumir um papel preponderante na sustentabilidade e na organização urbana. Desempenham um papel crucial na promoção da saúde, no bem-estar da população, na conservação da diversidade biológica e na adaptação às mudanças climáticas. Neste contexto, o estudo apresentado pretende estimar o consumo de água nos espaços verdes irrigados da cidade de Faro (Portugal), ocupados essencialmente por relva, durante os meses de verão no período de 2013 a 2023, com base na Evapotranspiração de Referência e nas imagens de satélite Landsat 8 obtidas a partir do Google Engine. Foi determinada a Temperatura da Superfície Terrestre com base na banda Térmica 10 e no Normalized Difference Vegetation Index. Os espaços verdes irrigados foram identificados espacialmente através do Normalized Difference Water Index. Os resultados revelaram que durante o período analisado, o uso de água para irrigação é relativamente baixo. Mesmo em 2023, quando as necessidades hídricas das plantas foram mais elevadas, apenas 4% do consumo diário médio total de água em Faro foi destinado para irrigação. Assim, o consumo de água está alinhado com os desafios das alterações climáticas. Considerando que o município possui apenas 5% de áreas verdes disponíveis, é imperativo sensibilizar os stakeholders para a implementar mais áreas verdes urbanas, preferencialmente com plantas autóctones em substituição de relvado, a fim de minimizar as necessidades de irrigação.

Keyword

green spaces
vegetation Index
surface temperature
humidity Index
evapotranspiration
water consumption

ABSTRACT

Mediterranean cities' green spaces are crucial in sustainability and urban organization. They are essential to promoting health, population well-being, preserving biodiversity, and adapting to climate change. In this context, the study aims to estimate the water consumption in the irrigated green spaces of Faro, Portugal, mainly occupied by grass, during the summer months from 2013 to 2023. This estimation is based on Reference Evapotranspiration and Landsat 8 satellite images from Google Engine. The Land Surface Temperature was determined using Thermal band 10 and the Normalized Difference Vegetation Index. Irrigated green spaces were spatially identified through the Normalized Difference Water Index. The results showed that water use for irrigation was relatively low during the analyzed period. Even in 2023, when plant water needs were higher, only 4% of the total daily water consumption in Faro was allocated for irrigation. Therefore, water consumption aligns with the challenges of climate change. Considering that the municipality has only 5% of available green areas, it is imperative to raise awareness among stakeholders to implement more urban green spaces, preferably with native plants replacing lawns, to minimize irrigation needs

Informações do artigo

Recebido: 31 de janeiro, 2024
Aceito: 20 de abril, 2024
Publicado: 30 de abril, 2024

Introdução

Os espaços verdes urbanos, como parques, praças, jardins e áreas arborizadas, desempenham um papel crucial na melhoria da qualidade de vida nas cidades. Avaliar esses benefícios é uma etapa fundamental para a gestão desses espaços e assim proceder a melhorias por forma a ajudar no bem-estar dos utilizadores (HUANG et al., 2017). Diversos são os estudos que demonstram que a proximidade ou a frequência de visitas a espaços verdes manifesta efeitos positivos notáveis no bem-estar humano, nomeadamente, amenizar o efeito da ilha de calor urbana, melhorar a saúde cardiovascular, a saúde mental, a forma física e reduzir a mortalidade (CARRUS et al. 2015; AYALA-AZCÁRRAGA et al.; 2019, HUANG et al., 2019).

Manter os espaços verdes saudáveis e bem cuidados pode ser uma alternativa para aumentar os benefícios para a saúde, bem-estar da população e o meio ambiente (BERTRAM e REHDANZ, 2015). No entanto, compreender as características do consumo de água nos espaços verdes urbanos é crucial para o desenvolvimento urbano sustentável sob a urbanização e a escassez de água (GUO et al., 2021). As cidades enfrentam pressões crescentes associadas às mudanças climáticas, alterações demográficas, uma economia volátil, numa estrutura urbana cada vez mais complexa de resolver. Segundo Marlow et al., (2013), a gestão da água é importantíssima num contexto urbano. A gestão da água em cidades mais verdes requer uma abordagem holística que envolva todas as partes interessadas, promova a consciencialização ambiental, adote tecnologias inovadoras e implemente políticas eficazes. Isso não apenas ajuda a lidar com a escassez de água, mas também contribui para a construção de cidades mais sustentáveis e resilientes no contexto das mudanças climáticas (NOURI et al., 2019).

