

Gonçalo de Almeida Lopes

MONITORIZAÇÃO DE ESPAÇOS  
VERDES ATRAVÉS DE DETEÇÃO REMOTA  
– CAMPO DE GOLFE VALE DO LOBO



UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Faculdade de Ciências e Tecnologias

2017

Gonçalo de Almeida Lopes

MONITORIZAÇÃO DE ESPAÇOS  
VERDES ATRAVÉS DE DETEÇÃO REMOTA  
– CAMPO DE GOLFE VALE DO LOBO

Mestrado em Engenharia do Ambiente

Trabalho efetuado sob a orientação de:

Prof. Dr.<sup>a</sup> Celestina Pedras

Prof. Fernando Martins



UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Faculdade de Ciências e Tecnologias

2017

Monitorização de espaços verdes através da deteção remota: campo de golfe Vale do  
Lobo

Declaração de Autoria do Trabalho

Declaro ser o autor deste trabalho, que é original e inédito. Autores e trabalhos consultados estão devidamente criados no texto e constam da listagem de referências incluída.

Gonçalo de Almeida Lopes

---

© Copyright: Gonçalo de Almeida Lopes

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade do Algarve têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos de arquivar e publicar este trabalho através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e ao editor.

## **AGRADECIMENTOS**

Durante a realização do presente trabalho tive o privilégio de ter recebido o apoio de várias pessoas e instituições:

Gostaria de deixar um especial agradecimento aos meus orientadores, Professora Celestina Pedras e Professor Fernando Martins, por toda a competência, disponibilidade e amizade demonstrada. A genialidade e a clarividência que neles me habituaram a encontrar, revelaram-se fundamentais para o desenvolvimento e conclusão do trabalho.

À Professora Helena Fernández, pelo interesse demonstrado no tema, bem como os seus propositados comentários e disponibilidade de ajuda no trabalho de campo.

Ao Richard Snyder, por todo o conhecimento e pelo privilégio de lidar com umas das referências do tema.

À companheira de trabalho e amiga Maria Silva, por toda a amizade, força e motivação que se revelaram essenciais nestes meses, sem nunca esquecer as suas sábias palavras.

Ao campo de golfe Royal por ter proporcionado a oportunidade e os meios necessários para a realização do presente estudo.

Por último, mas não menos especial, queria deixar um grande obrigado: à minha namorada, por toda a confiança e segurança transmitida, o que tornou esta fase menos complicada. À família que me proporcionou e acompanhou ao longo de todo este processo, com infinita disponibilidade e paciência, tendo noção que sem eles nada disto era possível.

Um bem haja a todos.

## RESUMO

A água tem-se afirmado cada vez mais um recurso de grande importância, principalmente face à sua crescente escassez. A região do Algarve apresenta um clima do tipo mediterrânico, com um período chuvoso que coincide com a estação fria e um período seco na época quente, onde é necessário recorrer à rega para satisfazer as necessidades hídricas da vegetação. Atendendo ao grande aumento de espaços verdes regados nas últimas décadas no Algarve, torna-se fundamental um uso eficiente da água, de modo a assegurar a sustentabilidade da rega destas áreas.

O presente estudo tem por objetivo procurar entender de que forma é possível minimizar o impacto ambiental provocado pela rega dos espaços verdes através do conhecimento das necessidades hídricas destes espaços (microescala) e de índices de vegetação (macroescala).

O caso de estudo localiza-se no campo de golfe *Royal*, em Vale do Lobo, Portugal. As necessidades hídricas da vegetação foram determinadas a partir de três estações meteorológicas distribuídas em três locais distintos no campo de golfe. Os dados permitiram calcular a evapotranspiração de referência ( $ET_o$ , mm/d), a evapotranspiração da paisagem ( $ET_L$ , mm/d) e os coeficientes da paisagem ( $K_L$ ). A análise do desempenho da rega foi determinada com base em avaliações realizadas ao sistema de rega instalado no campo. Por último, a metodologia da deteção remota permitiu determinar o índice de vegetação a partir de imagens aéreas (macroescala) recolhidas de uma câmara instalada num veículo aéreo não tripulado.

Os resultados obtidos possibilitaram conhecer as necessidades hídricas da vegetação (microescala) e cruzar a informação com o estado do relvado. A relação permitiu, à macroescala e em tempo real, mostrar aos *stakeholders* o potencial de melhoria na eficiência da rega. As novas tecnologias utilizadas ao longo do estudo afirmaram-se como uma ferramenta útil para uma otimização do uso da água.

**Palavras chave:** Microclima; Relvado; Evapotranspiração; Rega por aspersão; Detecção Remota.

## **ABSTRACT**

Water is a resource of high value, which has been assuming particular importance in face of its current increasing shortage. Algarve region have a Mediterranean climate, which includes a rainy period, coincident with the cold season, and a dry period in the warm season. During the dry season, irrigation assumes particular importance in fulfilling the water requirements of the vegetation. Due to the increase of landscapes irrigated areas in Algarve on the last decades, establishing an efficient use of water resources is paramount to ensure the sustainability of irrigation of these areas.

The current study aimed to better understand the potential to minimize the environmental impact caused by the landscape irrigation based on knowledge of the plant water needs (micro scale) and vegetation indices (macro scales). The case study was conducted on a golf course of Vale do Lobo, Portugal. The irrigation water needs were determined using data from meteorological station distributed in three locations in the golf course: different microclimates. These data were used to calculate reference evapotranspiration (mm/d), landscape evapotranspiration (mm/d) and landscape coefficients ( $K_L$ ). A performance analysis of irrigation was conducted based on evaluations of the irrigation's systems. Finally, a remote detection approach was used to determine the vegetation index based on aerial images (macro scale) acquired through a camera attached to an unmanned aerial vehicle (UAV). The data gathered allowed to determine the local water need of vegetation, the visual quality of the of turfgrass and the vegetation indexes. This relation shows that macro scale could be used to show, in real time, to stakeholders, the potential improvement efficiency in water use on landscape areas. The new technologies applied in this study represent a valuable tools to optimize the use and planning of water resources.