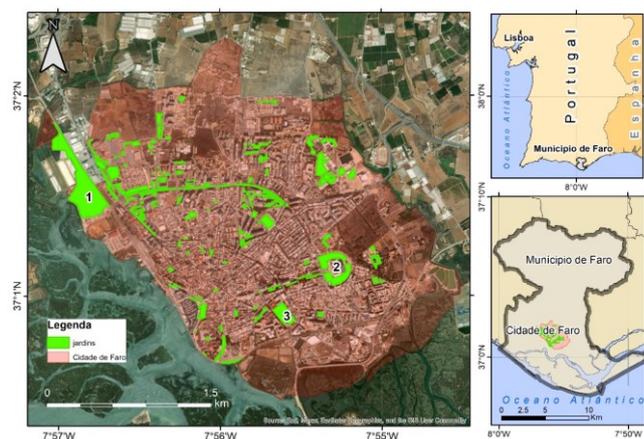
Os últimos anos demonstraram como os períodos prolongados de calor e seca podem afetar os recursos hídricos urbanos e levar ao stress hídrico na vegetação em espaços verdes urbanos, mesmo em regiões temperadas. Consequentemente, o conhecimento quantitativo sobre a partição eco hidrológica em diferentes tipos de espaços verdes urbanos é crucial para equilibrar as necessidades sustentáveis de água nas cidades durante os desafios futuros do aumento da urbanização e do aquecimento climático (KUHLEMANN et al., 2021). A deteção remota desempenha um papel essencial no estudo da evolução de espaços verdes urbanos, fornecendo informações valiosas para o planeamento urbano sustentável, a conservação da natureza e o bem-estar população urbana. Essa tecnologia permite uma análise abrangente das áreas verdes e a sua evolução ao longo do tempo (KONDO et al., 2018). A escassez dos recursos hídricos e as mudanças climáticas constituem motivo de preocupação da construção de mais espaços verdes. O estudo propõe a estimar o consumo de água utilizado na rega dos espaços verdes irrigados da cidade de Faro, nos meses de verão (junho a setembro) no período de 2013 a 2023, com base nas técnicas de Deteção remota aplicadas às imagens Landsat 8. Os resultados mostraram que existe uma tendência de aumento da irrigação no verão, especialmente em 2023. Contudo o consumo de água neste ano apenas 4% do consumo total médio diário do município de Faro.

A implementação de áreas verdes urbanas poderá ainda crescer por forma a acrescentar valor à cidade, melhor o bem-estar da população, mitigar os efeitos de eventos climáticos e impulsionar o investimento e a qualidade para o Turismo, mas ter especial atenção às plantas que se vai utilizar.

Material e Métodos

A cidade Faro é a capital do Algarve (sul de Portugal) limitada pelas coordenadas geodésicas WGS84 37°02,8'N a 37°00,1'N e 07°58,3'W a 07°54,7'W (Figura 1). Calcula-se que, em 2023, a cidade de Faro, abrangendo uma área de aproximadamente 708ha, dispunha de cerca de 35ha de espaços verdes urbanos, o que equivale a 5% da área total. Destacam-se como os principais parques urbanos da cidade o Parque Ribeirinho (11,4ha), a Mata do Liceu (3,4ha) e o Jardim da Alameda (2,0 ha).

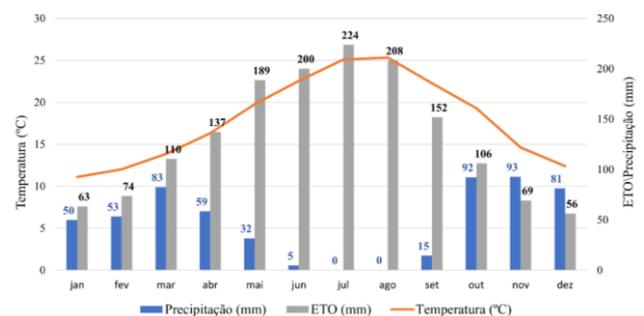
Figura 1. Espaços verdes da cidade de Faro: (1) Parque Ribeirinho, (2) Mata do Liceu, (3) Jardim da Alameda.



Fonte: Autores (2024)

De acordo com a classificação com Köppen Geiger o clima é Csa (clima mediterrânico de verões secos e quentes). A Figura 2 mostra os valores de Temperatura média do ar, a Precipitação e a Evapotranspiração de Referência (ET₀), acumulados mensalmente no período 2013 a 2023, obtidos a partir da estação meteorológica Patacão (Faro) da Rede de Estações meteorológicas Automática da Direção Regional de Agricultura e Pescas do Algarve (DRAP Algarve).

Figura 2. Valores médios de Precipitação, ET₀ e Temperatura da estação de referência no Patacão (Faro) no período de 2013 a 2023.



Fonte: Autores (2024)

Nos meses estudados a Temperatura média do ar varia entre 22,3°C e 25,3°C. A Precipitação entre 0,2mm a 14,5mm. Constata-se que a necessidade hídrica das plantas neste período é bastante elevada, como se pode constatar pelos elevados valores mensais acumulados de ET₀ que variam entre os 152mm e os 224mm.

De acordo com os Censos 2021 (PORDATA, 2022), Faro possui 67650 habitantes, sendo que no verão devido ao turismo a população aumenta consideravelmente.

Segundos dados publicados pela entidade pública prestadora de serviços de abastecimento de água, de recolha de resíduos e de saneamento da cidade de Faro (Faro, Gestão de Águas e Resíduos-FAGAR), o consumo de água médio diário é de 17144m³. Este consumo nos meses de verão é intensificado.

Neste estudo, propõe-se a estimativa do consumo de água nos espaços verdes da cidade de Faro durante os meses de verão (junho a setembro) no período de 2013 a 2023. Este intervalo é caracterizado pelo período seco com precipitação quase nula, o que possibilita a análise da presença e eficácia da irrigação. Relacionar ET₀ com a irrigação é fundamental para estudar as necessidades hídricas da planta e garantir que as plantas recebem a quantidade de água suficiente para atender às suas exigências no que respeita à transpiração e evaporação. Para alcançar esse objetivo, procedeu-se à estimação de ET₀ com uma resolução de 30m, utilizando dados provenientes da estação de referência do Patacão (Faro) e da *Land Surface Temperature* (LST). Foi utilizada a plataforma *Google Earth Engine* (GEE), para adquirir as imagens do satélite *Landsat 8*, referentes ao período compreendido entre junho e setembro dos anos de 2013 a 2023 com uma cobertura de nuvens inferiores a 5%.

Para estimar a temperatura da superfície foi determinado LST com base na Equação 1.

$$LST = \left(\frac{T_B}{(1 + \frac{\lambda \times T_B}{\alpha}) \times \log \epsilon} \right) - 273,15 \quad (\text{Eq.1})$$

Onde, T_B é banda Termal (B10) do sensor TIRS/*Landsat 8* em graus kelvin, λ o comprimento de onda médio da B10 (10,9µm) (SAJIB e WANG, 2020), ϵ a emissividade, $\alpha = \frac{h \times c}{s} = 1,438 \times 10^{-2} mK = 14380 \mu mK$, sendo h a constante de Plank ($6,626 \times 10^{-34} Js$), c a velocidade da luz ($2,998 \times 10^8 ms^{-1}$) e s a constante de Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23} JK^{-1}$).

O valor de ϵ , que se refere à emissividade da cobertura superficial do solo, é determinada com base na Equação 2, proposta por Sobrino et al. (2004).

$$\epsilon = \epsilon_V P_V + \epsilon_S \times (1 - P_V) + C \quad (\text{Eq.2})$$

Onde, ϵ_V é a emissividade da vegetação, ϵ_S a emissividade do solo, C o termo que leva em conta o efeito da rugosidade do solo, P_V a proporção da vegetação. De acordo com Skokovic et al. (2014) para a B10 do *Landsat 8*, ϵ_V é 0,987 e ϵ_S é 0,971. O valor de C é zero porque as superfícies são planas (SOBRINO et al.,2008).

De acordo com Carlson e Ripley (1997), P_V é dado pela Equação 3.

$$P_V = \left(\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right)^2 \quad (\text{Eq.3})$$

Onde $NDVI$ é o *Normalized Difference Vegetation Index*.

O $NDVI$ introduzido por Rouse et al. (1974) permite conhecer a densidade e o estado verde da cobertura vegetal. As áreas verdes são identificadas relacionando a banda do Infravermelho Próximo (NIR) com o Vermelho (RED). O $NDVI$ é obtido a partir da Equação 4.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{RED + NIR} \quad (\text{Eq.4})$$

Os valores de $NDVI$ variam entre -1 (sem vegetação) e 1 (máxima cobertura de vegetação). O intervalo comum para vegetação verde é de 0,2 a 0,8. Valores próximos de zero representam solo nu.

Para estimar ET₀ nos espaços verdes urbanos, realizou-se o cálculo de uma regressão linear para uma significância de 95%, onde a variável independente foi a LST , obtida na localização da estação de referência, e a variável dependente foi o ET₀ proveniente da estação de referência, no período de janeiro a dezembro dos anos de 2013 a 2023.

Para localizar as áreas irrigadas foi utilizado o *Normalized Difference Water Index* ($NDWI$) proposto por Gao (1996), que relaciona as bandas, Curta de Infravermelho ($SWIR$) e NIR . Foram identificadas as áreas de vegetação com água, com valores de $NDWI$ acima de zero. A Equação 5 expressa o cálculo do $NDWI$.

$$NDWI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR} \quad (\text{Eq.5})$$

A estimativa do consumo de água (C) em m^3/dia relativamente aos espaços verdes foi determinada com base na Equação 6.

$$C = \frac{ETc \times A}{1000} \times K_S \quad (\text{Eq.6})$$

Onde, ETc (mm/dia) é a evapotranspiração da cultura, A a área irrigada (m^2) e K_S o coeficiente de modalidade de rega.

Neste estudo foi considerado que o valor da evapotranspiração da cultura corresponde ao valor de uma cultura padrão que não esteja sujeita a stress hídrico e K_S com um valor de 0,5, o que significa que é necessário regar cerca de 50% da evapotranspiração da cultura.

As classes dos mapas produzidos foram classificadas de acordo com o algoritmo de *Jenks* (*Natural Breaks*) em que os dados são agrupados por forma a minimizar dentro da classe a variação de valores e, por outro lado, maximizar a diferença entre classes.