**Key words:** Microclimate; Turfgrass; Evapotranspiration; Sprinkler irrigation; Remote sensing.

## ÍNDICE GERAL

|         |  |    |
|---------|--|----|
| 1       | Introdução.....  | 1  |
| 1.1     | Descrição do problema .....                                      | 1  |
| 1.2     | Objetivos da tese .....  | 3  |
| 1.3     | Estrutura da tese.....   | 4  |
| 2       | Revisão da literatura.....                                       | 5  |
| 2.1     | Espaços verdes .....   | 5  |
| 2.1.1   | Sustentabilidade de um espaço verde .....                        | 6  |
| 2.1.2   | Conservação da água .....  | 8  |
| 2.2     | Evapotranspiração.....   | 9  |
| 2.2.1   | Evapotranspiração de Referência .....                            | 11 |
| 2.2.2   | Necessidades hídricas da paisagem e coeficiente da paisagem..... | 14 |
| 2.2.3   | Coeficiente da vegetação .....                                   | 15 |
| 2.2.4   | Coeficiente de Densidade .....                                   | 16 |
| 2.2.5   | Coeficiente microclima.....                                      | 17 |
| 2.2.6   | Coeficiente de stress .....                                      | 17 |
| 2.3     | Estratégias de rega com stress.....                              | 17 |
| 2.4     | Avaliação do sistema de rega.....                                | 19 |
| 2.4.1   | Indicadores de Desempenho .....                                  | 19 |
| 2.5     | Deteção Remota.....  | 21 |
| 2.5.1   | Espectro e radiação eletromagnética .....                        | 22 |
| 2.5.2   | Interação energia matéria - caso particular da vegetação .....   | 24 |
| 2.5.3   | Índices de Vegetação .....                                       | 26 |
| 2.5.3.1 | Índice de vegetação por diferença normalizada.....               | 26 |
| 2.5.4   | Imagens Landsat .....  | 28 |
| 2.5.5   | Sistemas de informação geográfica .....                          | 30 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 3     | Caso de Estudo .....  | 31 |
| 3.1   | Localização da área de estudo .....                                       | 31 |
| 3.2   | Caracterização edafoclimática .....                                       | 31 |
| 3.3   | Caracterização do Sistema de Rega .....                                   | 33 |
| 4     | Metodologia .....   | 34 |
| 4.1   | Obtenção de Dados .....   | 34 |
| 4.2   | Determinação das necessidades hídricas .....                              | 35 |
| 4.3   | Balanço hídrico .....   | 36 |
| 4.4   | Avaliação do sistema de rega.....   | 37 |
| 4.4.1 | Disposição dos coletores .....  | 37 |
| 4.4.2 | Uniformidade.....   | 38 |
| 4.5   | Deteção Remota.....   | 39 |
| 4.5.1 | Características do VANT.....  | 39 |
| 4.5.2 | Câmara Digital.....   | 40 |
| 4.4.3 | Análise preliminar da área de voo .....                                   | 40 |
| 4.5.4 | Plano de voo .....  | 41 |
| 4.5.5 | Execução do levantamento aéreo .....                                      | 43 |
| 4.6   | Tratamento das imagens .....  | 43 |
| 4.6.1 | Criação de ortomosaicos.....  | 43 |
| 4.6.2 | Cálculo do Índices de Vegetação.....                                      | 44 |
| 4.6.3 | Aquisição de imagens satélite.....  | 45 |
| 4.6.4 | Análise das imagens NDVI–Método de avaliação da qualidade dos pixéis..... | 46 |
| 4.6.5 | Diferenciação dos valores de NDVI.....                                    | 47 |
| 4.6.6 | Influência da rega na aparência do relvado .....                          | 48 |
| 5     | Resultados e discussão .....  | 49 |
| 5.1   | Caracterização climática da área de estudo .....                          | 49 |
| 5.1.1 | Influência da <b>ET<sub>o</sub></b> na região do Algarve .....            | 53 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 5.1.2 | Evapotranspiração do relvado .....                              | 54 |
| 5.1.3 | Influência da <b>ETA</b> na área de estudo.....                 | 56 |
| 5.1.4 | Coefficientes culturais .....                                   | 57 |
| 5.2   | Balanço hídrico .....   | 58 |
| 5.3   | Avaliação do sistema de rega.....                               | 59 |
| 5.3.1 | Uniformidade do sistema de rega .....                           | 61 |
| 5.4   | Deteção Remota.....   | 63 |
| 5.4.1 | Ortos mosaicos .....  | 63 |
| 5.4.2 | Índice de vegetação através de imagens aéreas (VANT) .....      | 64 |
| 5.4.3 | Índice de vegetação através de imagens satélite (Landsat) ..... | 70 |
| 5.4.4 | Resultados da comparação entre VANT e Landsat .....             | 72 |
| 5.4.5 | Diferenciação das imagens obtidas por intermédio do VANT.....   | 73 |
| 5.4.6 | A rega e o estado do relvado .....                              | 77 |
| 6     | Conclusões e trabalhos futuros.....                             | 81 |
| 6.1   | Conclusão.....  | 81 |
| 6.2   | Desenvolvimentos futuros .....                                  | 83 |
| 7     | Bibliografia.....   | 84 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 2.1 - Esquema de layout das componentes de um buraco de um Campo de Golfe (Ebert et.,2009). .....  | 5  |
| Figura 2.2 - Ciclo do desenvolvimento sustentável (Adaptado de: Águas, 2012). .....   | 7  |
| Figura 2.3 - Perda de água através do processo de evapotranspiração (Fonte: Savva et al., 2002). .....  | 11 |
| Figura 2.4 – Esquema da evapotranspiração de referência ( <i>ET<sub>o</sub></i> ) (Allen et al., 2007). .   | 13 |
| Figura 2.5 - Sistema de detecção remota (Canada,2015). .....  | 23 |
| Figura 2.6 - Espectro de ondas eletromagnéticas (Manuel, 2015). .....   | 24 |
| Figura 2.7 - Comportamento espectral da água, vegetação e solo (adaptado de Aggarwal, 2004). .....  | 25 |
| Figura 2.8 - Normalizes Difference Vegetation Index (Weier & Herring, 2000). .....  | 27 |
| Figura 2.9 - Cronologia das missões Landsat (1972 – 2015) (NASA in Manuel, 2015).<br>.....  | 29 |
| Figura 3.1 – Identificação da área de estudo, no campo de golfe “Royal Golf Course”, delimitada pela linha vermelha (Buracos 4, Buraco8 e Buraco18) (Fonte: Google Maps).<br>.....                                  | 31 |
| Figura 4.1 - Esquema metodológico. ....   | 34 |
| Figura 4.2 - Estação meteorológica fixa (Estação8) e móvel (Estação18) instaladas nos Buracos8 e 18 respetivamente. ....  | 35 |
| Figura 4.3 - Esquema da disposição dos coletores e aspersores no relvado. ....  | 38 |
| Figura 4.4 - Representação fotográfica da disposição dos coletores no Buraco8 (a) e Buraco18 (b). ....  | 38 |
| Figura 4.5 - Quadricóptero DJI Phantom 2 (Phantom 2, 2016). .....   | 40 |
| Figura 4.6 - Câmara Digital Canon SX 260 HS (Canon, 2016). .....  | 40 |
| Figura 4.7 - Aparência do plano de voo relativo ao Buraco8. ....  | 42 |
| Figura 4.8 - Aspeto das imagens captadas antes da realização do ortomosaico no software Pix4D (Buraco4). ....   | 44 |
| Figura 4.9 – Disposição das zonas 1,2 e 3 selecionadas para avaliar a qualidade do relvado – método de avaliação da qualidade dos pixéis. ....  | 47 |
| Figura 5.1 - Valores de evapotranspiração de referência ( <i>ET<sub>o</sub></i> ), temperatura do ar (T) e radiação solar (RG) de março 2015 a dezembro de 2016, da Estação8 e da Estação18 do campo de golfe. .... | 50 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 5.2 - <i>ETo</i> , intensidade e direção do vento na Estação8 e Estação18 de março a dezembro 2016. ....  | 51 |
| Figura 5.3 - Precipitação da estação meteorológica Patacão para o ano de 2015 e 2016 (DRAPALG, 2016).....  | 52 |
| Figura 5.4 - Influência da <i>ETo</i> nos meses de fevereiro, março, junho e julho determinado a partir das estações meteorológicas Alcantarilha, Alte, Patacão, e ainda das estações localizadas no Buraco 4, 8 e 18 no campo de golfe..... | 53 |
| Figura 5.5 - Evapotranspiração de referência <i>ETo</i> e evapotranspiração da paisagem atual <i>ETa</i> na Estação8 e Estação18.....  | 55 |
| Figura 5.6 - Mapeamento dos valores de <i>ETa</i> no campo de golfe nos meses de março, maio, junho e julho. ....  | 56 |
| Figura 5.7 - Valores de <i>Ka</i> e <i>Kmc</i> para a Estação8 e Estação18.....  | 57 |
| Figura 5.8 - Balanço hídrico no ano de 2016 da Estação8. ....  | 58 |
| Figura 5.9 - Quantidade de água recolhida durante as 3 avaliações na área adjacente à Estação8: a) 27/072016; b) 28/07/2016; c) 29/07/2016. ....   | 59 |
| Figura 5.10 - Quantidade de água recolhida durante as 3 avaliações na área adjacente à Estação18: a) 27/072016; b) 28/07/2016; c) 29/07/2016 .....   | 60 |
| Figura 5.11 – Valores de DU e CU no Buraco8 e 18.....  | 61 |
| Figura 5.12 - Orto mosaicos de maio, junho e abril do Buraco4,8 e 18 respetivamente.64   |    |
| Figura 5.13 - Mapas de NDVI em abril e junho no Buraco8 e 18 respetivamente. ....  | 65 |
| Figura 5.14 - Frequência relativa dos valores NDVI no mês de abril. ....   | 66 |
| Figura 5.15 - Frequência relativa dos valores NDVI no mês de maio. ....  | 67 |
| Figura 5.16 - Frequência relativa dos valores NDVI no mês de junho. ....   | 68 |
| Figura 5.17 - Frequência relativa dos valores NDVI no mês de julho. ....   | 69 |
| Figura 5.18 - Imagens adquiridas através do satélite Landsat 8 referentes à banda 5 (SWIR) e ao cálculo de NDVI no mês de julho. ....  | 70 |
| Figura 5.19 - Valores de NDVI para imagens adquiridas por intermédio do Landsat 8 no Buraco4,8 e 18.....   | 71 |
| Figura 5.20 - Relação entre NDVI obtido de imagens aéreas adquiridas através do Lansat8 e de uma câmara colocada num VANT. ....  | 73 |
| Figura 5.21 - Diferenciação NDVI para o Buraco4.....   | 74 |
| Figura 5.22 - Diferenciação NDVI para o buraco8. ....  | 75 |
| Figura 5.23 - Diferenciação NDVI buraco18. ....  | 76 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 5.24 – Mapas de NDVI (1), da uniformidade de distribuição da água de rega (2) e do declive (3) na zona de avaliação da rega do Buraco8..... | 78 |
| Figura 5.25 – Mapa de NDVI (1), da uniformidade de distribuição da água de rega (2) e do declive (3) na zona de avaliação da rega no Buraco18..... | 79 |

## ÍNDICE DE QUADROS

|  |    |
|--|----|
| Quadro 2.1 – Valores de <i>KV</i> de diferentes tipos de vegetação (adaptado de Allen et al.,1998).....  | 16 |
| Quadro 2.2 - Valores indicativos das eficiências de aplicação para sistemas de rega bem projetados e bem mantidos (Adaptado de Pereira, 2004)..... | 20 |
| Quadro 3.1 - Caracterização da estação meteorológica no Patacão, Faro. ....  | 32 |
| Quadro 3.2 - Dados meteorológicos médios da estação meteorológica localizada no Patacão, Faro (2012-2016) (DRAPALG, 2015 e 2016) . ....            | 32 |
| Quadro 3.3 - Características dos aspersores do campo de golfe (Rain Bird, 2010). ....  | 33 |
| Quadro 4.1 - Características do VANT (Phantom 2, 2016). ....   | 39 |
| Quadro 4.2 - Resumo dos dados referentes aos parâmetros dos voos. ....   | 42 |
| Quadro 4.3 - Data da recolha dos dados de satélite.....  | 45 |

## Lista de Siglas

|          |   |
|----------|---|
| 2D       | Duas Dimensões  |
| 3D       | Três Dimensões  |
| ASCE     | American Society of Civil Engineers                     |
| CDI      | Rega Deficitária Controlada                             |
| CU       | Coeficiente de Uniformidade                             |
| Dr       | Dotação Real  |
| DrapAlg  | Direção Regional de Agricultura e Pescas do Algarve     |
| DU       | Uniformidade de Distribuição                            |
| E        | Evaporação  |
| EV       | Espaços Verdes  |
| EROS     | Earth Resources Observation and Scient                  |
| ET       | Evapotranspiração                                       |
| $ET_a$   | Evapotranspiração Atual                                 |
| $ET_L$   | Evapotranspiração do Espaço Verde                       |
| $ET_O$   | Evapotranspiração de Referência                         |
| ETRS     | Earth Resources Technology Satellite                    |
| FAO      | Food and Agriculture Organization of The United Nations |
| G        | Densidade do Fluxo do Ar                                |
| GCS      | Ground Control Station                                  |
| GPS      | Global Positioning System                               |
| IDW      | Inverso do Quadrado da Distância                        |
| $K_a$    | Coeficiente do Espaço Verde Atual                       |
| $K_D$    | Coeficiente de Densidade                                |
| $K_L$    | Coeficiente de Vegetação/Paisagem                       |
| $K_{mc}$ | Coeficiente Microclimático                              |
| $K_{sm}$ | Coeficiente de Stress                                   |
| LCM      | Landscape Coefficient Method                            |
| LIMP     | Landscape Irrigation Management Program                 |
| LWIR     | Bando do Infravermelho Térmico Landsat                  |

|           |  |
|-----------|--|
| NASA      | National Aeronautics and Space Administration                            |
| NDVI      | Normalizes Difference Vegetation Index                                   |
| NIR       | Near – Infrared (infravermelho próximo)                                  |
| R         | Máxima Reflexão  |
| RDI       | Rega Deficitária Regulada  |
| REM       | Radiação Eletromagnética   |
| RGB       | Red Green Blue   |
| Rn        | Radição Líquida à Superfície da Vegetação                                |
| SIG       | Sistema de Informação Geográfica   |
| SWIR      | Short – Wavelength Infrared (infravermelho de comprimento de onda curto) |
| T         | Temperatura  |
| Tr        | Transpiração   |
| $U_2$     | Vento  |
| USGS      | Geological Service United States   |
| VANT      | Veículo Aéreo Não Tripulado  |
| $\gamma$  | Constante Psicométrica   |
| $Z_{AVG}$ | Quantidade média infiltrada em toda a parcela                            |
| $Z_{LQ}$  | Quantidade média infiltrada no menor quartil de área regada (mm)         |
| $\Delta$  | Declive da curva de pressão de vapor                                     |

# 1 Introdução

## 1.1 Descrição do problema

A sociedade tem crescido de acordo com o avanço tecnológico e no pressuposto da inesgotabilidade dos recursos naturais. Esta forma de estar leva à devastação dos sistemas que garantem a vida no planeta, pondo em risco a sobrevivência da humanidade. Confrontados com um consumo crescente de água e com as alterações climáticas, a população e a própria natureza têm sentido dificuldades em satisfazer as suas necessidades de água. Nos últimos anos, segundo *Connor (2015) in Water For a Sustainable World*, atividades relacionadas com a produção agrícola assumem-se como as principais responsáveis pelo consumo de água. Desta forma, manifesta-se a necessidade da otimização deste recurso, já que a qualidade de vida e a qualidade da água estão diretamente interligadas.

Associado diretamente ao consumo de água estão os espaços verdes (EV), tendo-se presenciado um enorme crescimento da sua importância devido a apresentarem-se como uma mais-valia para o bem-estar das populações. O destaque dos espaços verdes no contexto urbano é já inquestionável e a sua existência acarreta consigo inúmeras vantagens, nomeadamente a promoção da saúde física e mental, disponibilidade de recreio, estímulo social, entre muitas outras (Baptista *et al.*, 2001).

Devido à grande procura existente e à necessidade de os EV estarem sempre em ótimas condições, a discussão em torno da problemática ambiental assume uma grande importância. Em Portugal, sobretudo no Algarve, tem-se verificado um grande crescimento de extensas áreas verdes monoculturais, como os campos de golfe. Estes EV têm suscitado algumas questões e preocupações relacionadas com o impacto ambiental da sua construção e manutenção. Se relativamente à construção as principais razões devem-se ao local escolhido, já que no toca à manutenção, é a quantidade de água utilizada que se assume como principal preocupação ambiental.