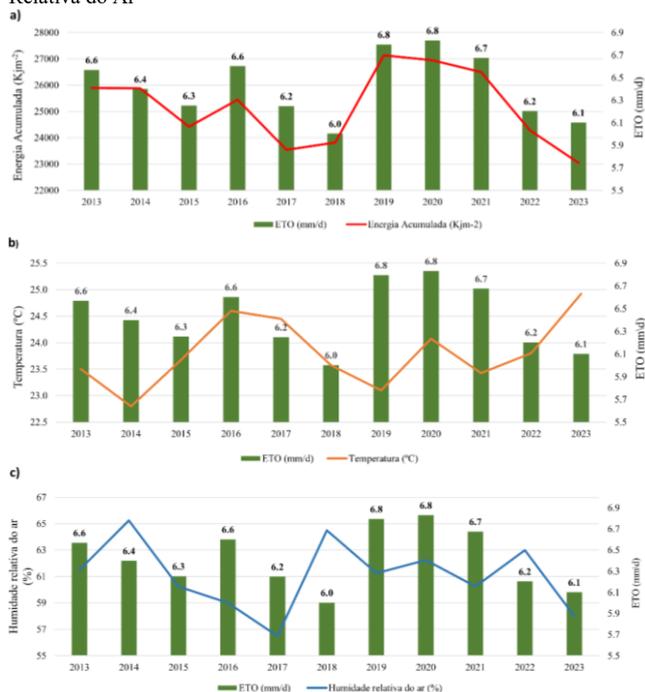
Resultados e Discussões

Com base na ET₀ da estação de referência no período 2013 a 2023, constata-se uma correspondência com as variações na Energia Acumulada, Temperatura e Humidade Relativa do Ar (Figura 3).

Importa salientar que, em 2016, o valor de ET₀ é semelhante ao de 2013, apesar de se verificar uma ligeira redução na Energia Acumulada; porém, em 2016, ocorreu um aumento da temperatura e uma diminuição da Humidade Relativa. Em 2017, a ET₀ diminuiu, apresentando um valor semelhante ao de 2015, contudo, tanto a radiação como a humidade foram inferiores a 2015, enquanto a temperatura foi mais elevada. No ano de 2023, a radiação atingiu o valor mais baixo no período em estudo, mas a ET₀ permaneceu semelhante aos anos de 2015, 2017, 2018 e 2022. Este fenómeno é atribuído ao facto de, neste ano, a temperatura ter alcançado o seu valor mais elevado.

Ao analisar especificamente a Figura 3c, nota-se que nos anos em que se observam picos de humidade (2014, 2018 e 2022), os valores de ET₀ são reduzidos.

Figura 3. Valores médios diários de junho a setembro no período de 2013 a 2023 a) Relação entre o ET₀ e a Energia Acumulada, b) Relação entre o ET₀ e a Temperatura do Ar e c) Relação entre o ET₀ e a Humidade Relativa do Ar



Os resultados apresentados da Figura 4 à Figura 7 e a Figura 9 dizem respeito meses de junho a setembro do ano 2023.

A Figura 4 mostra os resultados de NDVI classificados em cinco classes. Os valores de NDVI variam de 0,07 (mínimo) a 0,69 (máximo), com uma média de 0,24. A classe mais representativa é a do intervalo [0,14; 0,28] com cerca de 63% de área ocupada. Por outro lado, a classe menos representativa, situada entre [0,55; 0,69], cobre apenas 0,3% da área e está relacionada ao campo de futebol do clube da cidade.

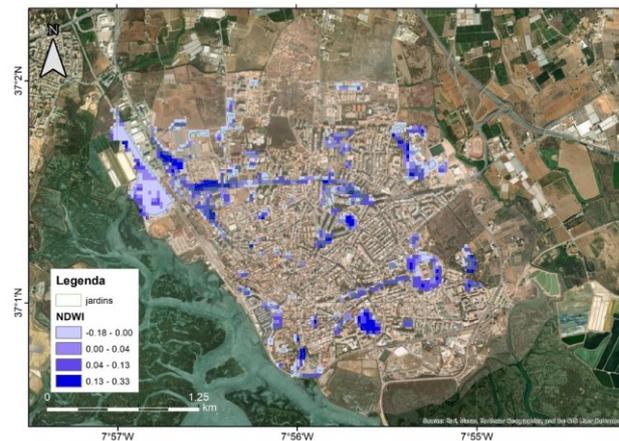
Os jardins com NDVI nos intervalos de [0,28; 0,41] e [0,41; 0,55], representando vegetação mais verde, ocupam cerca de 27,4% da área total. A classe [0,07; 0,14], que caracteriza jardins com vegetação seca, ocupa uma área de 9,3%. Os espaços verdes mais destacados da cidade apresentam variações nos valores de NDVI. No Parque Ribeirinho, a classe mais representativa é [0,14; 0,28]. Na Mata do Liceu, as classes predominantes são [0,14; 0,28] e [0,28; 0,41], enquanto no Jardim da Alameda, as mais representativas são [0,28; 0,41] e [0,41; 0,55].

Figura 4. NDVI dos meses de junho a setembro no ano 2023.



A Figura 5 mostra os resultados de NDWI classificados em quatro classes. Os valores de NDWI variam de -0,18 (mínimo) a 0,33 (máximo), com uma média de 0,03. A classe mais representativa é a do intervalo [0,18; 0,00] com cerca de 38% de área ocupada, que representa os espaços verdes não irrigados. Assim conclui-se que em 2023, 62% da área ocupada por espaços verdes foi irrigada (22ha). A classe menos representativa, situada entre [0,13; 0,33], cobre apenas 10% de área, e que representa as zonas bem irrigadas. Nesta classe, inclui-se o Jardim da Alameda. Os jardins com NDWI nos intervalos de [0,00; 0,04] e [0,04; 0,13], representam 52% de ocupação, sendo a maioria da parte irrigada. A mata do Liceu está representada neste intervalo. A maior parte do Parque Ribeirinho, não é irrigado estando a parte irrigada incluída quase na sua totalidade na classe [0,00; 0,04].

Figura 5. NDWI dos meses de junho a setembro no ano 2023.

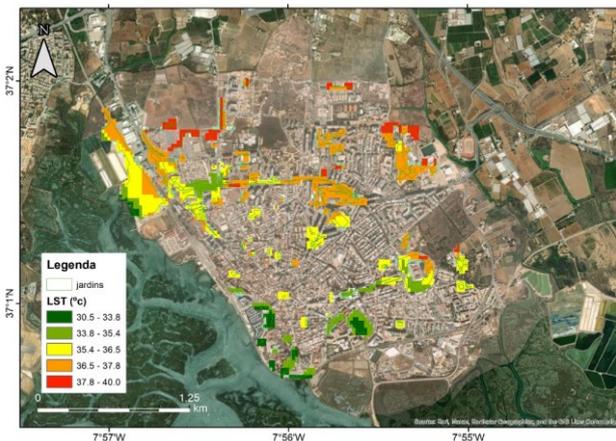


A Figura 6 mostra os resultados de *LST* classificados em cinco classes. Os valores de *LST* variam de 30,5° (mínimo) a 40,0° (máximo), com uma média de 36,2°. A classe mais representativa é a do intervalo [36,5°; 37,8°] com cerca de 36% de área ocupada, localizado essencialmente nos jardins mais interiores da cidade.

Em contrapartida, a classe menos representativa, caracterizada por temperaturas mais baixas, [30,5°C; 33,8°C], ocupa uma área 6,7%.

Outra classe com uma representatividade baixa está no intervalo [33,8°C; 35,4°C], com uma ocupação de cerca de 14,9%. Os jardins que têm estes dois intervalos de temperaturas estão localizados maioritariamente junto à ria. Também, o Jardim da Alameda, apresenta estas duas classes de temperatura. Cerca de 32,6% da área ocupada por jardins apresentam temperaturas na classe [35,4°C; 36,5°C]. A classe das temperaturas mais elevadas [37,8°C; 40°C] ocupa 9,8% de área e localizam-se nas zonas a norte, nos limites da cidade. O Parque Ribeirinho apresenta temperaturas de 30,5°C a 37,8°C, enquanto a Mata do Liceu regista valores de temperatura entre 33,8°C a 40,0°C.

Figura 6. *LST* dos meses de junho a setembro no ano 2023.



Fonte: Autores (2024)

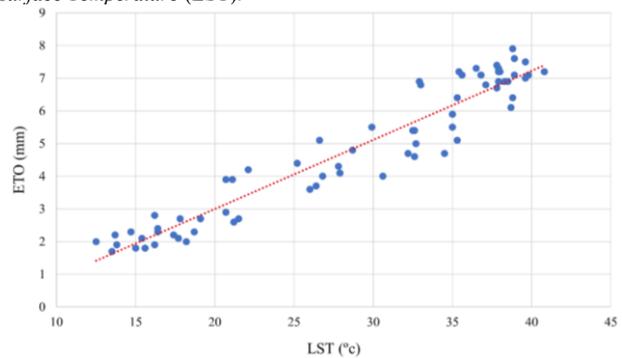
A Figura 7 mostra a regressão linear realizada entre a variável dependente *ET0* e a variável independente *LST* na estação de referência. A regressão linear foi determinada com base em 70% dos dados porque em alguns meses, em especial de inverno, não existem imagens com uma cobertura de nuvens inferior a 5%. Por outro lado, em alguns meses há ausência de registo de *ET0*.

O modelo linear obtido tem um ajuste de $R^2 = 0,92$ e um de $p\text{-value} = 2,2 \times 10^{-16}$, o que significa que o modelo explica os dados. A Equação 7 mostra o modelo de regressão linear.

$$ET0 = 0,2113 \times LST - 1,2213 \quad (\text{Eq.7})$$

A Figura 8 mostra os resultados de *ET0* classificados em cinco classes. Os valores estão em conformidade com os valores de *LST*, variando de 5,18mm/dia (mínimo) a 7,09mm/dia (máximo), com uma média de 4,94mm/dia.