Torna-se imprescindível que se consiga afastar a realidade dos EV da prática de má gestão de recursos, em que otimizar a qualidade da prática do lazer e, no mesmo sentido, assegurar a preservação dos recursos naturais do local sejam o objetivo desejável para qualquer EV. No entanto, segundo os dados fornecidos pela *KPMG's Golf Benchmark*, esta prática nem sempre é garantida: na Europa, o custo médio de um buraco de um campo de golfe constituído por 18 buracos ronda os 324.000€. Além disso, este estudo, afirma também que 24% dos gastos relacionados com um campo de golfe estão diretamente ligados à rega. José Monteiro (2006),

apurou que os consumos de água de 25 campos de golfe na região do Algarve, apresentavam um consumo de água de  $8.685 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/ano. O que significa que são gastos em média cerca de  $0,347 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/ano para um campo com 18 buracos e cerca de 19.300 m<sup>3</sup>/ano em cada um dos buracos que o constituem. Ao utilizarmos estes dados para os 39 campos de golfe existentes no Algarve, chegamos a um valor de  $13.548 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/ano. Segundo a *Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos*, no ano de 2014, em Portugal, o consumo de água médio diário por habitante rondou os 200 litros. Portanto, é possível avaliar que a quantidade de água dispendida nos campos de golfe seria suficiente para garantir a sustentabilidade de 185 mil pessoas em Portugal ao longo de um ano.

Desta forma, é essencial realizar uma gestão adequada do consumo de água, uma vez que um dos grandes problemas ambientais está relacionado com os desequilíbrios entre a disponibilidade e a procura de água, ou porque as quantidades disponíveis são insuficientes para uma procura que é sempre crescente, ou porque a qualidade da água não se apresenta ao nível requisitado. Nos EV o elevado consumo de água está diretamente relacionado à rega das plantas (Pereira, 2007).

Na região onde irá decorrer o estudo, o Algarve, chove em média 500 mm por ano. O fenómeno da precipitação ocorre essencialmente durante o inverno, quando a temperatura é menor. No verão, com temperaturas elevadas, as culturas apresentam carências de água, necessidade que é suprimida através da rega. Este processo tem o objectivo de combater as lacunas do clima da região em função das necessidades de água das plantas, da precipitação, da evaporação e das características que o solo apresenta, mais especificamente no que toca à capacidade de armazenamento e à infiltração. Relativamente à infiltração, o excesso de água aplicado pode deslocar-se para os lençóis subterrâneos, por percolação profunda, arrastando consigo sais solúveis, fertilizantes, herbicidas entre outros. Assim, dá-se a contaminação dos recursos hídricos causando sérios problemas ao ambiente e à saúde humana (Pereira, 2007).

Otimizar o uso da água é um processo complexo dado que depende não só do projeto de rega mas também da gestão da rega. Em vários estudos realizados verificou-se que a rega ou ocorre por excesso (provocando escorrência) ou por defeito (pode provocar ausência de vegetação). Conseguir determinar com precisão a quantidade de água correspondente às necessidades hídricas das plantas, poderá conduzir a uma redução significativa do consumo de água e de energia. Sendo o setor da agricultura o maior utilizador da água, torna-se importante que os

sistemas apresentem uma elevada eficiência, contribuindo para a conservação dos recursos naturais e para o aumento do rendimento produtivo da água (Pedras, 2003).

Neste estudo pretendeu-se utilizar os avanços na tecnologia da deteção remota e nos Sistemas de Informação geográfica (SIG), visto que estes métodos alternativos têm vindo a revelar-se eficazes para qualificar o estado da vegetação (Keith *et al.*, 2002). Recorrendo a uma série temporal de imagens obtidas por intermédio de uma câmara colocada num veículo aéreo não tripulado (VANT) e à tecnologia SIG, é possível determinar o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) (Rouse *et al.*, 1974), que permite distinguir as plantas ativas fotossinteticamente.

Posto isto, pretendeu-se correlacionar a procura de água por parte da vegetação, o estado do relvado e o desempenho do sistema de rega, de forma a definir estratégias que melhor adequam a rega à gestão da água.

## **1.2 Objetivos da tese**

O principal objetivo do presente trabalho visa procurar uma utilização mais eficiente dos recursos, de forma a tornar os espaços verdes mais sustentáveis em regiões sujeitas à escassez hídrica. Para este propósito, são também objetivos deste trabalho:

- Determinar as necessidades hídricas da paisagem através de dados meteorológicos fornecidos pelas estações colocadas em diferentes microclimas no campo de golfe (microescala);
- Avaliar a eficiência do sistema de rega instalado no campo de golfe (microescala);
- Explorar as potencialidades da deteção remota na sustentabilidade e manutenção de espaços verdes (macroescala);
- Relacionar os dados obtidos à microescala com os da macroescala.

### **1.3 Estrutura da tese**

A presente tese está dividida em sete capítulos:

- O capítulo I apresenta uma breve introdução à problemática relacionada com o propósito do trabalho, os objetivos e a estrutura da tese;
- O capítulo II inclui a revisão bibliográfica onde são apresentados os conceitos relacionados com o estudo – espaços verdes, evapotranspiração e as suas variáveis, a rega e a deteção remota;
- O capítulo III apresenta a área de estudo. Caracteriza-se a localização do campo de golfe, o clima e o sistema de rega;
- O capítulo IV apresenta as metodologias utilizadas na determinação das necessidades hídricas do relvado, na avaliação do sistema de rega, nas características dos voos com VANT e no tratamento e análise das imagens;
- O capítulo V mostra os resultados e discussão. Neste capítulo apresentam-se os dados meteorológicos referentes à área de estudo, os parâmetros que permitem caracterizar o sistema de rega do campo de golfe e a análise as imagens recolhidas por intermédio do VANT;
- No capítulo VI são apresentadas as principais conclusões deste estudo e apontam-se formas de melhorar trabalhos futuros;
- Capítulo VII encontram-se as referências bibliográficas que serviram de base à realização deste trabalho.

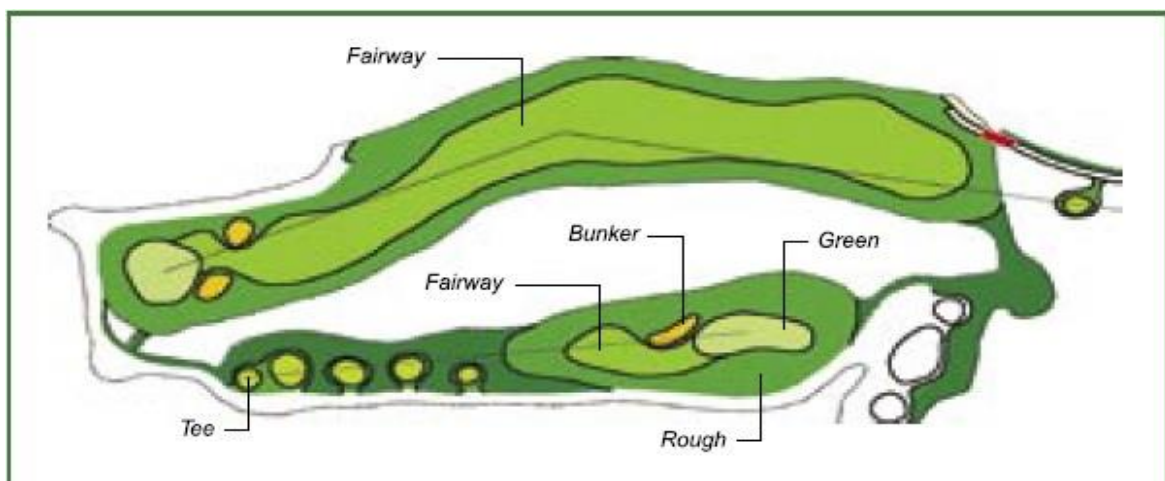
## 2 Revisão da literatura

### 2.1 Espaços verdes

Segundo Dunnet *et al.*, (2002), EV definem-se como uma área terrestre ampla que é essencialmente constituída por solos permeáveis e caracterizada pela presença de árvores, arbustos e relva. Estes, além das inúmeras características que os definem ou o propósito para que são concebidos, situam-se como uma alternativa à realidade urbana, acarretando consigo diversos benefícios sociais, ambientais e económicos.

De acordo com Fadigas (1993), os EV podem ter inúmeras funções, e conforme o seu propósito é vantajoso adequar a sua construção e manutenção. Geralmente um EV com um coberto vegetal em relva, divide-se em três grandes grupos: relvados ornamentais, onde se incluem pequenos jardins ou grandes parques urbanos, relvados de proteção a espaços rodoviários e relvados com funções desportivas, onde se pode englobar os campos de golfe.

Os espaços desportivos, nomeadamente os campos de golfe, são constituídos por vários elementos característicos (Fig. 2.1), construídos para que os intervenientes disfrutem ao máximo da natureza enquanto o jogo decorre. A área de jogo completa apresenta dezoito buracos localizados sequencialmente, e é caracterizada por se situar num extenso espaço verde composta essencialmente por relva. (USGA, 2012). Cada buraco é constituído por *greens*, *collars*, *approaches*, *surrounds*, *tees*, *fairways*, *bunkers* e *roughs* (USGA, 2012 e Ebert *et al.*,2009).



**Figura 2.1** - Esquema de layout das componentes de um buraco de um Campo de Golfe (Ebert *et al.*,2009).

- Green: Área do campo com maior necessidade hídrica. Uma relva mais fina e cortada muito rente, onde se encontra o buraco assinalado por uma bandeira. A área de um green varia entre os 300 e os 700 m<sup>2</sup>;
- Tees: Zona de início da partida, com uma área de cerca de 100m<sup>2</sup>, perfeitamente plana e relvada.
- Fairway: Assegura-se como sendo a segunda zona que requer mais cuidados, mas por sua vez constitui a maior área relvada do campo com cerca de 30 a 50 de largura;
- Bunkers: São obstáculos que podem estar dispostos ao longo do buraco e à volta do green. Podem ser charcos, lagos, ribeiros ou obstáculos de areia;
- Roughs: Constituem a envolvente a cada buraco, como apresenta uma menor importância para o jogo, podem vir a ser deixados secar parcialmente no verão (Silva *et al.*, e Correia, 2009).

O prestígio de um espaço verde/campo de golfe está diretamente associado à qualidade do relvado. No entanto, há áreas que apresentam uma maior necessidade de cuidados consoante as condições microclimáticas a que estão sujeitas e as funções que apresentam no contexto do jogo (Silva *et al.*, 2009).

Segundo Barret *et al.*, (2004) existem mais de 1200 espécies de relva, porém, apenas entre 20 a 25 apresentam as características necessárias para fazer parte de um campo de golfe. É necessário suportar um regime de cortes muito intensivo, geralmente diário e um cuidado especial a nível de práticas culturais, doenças e tolerância à seca. Outra condicionante é o tipo de clima existente, uma vez que as relvas são consideradas culturas sensíveis à temperatura. A relva pode ser dividida em dois grupos: relvas de inverno ou de frio (*cool-season*) e relvas de verão ou de calor (*warm-season*). As relvas de verão atingem as condições ótimas de crescimento quando a temperatura está situada entre os 25° e os 35°C. As de inverno crescem melhor a temperaturas a rondar os 15°C e 25°C. Uma boa seleção do tipo de relva que melhor se adapte ao clima onde se situa o campo é um dos passos mais importantes na projeção do mesmo, já que contribuirá para a redução do consumo de recursos (Silva *et al.*, 2009).

### **2.1.1 Sustentabilidade de um espaço verde**

O modo de estar da sociedade atual, não vai de encontro às necessidades da natureza. Os recursos naturais disponíveis são finitos, pelo que é necessário assegurar que todas as atividades humanas tenham uma base sustentável de forma a serem perenes, estratégia associada ao relatório da Comissão Mundial sobre o Ambiente e Desenvolvimento (CMAD)

(Brundtland,1987). O conceito de sustentabilidade procura encontrar soluções que ponderem as necessidades do presente sem comprometer o futuro das próximas gerações. É sempre necessário procurar uma visão virada para o futuro, onde a igualdade inter-geracional, a justiça social e a consciência ambiental estejam presentes, alertando para a necessidade de uma ótima gestão de recursos (IUCN, 1992).