Figura 7. Regressão Linear entre a variável dependente Evapotranspiração de Referência (*ET0*) e a variável independente *Land Surface Temperature* (*LST*).

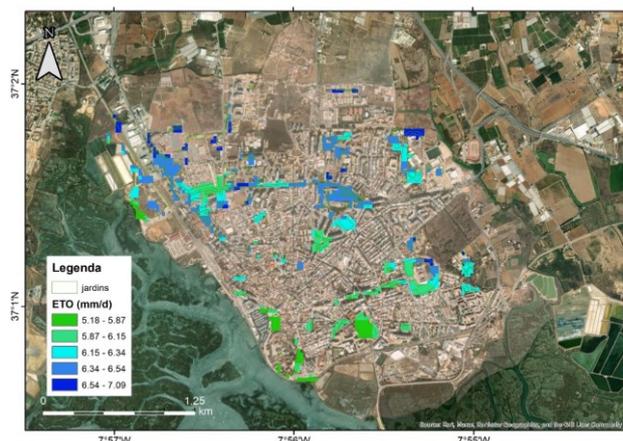


Fonte: Autores (2024)

A classe mais representativa é a do intervalo [6,34mm/dia; 6,54mm/dia] com cerca de 32,9% de área ocupada, localizado essencialmente nos jardins mais interiores da cidade. A classe menos representativa, caracterizada por *ET0* mais baixos, [5,18mm/dia; 5,87mm/dia], ocupa uma área 9,2% e localizam-se junto à ria, incluindo o Jardim da Alameda, que apresenta *ET0* nesta classe.

As classes de [5,87mm/dia; 6,15mm/dia] e [6,15mm/dia; 6,34mm/dia] apresentam ambas 24% de ocupação de área. A Mata do Liceu tem maioritariamente valores nestas duas classes. As zonas irrigadas do Parque Ribeirinho têm valores de *ET0* mais heterogêneos variando de 5,18mm/dia a 6,54mm/dia. Os valores mais elevados de *ET0*, [6,54mm/dia; 7,09mm/dia] ocupam cerca de 9,9% de área e localizam-se nas zonas a norte, nos limites da cidade.

Figura 8. *ET0* dos meses de junho a setembro no ano 2023.

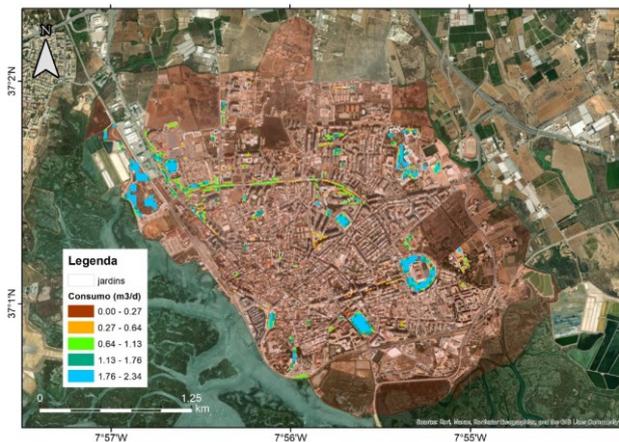


Fonte: Autores (2024)

A Figura 9 mostra os resultados do consumo de água nos jardins nos meses de junho a setembro do ano 2023, classificados em cinco classes. O valor máximo verificado para o consumo foi de 2,34m³/dia e o médio de 0,75m³/dia. A classe mais representativa é a do intervalo [1,78m³/dia; 2,34m³/dia] com cerca de 43,5% de área ocupada, localizado no parque Ribeirinho, Mata do Liceu e Jardim da Alameda. A classe menos representativa, caracterizada por consumos mais baixos, [0,0mm³/dia;

0,27m³/dia], ocupa uma área 4,9%. As classes de consumos nos intervalos [0,27m³/dia; 0,64m³/dia], [0,64m³/dia; 1,13m³/dia], [1,13m³/dia; 1,78m³/dia] ocupam uma área de 13,3%, 17,2%, 21,1%, respetivamente.

Figura 9. Consumo de água para espaços verdes irrigados dos meses de junho a setembro no ano 2023.



Fonte: Autores (2024)

Após realizado o mesmo estudo para os meses de junho a setembro para o período de 2013 a 2022 foram obtidos os resultados das Figuras 10, Figura 11 e a Tabela 1. Os valores de ET₀ dos espaços verdes urbanos foram comparados com os registos da estação de referência na Figura 9. Observou-se que, ao longo do período analisado, os valores de ET₀ nos espaços verdes urbanos foram sempre inferiores aos da estação de referência, com exceção do ano 2023. Considerando que as condições climáticas, a topografia e os solos da cidade de Faro são análogas aos da estação de referência, sugere-nos que, ao longo deste período, os jardins manifestaram uma menor exigência hídrica. Presume-se, assim, que em períodos anteriores houve uma prática mais intensiva de irrigação. No ano de 2023, a ET₀ nos espaços verdes urbanos superou a da estação de referência, sugerindo uma redução na prática de irrigação no período anterior. Também na Figura 9, destaca-se um aumento significativo na temperatura média do solo, passando de 26,1° em 2013 para 33,1° em 2023. A precipitação manteve-se constantemente baixa, com valores médios diários variando de 0mm a 0,4mm. Em termos gerais, os valores de ET₀ nos espaços verdes permaneceram semelhantes de 2013 a 2023, no entanto, a temperatura do solo demonstrou uma tendência crescente. Este facto sugere que a prática de irrigação possa ter sido intensificada ao longo do período em análise.

A Figura 11 estabelece uma relação entre o consumo nos espaços verdes urbanos e a área irrigada no período em estudo. A área irrigada apresenta algumas variações, atingindo um valor mínimo em 2013, de 16,8ha (quando ainda não existia o Parque Ribeirinho na cidade), e um valor máximo em 2021, de 23,3ha (já considerando a construção do Parque Ribeirinho em 2014). Em 2023, mesmo após a remodelação da Mata do Liceu, a área irrigada foi inferior, com um valor de 22,7ha, o que sugere que determinados espaços verdes deixaram de ser irrigados.

Figura 10. Valores médios no período de 2013 a 2023 de ET₀, Precipitação e Temperatura, dos espaços verdes urbanos e da estação de referência do Patacão (Faro).

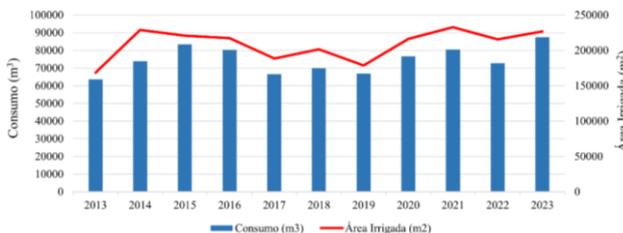


Fonte: Autores (2024)

Este facto, poderá dever-se a estratégias municipais ou a avarias nos sistemas de irrigação.

Os consumos de água acompanham proporcionalmente o aumento da área irrigada, oscilando entre 63585m³ em 2013 e 87498m³ em 2023. Importa destacar que, em 2023, embora a área de irrigação tenha sido inferior à de 2021, o consumo de água foi superior (Tabela 1 e Figura 11). Tal facto é atribuído ao aumento da temperatura do solo, cerca de 2,5° em relação a 2021.

Figura 11. Consumo médio de água de junho a setembro nos espaços verdes irrigados no período de 2013-2023.



Fonte: Autores (2024)

Tabela 1. ET₀ médio diário, ET₀×K_s médio mensal, áreas irrigadas, consumo diário e consumo total nos meses de junho a setembro de 2013 a 2023.

Ano	ET ₀ (mm/dia)	ET ₀ .K _s (mm/mês)	Área Irrigada (m ²)	Consumo m ³ /dia	Consumo (m ³) Jun-Set
2013	6,2	95,0	168499	521,2	63585
2014	5,3	81,0	228967	606,0	73928
2015	6,2	95,0	220830	684,2	83472
2016	6,1	92,7	217288	658,0	80271
2017	5,8	88,5	188492	545,9	66605
2018	5,7	87,4	201386	573,4	69957
2019	6,2	94,1	178580	547,3	66776
2020	5,8	88,9	216409	628,1	76634
2021	5,7	87,0	232829	660,0	80515
2022	5,6	84,7	215425	596,6	72785
2023	6,4	97,0	226675	717,2	87498

Fonte: Autores (2024)

Silva (2017) estudou os consumos de água nos jardins com a espécie *Stenotaphrum secundatum* na vila de São Brás de Alportel, localizada a norte de Faro, durante o ano de 2016. Verificou que os valores de ET_L para os meses de junho a setembro aproximavam-se de 100mm. Este valor está em concordância com os 92,7mm calculados no presente estudo para o mesmo ano e período.

Conclusão

Neste estudo, foram utilizadas a Detecção Remota e os Sistemas de Informação Geográfica para estimar o consumo de água nos meses de verão no período de 2013 a 2023 dos espaços verdes irrigados da cidade de Faro. Os resultados revelam que durante o período analisado, o uso de água para irrigação é relativamente baixo. Mesmo em 2023, quando as necessidades hídricas das plantas foram mais elevadas, apenas 4% do consumo diário médio total de água em Faro foi destinado à irrigação. Portanto, a expansão de áreas verdes urbanas pode ser ainda mais viável, considerando que o município possui apenas 5% de áreas verdes disponíveis.

A valorização e a implementação dos espaços verdes urbanos irrigados no contexto das cidades do Mediterrâneo emergem como uma estratégia essencial para enfrentar os desafios ambientais, no que concerne à mitigação dos impactos das altas temperaturas, uma característica marcante da região do Algarve. Estes espaços melhoram significativamente a qualidade do ar, proporcionando um ambiente mais saudável para a população, promovendo atividades ao ar livre, exercício físico e interações sociais. Além disso, contribuem para embelezar a cidade, fomentando o aumento do turismo.