No entanto, existe uma grande diversidade de interpretações no que realmente o desenvolvimento sustentável assenta, mas através de Brundtland (1998) definiram-se os três pilares fundamentais para que este conceito seja viável: dimensão económica, social e ecológica.



**Figura 2.2** - Ciclo do desenvolvimento sustentável (Adaptado de: Águas, 2012).

Confrontamo-nos invariavelmente com referências isoladas às três vertentes do desenvolvimento sustentável, com a expressão “sustentabilidade ambiental” a ser a mais utilizada. Este facto resulta do consenso em promover os valores ambientais, já que alterar o funcionamento das sociedades atuais tem revelado um grau de dificuldade elevado (Fidelis, 2001).

Criou-se assim uma nova forma de pensar e de agir, em que o grande desafio assenta em formar áreas sustentáveis, onde os EV desempenham um papel principal. Considerando que estes se assumem como um sistema complexo composto por vários elementos, a sua sustentabilidade resulta do bem-estar entre os mesmos, sendo necessário que fatores como o clima, solo, vegetação e água permaneçam em equilíbrio (Cabral e Telles, 2005). As plantas colocam-se

como a variável mais frágil, já que estão dependentes do meio onde vivem, sendo muitas das vezes imprescindível a utilização de sistemas de rega para garantir a sua manutenção. Sistemas que inúmeras vezes se revelam insustentáveis, quer por grande parte da água utilizada ser da rede pública, que também, em termos ambientais, pela sua utilização em quantidades acima do aceitável (Baptista *et al.*, 2001).

Neste sentido, é fundamental tomar medidas com vista à gestão/manutenção de um EV antes da conceção do mesmo. Segundo (M. Sole *et al.*, (2007) e Águas (2012)), existem vários princípios essenciais para que os EV possam assumir um papel importante no desenvolvimento sustentável:

- Moldar o traçado às características do local, ao tipo de uso previsto e aos conceitos estéticos do projeto, preservando a biodiversidade dos ecossistemas;
- Realizar uma escolha acertada sobre as espécies a implementar (no caso dos campos de golfe a relva é fundamental e está diretamente associada à viabilidade técnica e económica do campo);
- Valorizar a construção sustentável, dando preferência a materiais não tóxicos e com o maior ciclo de vida possível;
- Recorrer ao uso de matéria-prima, materiais, produtos e mão-de-obra local ou regional;
- Diminuir o consumo de energia e privilegiar a utilização de recursos e energias renováveis;
- Aproveitar materiais e estruturas pré-existentes (nos campos de golfe pode-se utilizar os lagos ou rios já existentes nas áreas de jogo para fornecimento de água ao relvado);
- Criar sistemas permeáveis e reutilização de águas de escorrimentos superficial;
- Tentar englobar a vida selvagem nos espaços verdes.

Estes aspetos devem estar presentes em todos os sistemas, quer à escala planetária, ao nível de grandes espaços, como à microescala, como um campo de golfe, com o intuito de alcançar o objetivo de um desenvolvimento sustentável M. Sole *et al.*, (2007).

### **2.1.2 Conservação da água**

O aumento da área verde em climas mediterrâneos está inevitavelmente associado ao aumento do consumo de água. Desde a origem dos primeiros espaços verdes que a água se assume como o elemento central que permite a sua subsistência. Atualmente, é do conhecimento de todos que

a água é um recurso escasso, pelo que é essencial geri-lo da forma mais rentável possível (Pedras *et al.*, 2016).

Em Portugal, a legislação que estabelece bases para a gestão sustentável da água, entre outros objetivos, é a Lei da Água (Lei nº 58/2005 de 29 de Dezembro) que transpõe a Diretiva nº2000/60/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Outubro. A Lei da Água define o enquadramento para a gestão das águas superficiais e subterrâneas, com o objetivo de promover uma utilização sustentável deste recurso, baseada numa protecção a longo prazo dos recursos hídricos disponíveis.

Neste âmbito, foram desenvolvidas várias estratégias em torno da falta de água, sendo inúmeros os benefícios existentes em transformar um EV, num EV eficiente relativamente ao consumo de água. Através do Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água (2012), podem-se consultar inúmeras soluções para um aumento da eficiência do uso da água e conseqüentemente um menor impacto sobre o ambiente. As medidas principais que têm como foco apropriar a gestão da rega ao solo e às espécies plantadas, são as seguintes:

- Adequar a intensidade da rega às características do solo e/ou vegetação;
- Substituir ou adaptar as tecnologias de rega para outras de menor consumo;
- Utilizar a água da chuva ou águas residuais tratadas para a rega;
- Realização periódica de manutenção aos sistemas.

Para além das estratégias propostas no PNUEA, Pedras (2015) e Snyder (2015), consideram que também é extremamente relevante a utilização de sensores que permitam calcular a evapotranspiração do EV, de modo a ajustar as necessidades de água às condições climáticas existentes. Através deste método é possível encontrar vários microclimas, uma vez que a luz, solo e água não são iguais em todos os locais, podendo originar diferentes necessidades hídricas para a mesma espécie. Isto obriga a que o responsável pelo EV tenha total conhecimento da vegetação e do clima que o rodeia, para que possa fornecer à cultura a quantidade de água necessária para o seu desenvolvimento.

## **2.2 Evapotranspiração**

A necessidade de água de uma cultura corresponde à procura evapotranspirativa dessa cultura em determinado ambiente e recebendo determinados tratamentos culturais. A evapotranspiração (ET) é a soma da transpiração das plantas com a evaporação da água do solo. A quantificação da necessidade de rega está diretamente relacionada com a evapotranspiração das plantas e a pluviometria (Savva *et al.*, 2002; Li & Lyons, 1998).

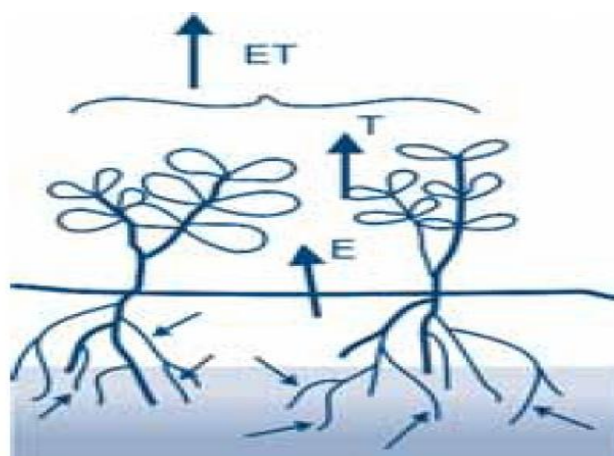
A evaporação (E) corresponde ao processo onde a água no estado líquido recebe energia e é convertida em vapor de água. Para que esta transformação seja possível, é necessário que a energia seja fornecida através da energia solar, ou então, através da temperatura ambiente, processo que apresenta um menor impacto. Com o decorrer do processo o ar começa a ficar saturado, o que resulta num abrandamento e pode mesmo vir a parar caso o ar não seja renovado. A recirculação depende essencialmente da velocidade do vento. Os principais parâmetros a ter em consideração no processo da evaporação são: radiação solar, a temperatura do ar, a humidade do ar e a velocidade do vento (Allen *et al.*, 1998).

A transpiração (Tr) consiste na vaporização da água que está incorporada nos tecidos das plantas e a conseqüente remoção do vapor para a atmosfera. A perda de água dá-se a partir dos estomas. Para além da energia fornecida, gradiente de pressão do vapor e do vento, a temperatura e humidade do ar também são características da cultura a ter em conta, uma vez que cada planta apresenta sua própria taxa de transpiração (Allen *et al.*, 1998).

Estes dois processos ocorrem em simultâneo e não há forma possível de os conseguir distinguir. A evaporação é determinada essencialmente pela quantidade de energia solar que atinge o solo, o que vai diminuindo à medida que a cultura cresce. Quando a cultura já se encontra totalmente desenvolvida a água perde-se maioritariamente através da transpiração (Allen *et al.*, 1998).

Estudos já realizados por Allen *et al.*, (1998), Jensen et al (2000), demonstram que o processo físico da evapotranspiração é influenciado essencialmente por quatro variáveis:

- Condições atmosféricas: Radiação solar global, temperatura do ar, humidade do ar e intensidade do vento;
- Planta: representa o estado físico da planta, na medida em que uma planta de pequeno porte transpira menos que uma planta de grande porte e o seu respetivo estado fenológico;
- Cultura: engloba as condições de saúde da cultura em que a espécie se encontra envolvida. No sentido em que uma espécie que esteja afastada de pragas e doenças geralmente tem as folhas em melhores condições o que resulta em valores de transpiração superiores a uma planta que esteja em más condições;
- Água no solo: representa a quantidade de água disponível para a evapotranspiração. Se o solo estiver com um teor insuficiente de água, mesmo que as condições atmosféricas e da cultura estejam favoráveis ao processo, a evapotranspiração reduz drasticamente e pode mesmo vir a ser anulada;



**Figura 2.3** - Perda de água através do processo de evapotranspiração (Fonte: Savva *et al.*, 2002).

A evapotranspiração assume um papel fundamental para uma eficiente utilização da rega, pois permite fornecer às plantas exatamente a quantidade de água correspondente às suas necessidades de crescimento. A importância e vantagens de otimizar a rega das culturas está amplamente documentada na literatura. Muitos especialistas nesta área, desde estudos mais antigos (Jensen & Wright, 1978) (Castel & Ramos, 1987) até aos mais recentes (Savva *et al.*, 2002) (Snyder *et al.*, 2014), concluem que uma rega adequada resulta num aumento da produtividade e reduz o risco de ocorrência de seca.

No entanto, este facto ainda não é consumado pela maioria da população. Grande parte partilha da opinião que é suficiente adquirir um sistema de rega para obter níveis mais elevados de produtividade, esquecendo-se que é preciso adotar técnicas que possibilitem aplicar água no momento certo e na quantidade necessária às plantas. Um ótimo controlo da rega consiste em monitorizar e quantificar periodicamente, o consumo de água por parte das plantas. Adotar esta técnica e inserir o conceito da evapotranspiração no nosso quotidiano poderá trazer vários benefícios, dos quais se podem destacar a economia de água e de energia. O melhor aproveitamento dos recursos hídricos, irá também preservar o ambiente, reduzindo conflitos do uso de água, além de aumentar a satisfação do produtor (Pereira, 2004).

### **2.2.1 Evapotranspiração de Referência**

O termo evapotranspiração de referência tem sido utilizado como um índice padronizado e reproduzível, aproximando a procura climática pelo vapor de água e é geralmente abreviado por  $ET_o$  (Allen *et al.*, 2007).

A evaporação de referência ( $ET_o$ ) tem o objetivo de determinar a perda de água considerando apenas a quantidade de água perdida devido às condições atmosféricas. Este tipo de conceito não engloba o tipo de cultura existente nem o seu estado de crescimento, considera apenas a influência dos parâmetros climáticos. A  $ET_o$  dá-nos a possibilidade de comparar a evapotranspiração em diferentes períodos do ano, em diferentes regiões e também relacioná-la com a evapotranspiração de outras culturas (Pereira *et al.*, 2015) (Allen *et al.*, 1998).