A escolha criteriosa dos tipos de plantas utilizadas nos jardins e a integração de práticas de irrigação eficientes e tecnologias sustentáveis desempenham um papel fundamental (GASSER et al., 2014). Plantas bem adaptadas, como espécies autóctones resistentes à seca, não apenas reduzem as exigências hídricas, mas também promovem a biodiversidade local, contribuindo para a preservação dos ecossistemas.

Assim, há que sensibilizar os *stakeholders* para a escolha dos tipos de plantas a usar nos espaços verdes preocupando-se não só com o aspeto estético, mas também a sustentabilidade a longo prazo.

Agradecimentos

Este artigo é financiado por Fundos Nacionais através da FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia no âmbito do projeto UIDB/04020/2020 e com o DOI 10.54499/UIDB/04020/2020 (<https://doi.org/10.54499/UIDB/04020/2020>)

Referências

AYALA-AZCÁRRAGA, C., DIAZ, D., & ZAMBRANO, L. Characteristics of urban parks and their relation to user well-being. *Landscape and urban planning*, 189, 27-35, 2019.

BERTRAM, C., & REHDANZ, K. The role of urban green space for human well-being. *Ecological Economics*, 120, 139-152, 2015.

CARLSON, T. N., & RIPLEY, D. A. On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. *Remote sensing of Environment*, 62(3), 241-252, 1997.

CARRUS, G., SCOPELLITI, M., LAFORTEZZA, R., COLANGELO, G., FERRINI, F., SALBITANO, F., ... & SANESI, G. Go greener, feel better? The positive effects of biodiversity on the well-being of individuals visiting urban and peri-urban green areas. *Landscape and urban planning*, 134, 221-228, 2015.

GAO, B. C. NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote sensing of environment*, 58(3), 257-266, 1996.

GASSER, L., LE GALL, F., & ABILY, M. Water efficiency in smart cities: optimising irrigation for public green spaces. *LHB*, 110(1), 2294076, 2024.

GUO, J., NIU, H., XIAO, D., SUN, X., & FAN, L. Urban green-space water-consumption characteristics and its driving factors in China. *Ecological Indicators*, 130, 108076, 2021.

HUANG, S. K., LEE, S. W., JO, H. K., & YOO, M. Impact of frequency of visits and time spent in urban green space on subjective well-being. *Sustainability*, 11(15), 4189, 2019.

HUANG, C., YANG, J., LU, H., HUANG, H., & YU, L. Green spaces as an indicator of urban health: Evaluating its changes in 28 mega-cities. *Remote Sensing*, 9(12), 2017.

KONDO, M. C., FLUEHR, J. M., MCKEON, T., & BRANAS, C. C. Urban green space and its impact on human health. *International journal of environmental research and public health*, 15(3), 445, 2018.

KUHLEMANN, L. M., TETZLAFF, D., SMITH, A., KLEINSCHMIT, B., & SOULSBY, C. Using soil water isotopes to infer the influence of contrasting urban green space on ecohydrological partitioning. *Hydrology and Earth System Sciences*, 25(2), 927-943, 2021.

MARLOW, D. R., MOGLIA, M., COOK, S., & BEALE, D. J. Towards sustainable urban water management: A critical reassessment. *Water Research*, 47(20), 7150-7161, 2013.

NOURI, H., BORUJENI, S. C., & HOEKSTRA, A. Y. The blue water footprint of urban green spaces: An example for Adelaide, Australia. *Landscape and urban planning*, 190, 103613, 2019.

ROUSE, J. W., HASS, R. H., SCHELL, J. A., & DEERING, D. W. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (Greenwave effect) of nature vegetation. *Greenbelt, MD: NASA/GSFCT Type III Final Report*, 1974.

SAJIB, M. Q. U., & WANG, T. Estimation of Land Surface Temperature in an agricultural region of Bangladesh from Landsat 8: Intercomparison of four algorithms. *Sensors*, 20(6), 1778, 2020.

SILVA, M. R. D. D. Planeamento de espaços verdes urbanos tendo por base a condução da rega e a deteção remota: caso de estudo-espaços verdes urbanos de São Brás de Alportel (Doctoral dissertation), 2017.

SKOKOVIC, D., SOBRINO, J. A., JIMENEZ-MUÑOZ, J. C., SORIA, G., JULIEN, Y., MATTAR, C., & CRISTÓBAL, J. Calibration and Validation of land surface temperature for Landsat8-TIRS sensor. *LPVE (Land Product Validation and Evolution)*, 2014.

SOBRINO, J. A., JIMÉNEZ-MUÑOZ, J. C., & PAOLINI, L. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sensing of environment*, 90(4), 434-440, 2004.

SOBRINO, J. A., JIMÉNEZ-MUÑOZ, J. C., SÓRIA, G., ROMAGUERA, M., GUANTER, L., MORENO, J., ... & MARTÍNEZ, P. Land surface emissivity retrieval from different VNIR and TIR sensors. *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, 46(2), 316-327, 2008.