A  $ET_o$  foi definida no Boletim 24 da FAO (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*) como a taxa de evapotranspiração de uma cultura de referência, para a qual se assume uma altura de 0,12 m, uma resistência de superfície constante de  $70 \text{ s m}^{-1}$  e um albedo de 0,23, cobrindo totalmente o solo e bem abastecida de água (Doorenbos & Pruitt., 1977; Jensen *et al.*, 2000).

Vários estudos sobre esta temática já foram realizados, onde se destacam os seguintes: a) primeira edição do Manual 70 da ASCE (American Society of Civil Engineers), b) segunda edição do Manual 70 da ASCE, c) Boletim 24 da FAO d) a revisão proposta por especialistas realizada pela FAO em 1991, e) último boletim da FAO número 56, em 1998.

A primeira edição do Manual 70 da ASCE foi realizada Jensen, Burman, & Allen, em 1974. Neste manual abordou-se a temática do consumo de água e as necessidades de água para rega. Foi aqui que se iniciou o estudo mais aprofundado acerca do sistema solo-planta-atmosfera, balanço energético e evapotranspiração potencial e real.

O Manual 24 da FAO, publicado por Doorenbos & Pruitt (1977), foi publicado com o objetivo de ser a primeira referência para os que procuravam encontrar a solução para as necessidades de água por parte das plantas. Os autores recomendam a determinação da evapotranspiração das culturas em três fases. A primeira consiste em avaliar o efeito do clima na procura de água pelas plantas, através da  $ET_o$ , a segunda perceber qual o efeito das características da cultura na procura de água e por último analisar qual é o efeito das condições locais e das práticas agrícolas na necessidade de água por parte de determinada cultura. O manual apresenta também vários métodos para calcular a evapotranspiração de referência, em diferentes condições climáticas. Os métodos abordados são os seguintes: Blaney-Criddle, Radiação e Penman-Monteith.

Allen *et al* (1994), apresenta uma atualização acerca da definição da evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) e do procedimento de cálculo da mesma. Fixa-se um valor para o albedo (0,23), altura de 0,12m e uma resistência de superfície constante de  $70 \text{ s m}^{-1}$ .

A última publicação da FAO, o Boletim 56 (Allen *et al.*, 1998), volta a atualizar os procedimentos de cálculo da  $ET_o$  e recomenda novos procedimentos para a avaliação de dados na estimativa do mesmo.

A segunda edição do Manual 70 da ASCE foi publicada em 2000 após várias revisões, por Jensen *et al.*, 2000. Esta publicação parte com o objetivo de definir e interpretar a terminologia da evapotranspiração. Pretende dar a conhecer o método a toda a comunidade com um resumo de todos os fatores que afetam a  $ET_o$  e descreve os procedimentos modernos para a estimativa do mesmo. Além disso, dá também a conhecer uma bibliografia selecionada com informações fundamentais sobre o tema.

Estudos mais recentes realizados por Snyder *et al.*, (2015), Fandino *et al.*, (2015), (Shweta & Krishna, 2015), confirmam os resultados obtidos por Allen Allen *et al.* (1998), onde se sugere a determinação do  $ET_o$  pelo Método de Penman-Monteith. Este modelo baseia-se em princípios físicos e incorpora parâmetros fisiológicos e aerodinâmicos que permitem alcançar melhores resultados. Através de Allen *et al.*,(1998) a  $ET_o$  é calculada através da equação 1:

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (1)$$

Em que as várias variáveis utilizadas são: a radiação líquida à superfície da vegetação ( $R_n$ ), a densidade do fluxo de calor do solo ( $G$ ), a temperatura média do ar ( $T$ ), a constante psicrométrica ( $\gamma$ ), o défice da pressão de vapor ( $e_a - e_d$ ), a velocidade do vento ( $U_2$ ) e o declive da curva de pressão de vapor ( $\Delta$ ).



**Figura 2.4** – Esquema da evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) (Allen *et al.*, 2007).

### 2.2.2 Necessidades hídricas da paisagem e coeficiente da paisagem

Para se realizar a prática da rega é necessário responder a três questões: quando, quanto e como regar. Para tal é indispensável conhecer as necessidades de água que são satisfeitas através da precipitação, reserva de água presente no solo, saídas de águas correspondentes à ET e ao eventual escoamento da superfície do solo (Pedras *et al.*, 2012).

Segundo Pereira (2004), o principal objetivo ao definir-se uma evapotranspiração de referência,  $ET_o$ , é o de calcular uma ET pela qual se possa multiplicar um coeficiente da paisagem ( $K_L$ ) de forma a estimar-se a evapotranspiração das plantas de uma paisagem.

A evapotranspiração da paisagem ( $ET_L$ ), aplica-se às zonas residenciais e urbanas. O método de cálculo do  $ET_L$  é semelhante ao cálculo da ET das culturas agrícolas, com duas diferenças:

- Os sistemas dos espaços verdes/paisagem por norma são compostos por uma mistura de múltiplos tipos de espécies de vegetação, dificultando a estimativa da sua evapotranspiração;
- O objetivo da rega dos espaços verdes é garantir a qualidade visual do espaço, beneficiando a aparência em detrimento da produção da biomassa (Allen *et al.*, 2007);

Foi necessário realizar-se vários estudos para aperfeiçoar o método de cálculo da evapotranspiração da paisagem ( $ET_L$ ). Através de (Costello, 2000), principal responsável pelo desenvolvimento do método *Landscape Coefficient Method* (LCM), presente no *WUCOLS*, os coeficientes necessários para o cálculo de  $K_L$ , são apenas três: coeficiente de vegetação, densidade e microclima.

Outra investigação realizada acerca do cálculo  $ET_L$  é o modelo *Landscape Irrigation Management Program* (LIMP), por L.Snyder *et al.* (2015). O *LIMP* foi uma ferramenta desenvolvida com o objetivo de controlar e otimizar os sistemas de rega. Este modelo apresenta divergências relativamente ao *WUCOLS*. No *LIMP* os valores dos coeficientes são mais precisos, devido a uma maior estimativa em regiões com vários microclimas e com vegetação heterogénea. Ao contrário do que sucedeu no *WUCOLS*, já que o estudo apenas se realizou tendo como base um número reduzido de espécies e apenas num microclima. Também segundo *LIMP* é possível calcular o coeficiente da paisagem com base nos valores individuais dos seus coeficientes. Os valores obtidos no *WUCOLS* não permitem distinguir o coeficiente da vegetação do stress hídrico.

Assim, a ET real da paisagem poderá apresentar um factor de stress. Este ajuste irá resultar numa conservação de água significativa. A grandeza do fator de stress depende das necessidades fisiológicas e morfológicas das plantas, a finalidade é a manutenção do bem-estar e da aparência das plantas com uma rega mínima (Allen *et al.*, 2007).

Deste modo, Snyder *et al.* (2015) afirma que este modelo relativamente ao *LCM* apresenta um potencial científico superior, no entanto, alguns autores consideram que *LCM* possui uma abordagem mais prática.

Segundo Allen *et al.*, (2007) a  $ET_L$  é a evapotranspiração da paisagem (em  $\text{mm d}^{-1}$ ), calculada através da seguinte equação:

$$ET_L = K_L \times ET_o \quad (2)$$

Assim,  $K_L$ , coeficiente de paisagem é calculado através de (Allen *et al.*, (2007) e Snyder *et al.*,(2015)) :

$$K_L = K_v \times K_d \times K_{mc} \times K_{sm} \quad (3)$$

Nesta equação (Eq. 3), os coeficientes variam conforme a cultura (Allen *et al.*,2007).  $K_v$ , é o fator da espécie da vegetação,  $K_d$  factor da densidade da vegetação,  $K_{mc}$  é o fator microclimático e  $K_{sm}$  representa o fator de stress admitido.

O coeficiente da paisagem ( $K_L$ ), é modificado e adaptado consoante o coberto vegetal. Após estimarem-se cada um dos fatores individuais para o seu respetivo cálculo, este é estimado através da Eq. 3 e representa uma estimativa exata quanto à ET dos espaços verdes.

### 2.2.3 Coeficiente da vegetação

O coeficiente da vegetação ( $K_v$ ) pode ser calculado através da razão entre o  $ET_L$  e a  $ET_o$  para uma cobertura de solo total, ou parcial, e totalmente abastecido de água. O valor de  $K_v$  é a fracção de  $ET_o$  quando a folhagem se aproxima da densidade máxima ( $K_d = 1$ ) e quando a disponibilidade de água não apresenta restrições ( $K_{sm} = 1$ ). Existem variados tipos de vegetação que apresentam valores muito próximos de  $K_v$ , devido aos índices de área foliar e resposta estomática. A  $ET_o$  tem sido usada para estimar a ET dos espaços verdes, alterando o valor máximo de  $K_v$  para valores superiores a 1.0 , quando diz respeito a uma vegetação alta e folhosa (Allen *et al.*,2007).

É necessário utilizar o coeficiente de vegetação para se ter em consideração as diferenças entre as várias espécies no que diz respeito às necessidades de água. Há espécies que exigem uma

maior quantidade de água para apresentarem uma aparência saudável e sem stress hídrico, enquanto outras não precisam dos mesmos recursos, apresentando igualmente um aspecto saudável. Para as primeiras indica-se um coeficiente de vegetação elevado, enquanto que para as últimas o coeficiente é mais baixo (Allen *et al.*, 1998).

**Quadro 2.1** – Valores de  $K_V$  de diferentes tipos de vegetação (adaptado de Allen *et al.*, 1998).

| Tipo de vegetação                        | $K_V$ |
|--|-------|
| Arbustos de clima desértico              | 0,70  |
| Flores anuais                            | 0,90  |
| Árvores                                  | 1,15  |
| Herbáceas com cobertura completa do solo | 1,00  |
| Relvado estação fria (C3)                | 0,90  |
| Relvado estação quente (C4)              | 0,90  |

O valor de  $K_V$  para os relvados de estação fria e de estação quente são semelhantes, devido ao facto de ambos representarem  $ET_L/ET_o$  para condições sem stress. Geralmente, os relvados de estação quente suportam mais stress demonstrando menos alterações visuais quando sujeitos à falta de água (Allen *et al.*, 1998).

#### 2.2.4 Coeficiente de Densidade

O coeficiente de densidade ( $K_d$ ) é outro dos factores de correcção inserido na fórmula de cálculo do  $K_L$ , com o objetivo de representar as diferentes densidades de vegetação que existem num espaço verde (Allen *et al.*, 2007).

A densidade de vegetação representa a área coberta, que pode variar consoante a distância de plantação e do desenvolvimento vegetativo das plantas. Uma área que apresente uma vegetação mais densa, irá naturalmente ter um valor de  $K_d$  elevado, o que conduz a uma maior perda de água por transpiração e conseqüentemente uma maior evapotranspiração. Pode-se também afirmar que valores de densidade altos correspondem a uma maior exigência de água (Costello *et al.*, 2000).

Este coeficiente varia entre os valores de 0,5 e 1,3 e divide-se em 3 categorias (Costello *et al.*, 2000).

- Baixo – 0,5 a 0,9;
- Médio – 1,0;
- Alto – 1,1 a 1,3.

### **2.2.5 Coeficiente microclima**

Em determinadas ocasiões a vegetação é condicionada pela presença de edifícios. Eles produzem sombra, factor que influencia a temperatura, a luminosidade, a humidade do ar e a energia disponível (Snyder *et al.*,2015). Simultaneamente abrigam as culturas do vento, reduzindo a sua velocidade, ou favorecem a transmissão de calor, sendo todos estes factores que favorecem ou limitam a evapotranspiração da vegetação. Como todos os aspectos não podem ser ignorados, aplica-se o coeficiente de microclima ( $K_{mc}$ ), adoptando valores de acordo com o microclima local. De acordo com a literatura, aplica-se  $K_{mc} > 1$  (categoria alta), sempre que a planta estiver sujeita a um ambiente adverso devido à incidência da luz de forma directa, em zonas ventosas e na proximidade de superfícies de absorção de calor. A categoria “baixa”,  $K_{mc} < 1$ , reflecte um ambiente diferente, como uma zona situada na sombra, protegida do vento e longe de superfícies quentes e secas. A categoria “média”  $K_{mc} = 1$  é inserida em condições semelhantes a um espaço aberto, onde as condições exteriores não vão influenciar o clima (Allen *et al.*,2007).

### **2.2.6 Coeficiente de stress**

O coeficiente de stress ou de gestão da água ( $K_{sm}$ ), traduz a condução da rega com ou sem stress hídrico. O principal objetivo da rega em espaços verdes não passa pela produção de biomassa, mas pela promoção de uma boa aparência visual das plantas. Assim sendo, pode-se adotar uma estratégia de stress por parte do regante, caso se pretenda poupar água e/ou, quando não exista água disponível para satisfazer as necessidades hídricas da planta. A magnitude do factor de *stress* depende das necessidades fisiológicas e morfológicas da vegetação (Allen *et al.*,2007).

O parâmetro  $K_{sm}$ , está inserido numa gama de valores entra 0 e 1, em que o valor 1 não apresenta qualquer stress, ou seja, a planta permanece em conforto hídrico e com uma alta área de folha de vegetação. No inverso, o valor 0 representa a morte da planta, onde já não ocorre qualquer tipo de actividade (Allen *et al.*,2007).

## **2.3 Estratégias de rega com stress**

Segundo Pereira *et al.*, 2016 a rega é essencial para aumentar a capacidade produtiva dos solos, no entanto, quando realizada sem ter em atenção as características de retenção da água no solo e as necessidades hídricas das plantas pode-se estar a executar uma má condução da rega. Muitos agricultores esquecem-se destes pormenores, preferindo regar em excesso do que ter que ajustar a rega às necessidades reais das plantas. Muitas vezes, as dotações não são ajustadas

ao longo de um ciclo de crescimento, quando as plantas são pequenas e a evapotranspiração é ainda reduzida fornece-se água em excesso como nos meses de janeiro e fevereiro. Já quando as plantas se começam a desenvolver e precisam realmente de água como é o caso da floração em abril e maio, cria-se algum stress nas plantas.

O principal objetivo da rega é proporcionar um estado de conforto hídrico à planta, de forma a que o seu estado de produção/aparência esteja muito próximo do máximo. Porém, tendo em consideração a necessidade extrema de saber gerir a água, procura-se obter os mesmos níveis de produção da cultura com uma diminuição da rega, o que é definido como: introduzir stress à cultura. Pereira *et al.*, (2008), ao longo de 3 anos (2001-2003) na região de Fergana na Ásia Central, realizaram inúmeros testes de rega. Em alguns casos rega por excesso e noutros, rega com diferentes níveis de stress. Concluiu-se que quando se aumenta a quantidade de água disponível a produtividade não aumenta, enquanto que quando se reduz em 30% a água disponível para a rega, a produtividade pouco se altera, no pior dos casos reduziu 11%.

Evans *et al.*, (2007) destacaram duas estratégias para o controlo de água na zona radicular da planta, a rega deficitária regulada (RDI) e a rega deficitária controlada (CDI). A estratégia de CDI é a implementação deliberada de um défice hídrico à planta durante períodos específicos do ciclo cultural, utilizando regras diárias, mas fornecendo apenas cerca 10 a 30% do uso de água diário da planta. Esta técnica provoca com que o solo humedecido contraia horizontalmente e verticalmente a zona radicular. Terminado o período de défice aumenta-se a quantidade de água, no entanto, o volume de solo humedecido mantém-se constante. É aconselhável a utilização de rega automatizada.

Segundo Chalmers *et al.*, (1981) a técnica designada por *RDI*, teve início na Austrália onde foi concebida para avaliar o vigor vegetativo em pomares de alta densidade, durante a fase de crescimento vegetativo rápido, mediante a aplicação de uma rega deficitária. Chalmers *et al.*, (1981), aplicaram este procedimento a uma cultura de pessegueiros durante a fase de aumento do peso seco dos frutos, tendo observado um aumento da produção e do crescimento dos frutos, desde que a redução da distribuição de água se aplica-se enquanto existisse vigor vegetativo. Mitchell e Chalmers (1982), testaram também uma rega deficitária ao longo da fase de rápido crescimento vegetativo, apurando que era possível obter frutos de tamanho semelhante e produções idênticas aos obtidos sem restrições de rega, a par do controlo do crescimento vegetativo e de uma razoável economia da água (cerca de 30%).

A rega deficitária consiste em deliberadamente reduzir a quantidade de água aplicada à vegetação, no nosso caso à relva. No entanto, esta poupança de água gera automaticamente um stress hídrico que poderá gerar impactos visuais negativos na vegetação. Daí esta técnica ter que ser realizada com um atenção redobrada, essencialmente no local onde o nosso estudo está a ser realizado, já que a parte estética é fundamental (Evans *et al.*, 2007).

## **2.4 Avaliação do sistema de rega**

A sustentabilidade dos espaços verdes, neste caso particular dos relvados do campo de golfe, passa pelo abastecimento de água às plantas de forma a atender às suas necessidades hídricas. No entanto, tendo em consideração a ocorrência de eventos de precipitação, torna-se indispensável adoptar uma estratégia de rega que permita aplicar água no momento e na quantidade exacta, de forma a suprir as necessidades hídricas das plantas (Pedras, 2012).

A análise do desempenho dos sistema de rega, quer à parcela, quer às redes de condução e distribuição de água tem tido cada vez mais importância junto dos regantes. Os indicadores de desempenho foram inicialmente utilizados como indicadores da qualidade de um projecto ou da qualidade da gestão de um sistema. Mais tarde, foram tomados ainda como indicadores ambientais, embora de forma pouco precisa (Pereira, 2001). Atualmente, já se procura encontrar uma relação entre os desempenhos técnicos do sistema de rega e os resultados económicos que estes produzem (Pereira, 2004).

Inicialmente quando se realizavam projetos, os critérios eram única e exclusivamente relacionados com o funcionamento hidráulico dos sistemas e com a possibilidade de reduzir os custos de investimento. Hoje em dia, os *softwares* são uma grande ajuda na simulação do funcionamento da rede rega. Sempre que estes softwares constituem um sistema de apoio à decisão permitem ajudar os *stakeholders* a tomar decisões fundamentadas em critérios técnicos, económicos e/ou ambientais. No fundo, pode-se afirmar que o desempenho da rega na parcela pode ser avaliado através de indicadores relativos a uniformidade de distribuição e eficiência de aplicação, fatores estes provados na prática (Pereira, 2004).

### **2.4.1 Indicadores de Desempenho**

Para Pedras (2003), baixas eficiências apontam que parte da água não é de facto utilizada para a produção. Deste modo, obter elevadas uniformidades de distribuição e eficiências de aplicação permitem obter bons desempenhos dos sistemas de rega que se traduzem num controlo mais adequado das perdas de água e fertilizantes.

Um maior aproveitamento da água e conseqüentemente uma diminuição da energia dispensada é o objetivo pretendido. Assim, devido à ocorrência de vários aspectos e métodos de rega, existem um grande leque de parâmetros propostos para avaliar o desempenho, no entanto os mais utilizados são descritos por Pereira e Trout (1999).

- **Eficiência de aplicação**

O termo eficiência restringe-se à razão *output/input* dentro da mesma natureza, como por exemplo a razão entre volumes de água distribuída/captada ou infiltrada/aplicada. Deste modo a eficiência de aplicação,  $e_a$ , medida como percentagem (%), é definida como:

$$e_a = 100 \left( \frac{Z_{r,lq}}{Dr} \right) \quad (4)$$

em que,  $Z_{r,lq}$  é a quantidade média adicionada ao armazenamento na zona radicular (mm) no quartil mínimo da parcela e  $Dr$  a dotação real bruta aplicada (mm) (Pereira, 2004).

Tendo em consideração a dependência entre eficiência e condução da rega, pode ser vantajoso determinar não a eficiência de aplicação real, mas o seu valor potencial, supondo que o sistema pode ser mais bem gerido (Merriam & Keller, 1978).

No quadro seguinte, apresentam-se os valores indicativos para a eficiência de aplicação de vários sistemas de rega. Os valores apresentados pressupõem sistemas bem projetados e bem mantidos, e que, portanto, não estabelecem limites a bons desempenhos de gestão (Pereira, 2004).

**Quadro 2.2** - Valores indicativos das eficiências de aplicação para sistemas de rega bem projetados e bem mantidos (Adaptado de Pereira, 2004).

| Sistemas de rega                                  | Eficiências (%) |
|---|-----------------|
| • Rega por aspersão                               |                 |
| - Sistemas estacionários deslocáveis manualmente; | 65-85           |
| - Sistemas estacionários deslocáveis manualmente; | 65-80           |
| - Rampas com rodas;                               | 65-80           |
| - Aspersores canhão com enrolador ou com rabo;    | 55-70           |
| - Ramos móveis, com pivot central                 | 65-85           |

- **Uniformidade**

Os indicadores uniformidade determinados nesta tese são a uniformidade de distribuição (DU) e o coeficiente de uniformidade (CU) (Pereira, 2004).

A uniformidade de distribuição (%) é calculada através da seguinte fórmula:

$$DU = 100\left(\frac{Z_{1q}}{Z_{avg}}\right) \quad (5)$$

onde,  $Z_{1q}$  é a quantidade média (mm) infiltrada no menor quartil de área regada, o qual corresponde à quarta parte da área regada que recebe menos água e  $Z_{avg}$  é a quantidade média (mm) infiltrada na parcela inteira. Em rega por aspersão, as quantidades infiltradas são substituídas pelas pluviometrias observadas.

O coeficiente de uniformidade, CU, calculado como percentagem (%) e também conhecido como o coeficiente de uniformidade de Christiansen, é definido como:

$$CU = 100\left(1 - \frac{\sum X_i}{nm}\right) \quad \text{com } X_i = |Z_i - m| \quad (6)$$

onde,  $Z_i$  corresponde aos caudais observados (mm),  $n$  é o número de observações realizadas e  $m$  a média das observações (mm) (Pereira, 2004).

A uniformidade de distribuição (DU) e o coeficiente de uniformidade (CU) estão relacionados entre si (Keller & Bliesner, 1990 citados por Pereira, 2004) podendo assumir-se as seguintes expressões aproximadas:

$$CU = 100 - 0.63(100 - DU) \quad (7)$$

$$DU = 100 - 1.59(100 - CU) \quad (8)$$

## 2.5 Detecção Remota

A deteção remota iniciou-se por volta dos anos sessenta através de *Evelyn L. Pruitt* e os seus respectivos colaboradores. Com o passar dos anos a tecnologia evoluiu de tal forma que passou a ser possível analisar o planeta Terra através de sensores acoplados a plataformas que praticamente têm a capacidade de capturar tudo o que está vigente na superfície terrestre ou o que se está a modificar. Esta prática tem o objetivo de obter imagens periódicas de forma a ser possível realizar uma monitorização do meio ambiente e com isso alcançar informações mais relevantes acerca do estado dos recursos naturais renováveis e não renováveis (Meneses & Almeida, 2012).

A deteção remota pode ser classificada como a ciência e a arte que procura obter informação acerca de um objecto, área ou fenómeno, através da análise de dados adquiridos por um sensor que não estabelece contacto direto com a superfície em análise (Canada, 2015). Por outro lado, a deteção remota pode ser também definida como o conhecimento dedicado à aquisição,

processamento e interpretação de imagens recolhidas através de sensores instalados em diferentes tipos de plataformas, por norma, aviões, satélites e mais recentemente drones ou VANT's.

Atualmente, há um elevado conjunto de áreas que dá utilidade às ferramentas da deteção remota, podem-se destacar a Agronomia, Gestão Florestal, Ordenamento do Território e uma grande variedade de disciplinas relacionadas com a Meteorologia e o Ambiente. Dentro da temática associada a este trabalho, podem-se destacar estudos onde a deteção remota é relacionada com técnicas de irrigação como os de *Johnson & Belitz (2012)* e *Saadi et al, (2015)*. A DR apresenta também capacidade de auxiliar na caracterização da vegetação como é apresentado por *Pôças et al., (2011)* e *Mishra et al., (2013)*. Já *Mateos et al., (2013)* demonstra de que forma é possível monitorizar a evapotranspiração utilizando coeficientes de cultura com imagens adquiridas a partir de um satélite.

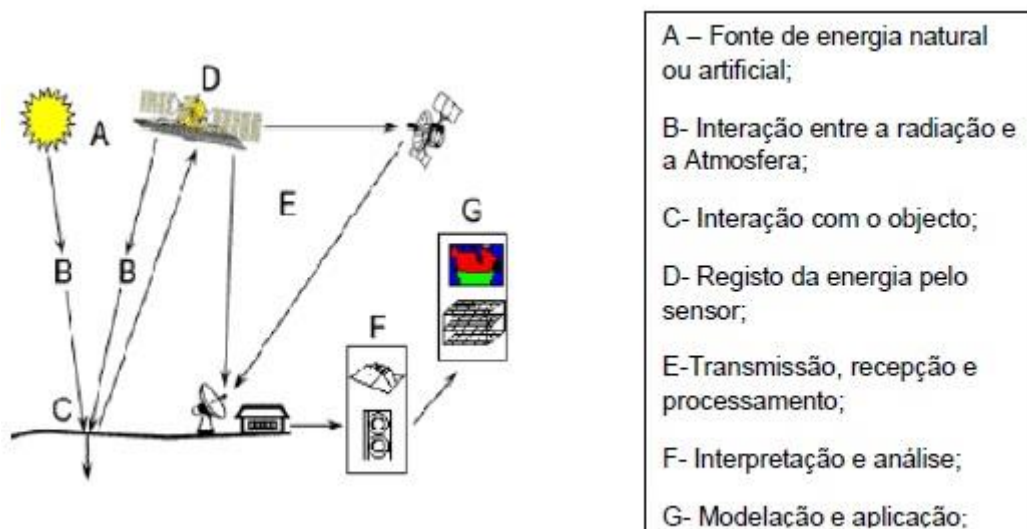
Independentemente do tipo de sensor em causa, entre as principais vantagens da utilização da deteção remota por satélite, podem-se destacar (Richards & Jia, 2006):

- A análise a nível regional devido à cobertura sinóptica;
- Possibilidade de análise numérica e o processamento de informação de várias regiões do espectro electromagnético;
- Integração de diferentes tipos de informação em simultâneo;
- Preço da cobertura de satélite (por km<sup>2</sup>) é mais baixo que a fotografia aérea;
- No passado apontava-se a resolução espacial das imagens satélite como umas das grandes limitações, facto ultrapassado, atualmente esta já pode ser na ordem dos 0,5 e 1 m, permitindo a realização de trabalhos de grande pormenor.

### **2.5.1 Espectro e radiação eletromagnética**

A principal fonte de informação em deteção remota é a radiação electromagnética (REM) proveniente do Sol. O conceito fundamental no qual a deteção remota se baseia é o de conseguir apurar características físicas e químicas de vários objectos com base na radiação que estes fazem chegar a um determinado receptor. Ao ser registada pelo sensor, é possível calcular a radiação absorvida pelos materiais e a partir daí definir informações acerca da composição terrestre (Richard & Jia, 2006).

A figura seguinte, demonstra todos os processos envolvidos na aquisição de informação através da deteção remota.

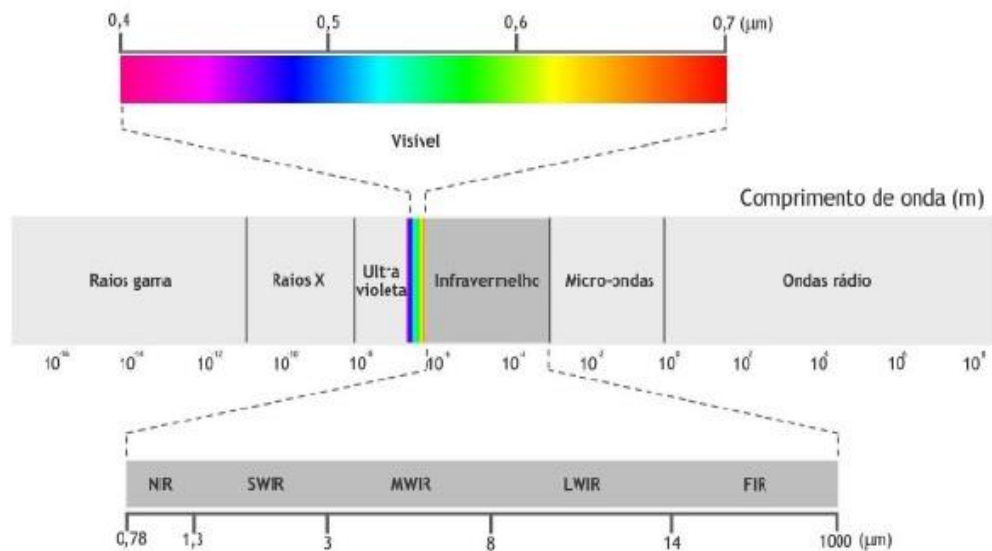


**Figura 2.5** - Sistema de detecção remota (Canada,2015).

Como é perceptível através da figura anterior, um objecto tanto pode emitir radiação própria, como reflecti-la a partir de outra fonte (B). Essa radiação é detectada a partir de um sensor que a processa e transforma num determinado sinal passível de ser registado (D e E). Após esse registo resulta uma imagem que, após várias etapas de processamento e de interpretação está capaz de fornecer informação acerca de determinado objecto ou fenómeno (F e G) (Canada,2015).

A REM, é a responsável pela distinção da cor e a forma da superfície terrestre. A REM é emitida para a Terra e parte dessa radiação não é absorvida pelas diferentes superfícies, conseqüentemente vai ser reflectida e registada pelo sensor. A REM engloba uma sucessão contínua de comprimentos de onda inferiores a  $10^{-13}$  m (radiação gama mais energética), até aqueles superiores a  $10^5$ m (ondas rádio muito longas). Apesar de ser contínuo, o espectro electromagnético divide-se em várias regiões (Weng, 2010).

Segundo Lillesand *et al.*, (2008) não existe uma divisão clara entre regiões espectrais, havendo várias contradições consoante os autores relativamente às denominações e aos limites entre as regiões. Tendo em consideração o espectro electromagnético, as principais divisões incluem: raios gama, raios-X, raios ultra-violeta, radiação visível, infravermelhos, micro-ondas e ondas rádio. Na figura seguinte é possível verificar as divisões do espectro electromagnético e os respectivos comprimentos de onda.



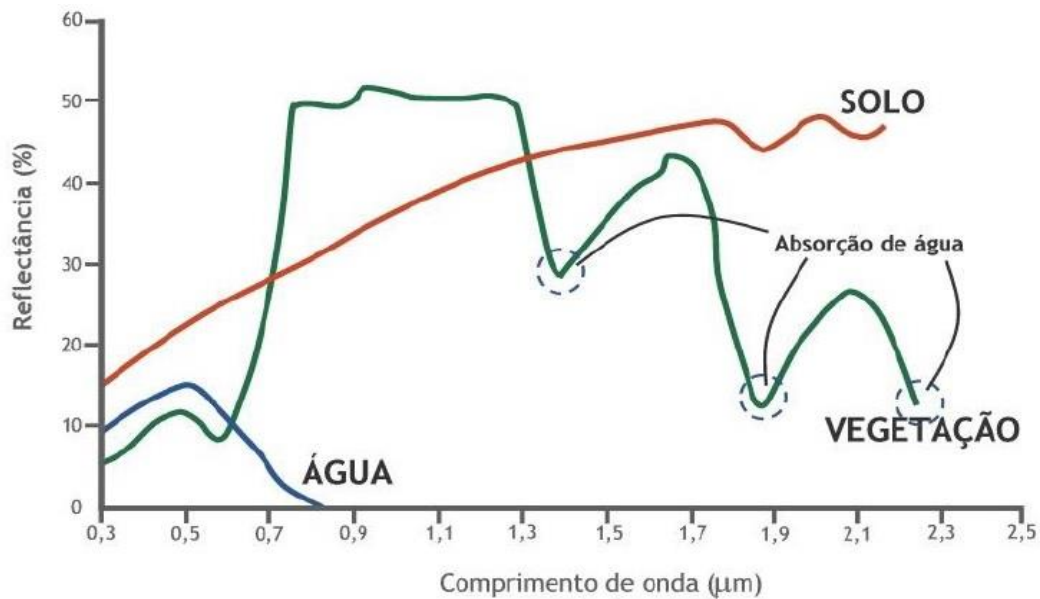
**Figura 2.6** - Espectro de ondas eletromagnéticas (Manuel, 2015).

O olho humano tem a capacidade de suportar uma restringida gama de comprimentos de onda do espectro eletromagnético. Essa gama varia entre os 380 nm (comprimento de onda cor violeta) e 780 nm (comprimento de onda da cor vermelha). Os comprimentos de onda inferiores a 380 nm fazem parte das radiações não visíveis, ultravioleta, raios X, raios γ e raios cósmicos. Os comprimentos de onda superiores a 800nm, igualmente não visíveis, correspondem às radiações infravermelhas, micro-ondas e ondas de rádio (Richards & Jia, 2006).

### 2.5.2 Interação energia matéria - caso particular da vegetação

Independentemente do tipo de material, a quantidade de REM refletida, absorvida ou transmitida está diretamente ligada ao comprimento de onda, daí ser possível a identificação e individualização de diferentes substâncias com base na sua assinatura, resposta ou comportamento espectral (Weng, 2010). Segundo Meneses & Almeida (2012), a resposta espectral de um objecto depende das suas características físicas, do ângulo de vista do sensor, do azimute e da elevação solar. Todos eles condicionam o ângulo de incidência da REM.

A detecção remota, analisa a paisagem essencialmente como base em três elementos dominantes: água, vegetação e solo (Aggarwal, 2004). Na (Fig. 2.7) é possível visualizar o comportamento espectral para cada um dos elementos referidos.



**Figura 2.7** - Comportamento espectral da água, vegetação e solo (adaptado de Aggarwal, 2004).

Como a figura anterior demonstra, uma vez que a água absorve os comprimentos de onda superiores à radiação visível, a sua reflectância é praticamente inexistente apartir da região do infravermelho. O comportamento da água está dependente da quantidade e da natureza dos materiais em suspensão, da profundidade existente e da rugosidade da sua superfície. Os materiais em suspensão aumentam a refletividade da água, como por exemplo a clorofila, que gera um aumento da refletividade na banda verde da região do visível (Aggarwal,2004).

Relativamente ao solo, a curva é menos complexa do que a vegetação, assume uma reflectância relativamente baixa na região do visível, aumentando à medida que o comprimento de onda cresce. As características do solo que determinam as suas propriedades de reflectância são essencialmente a sua composição química, o teor em água, a sua textura e o teor em matéria orgânica (Aggarwal,2004).

Tendo em consideração o âmbito da presente dissertação, é fundamental perceber a resposta espectral da vegetação. Segundo Ponzoni (2002), a principal motivação dos estudos realizados sobre vegetação com a aplicação de técnicas de deteção remota, consistem essencialmente na compreensão da aparência das culturas.

A aparência das culturas é o resultado de um conjunto de características morfológicas das plantas constituintes, bem como a estrutura da comunidade vegetal. É importante considerar-se que uma cultura é constituída por vários elementos, dos que se destacam, folhas, frutos e flores. Ou seja, o fluxo da radiação incidente sobre cada um destes vai apresentar características

diferentes, dependendo da composição química de cada um. A folha ao apresentar-se como o principal constituinte de uma vegetação, implica que seja realizado um estudo aprofundado acerca das características de reflexão da REM neste elemento. Para tal, é necessário conhecer a espécie presente na área e também a sua constituição, forma e teor em água (Ponzoni, 2002).

As características espectrais da vegetação alteram-se consideravelmente no espaço e no tempo, variando consoante a espécie ou conjunto de espécies, o ciclo de vida da planta, a morfologia do coberto vegetal, o teor em água, a estação do ano em questão, entre outros fatores. Ao contrário da água, a reflectância espectral da vegetação apresenta uma grande variância de valores em função do comprimento de onda (Aggarwal, 2004). A zona do visível quando interage com a vegetação tem como factor determinante a reflexão dos pigmentos da folha. A reflexão do infra-vermelho próximo está relacionada com a estrutura da folha e a absorção do infra-vermelho médio assinala a quantidade de água existente na folha (Ponzoni, 2002).

### **2.5.3 Índices de vegetação**

A deteção remota permite-nos analisar o relacionamento entre a variação espectral da imagem e as alterações ocorridas na vegetação.

Os índices de vegetação são modelos matemáticos desenvolvidos com o propósito de avaliar a cobertura vegetal, relacionando a assinatura espectral e os parâmetros mensuráveis no campo tanto quantitativamente como qualitativamente. São transformações lineares de bandas espectrais, geralmente nas faixas do vermelho e infravermelho próximo do espectro electromagnético (Epiphanyo et al., 1996).

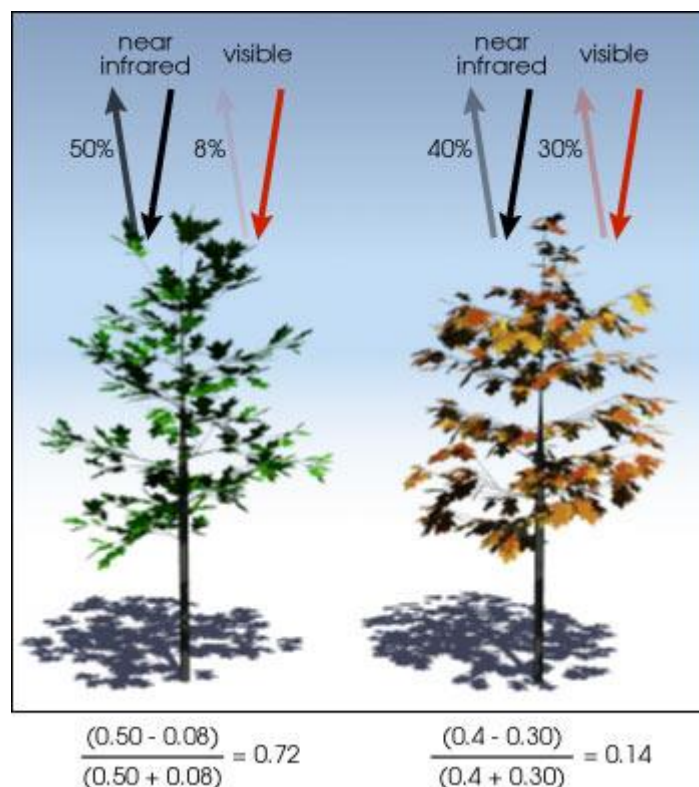
Há uma vasta variedade de índices de vegetação, no entanto, a escolha deve recair sobre aqueles que apresentam maior capacidade em identificar única e exclusivamente as características da vegetação de interesse, sem sofrer interferência de factores exógenos à vegetação (Meggio *et al.*, 2010). Neste estudo foi escolhido o índice de vegetação por diferença normalizada, NDVI (*Normalizes Difference Vegetation Index*), por se tratar de um índice muito utilizado neste tipo de investigação, por reduzir o efeito topográfico e por apresentar uma escala de medida linear que facilita o processo de análise entre várias épocas.

#### **2.5.3.1 Índice de vegetação por diferença normalizada**

O NDVI foi introduzido por Rouse *et al.*, (1974). Trata-se de um indicador do estado de saúde da vegetação, sendo maioritariamente utilizado para deteção de seca. No entanto, apresenta outras capacidades como a avaliação de zonas de risco de incêndio florestal, mapeamento do

avanco da desertificação, produção agrícola e monitorização dos espaços verdes (Lillesand *et al.*, 2004).

Todas estas funcionalidades advêm essencialmente do facto do NDVI ser utilizado para avaliar a densidade da vegetação verde que cobre o solo. O conceito assenta na diferença entre a máxima reflexão na região do infravermelho, e à máxima absorção na região do vermelho. Na vegetação, a clorofila das folhas absorve a radiação azul (0,4 – 0,5µm) e a radiação do vermelho (0,6 – 0,7µm) e reflete moderadamente a radiação do verde (0,5 – 0,6µm). A estrutura celular das folhas, reflete em grande quantidade a luz de infravermelho próximo (0,7– 1,1 µm) (Hively *et al.*, 2009). Este índice é portanto calculado a partir da luz do visível (vermelho ou azul) e do infravermelho próximo refletida pela vegetação, como é visível na figura seguinte.



**Figura 2.8** - Normalized Difference Vegetation Index (Weier & Herring, 2000).

Como é possível avaliar a partir da imagem, a vegetação em melhores condições absorve a maior parte da luz visível que a atinge e reflecte a luz infravermelha, enquanto que, a vegetação menos saudável reflecte mais a luz visível e menos a luz infravermelha (NASA, 2016). Também é visível que a vegetação em melhores condições apresenta um valor de NDVI mais elevado, valor apurado através da seguinte equação:

$$NDVI = \frac{\rho_{IV} - \rho_V}{\rho_{IV} + \rho_V} \quad (9)$$

Onde  $\rho_{IV}$  é a refletância do infravermelho próximo e  $\rho_V$  a refletância do visível (vermelho ou azul). Os valores de NDVI são adimensionais e variam numa escala linear entre -1 e 1. Este índice permite determinar o quão verde é a zona de estudo, ou seja, tem a capacidade de revelar o estado de saúde e de crescimento da vegetação da área em análise. Se o valor for próximo de 1 significa que a vegetação é densa e apresenta um nível elevado de actividade fotossintética. Valores entre -1 e 0 representam corpos de água e ausência de vegetação (NASA,2016).

Os valores de NDVI da vegetação atribuídos aos píxeis de uma imagem podem ser relacionados com outras variáveis, como a temperatura, humidade e a evapotranspiração. Em Pedras *et al.*, (2015) é possível verificar a utilização de mapas de NDVI para ajudar a definir estratégias eficientes de gestão de água em espaços verdes. Também Vilar *et al.*, (2012) dá uso a ferramenta NDVI para monitorizar culturas e estimar necessidades de rega.

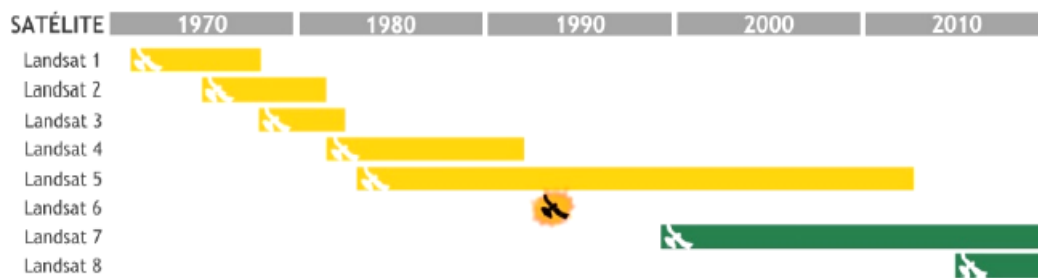
Os estudos efetuados por Erena *et al.*, 2012 demonstram que há uma opinião consensual, relativamente ao NDVI. Trata-se de um índice prático, simples e preciso. Contudo, apesar de ser o mais utilizado apresenta algumas lacunas, nomeadamente, na análise de zonas onde a vegetação apresenta diferentes alturas e também em zonas com uma grande diversidade de espécies. Além disso, em dias que exista uma grande quantidade de nuvens as imagens captadas podem não ser totalmente claras, apresentando sempre valores menores ou muito próximos de 0. No estudo efetuado, estes problemas são minimizados por se tratar de relvados de campos de golfe e por se escolher épocas de voo em condições ótimas de luminosidade.

#### **2.5.4 Imagens Landsat**

O sistema Landsat é, sem dúvida, um dos instrumentos mais importante de satélites de observação de recursos da Terra. Antes de 1974 era denominado de ETRS (*Earth Resources Technology Satellite*), tendo a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) operado inicialmente o sistema, mas em 1985 a operação passou a estar sobre a gerência de uma empresa privada EOSAT (*Earth Observation Satellite Company*), voltando em 1999 a ser responsabilidade da NASA. Como o Landsat opera no domínio público, isto representa que todas as imagens são adquiridas para toda a superfície da Terra sem autorização de nenhuma entidade, portanto, qualquer utilizador em qualquer lugar do mundo pode aceder e adquirir as informações disponíveis (Barret & Curtis, 2013).

Este sistema permitiu criar a primeira base de dados de imagens de cobertura repetitiva do planeta, com uma resolução espectral e espaciais adequadas a uma enorme série de aplicações. Tendo em conta que os dados estão sempre disponíveis em formato digital, pode-se afirmar que

este foi um passo determinante para a promoção da ciência já que temos fácil acesso a imagens de qualquer ponto do planeta (Sabins, 1996).



**Figura 2.9** - Cronologia das missões Landsat (1972 – 2015) (NASA in Manuel, 2015).

O primeiro satélite enviado para o espaço foi o Landsat 1, em 1972, desenvolvido exclusivamente para a observação de recursos naturais terrestres. Até à época atual ocorreu uma constante evolução destes instrumentos, com a sucessiva inclusão de novos sensores. Em 1999 foi lançado o Landsat 7, com uma altitude orbital de 705 km acomplando o sensor multiespectral do tipo *whisk-broom*, ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*), com 8 bandas que cobrem as zonas espectrais do visível, infravermelho próximo, infravermelho de ondas curtas e infravermelho térmico. Atualmente, desde 2013 está em operação o Landsat 8. Esta plataforma espacial é executada a 705km de altitude e trás consigo dois sensores multiespectrais do tipo *pushbroom*, OLI (*Operational Land Imager*) e TIRS (*Thermal Infrared Sensor*), que armazenem a informação em 11 bandas diferentes. O sensor OLI regista a informação dos comprimentos de onda da radiação visível e infravermelho (NIR e SWIR) possuindo ainda uma banda pancromática na região do visível. O sensor TIRS atua na região do infravermelho térmico (LWIR) e tem a capacidade de diferenciar as diferentes assinaturas térmicas na superfície da Terra (NASA, 2016).

Para o cálculo do NDVI, no caso do sensor ETM+ utilizam-se as bandas 3 e 4 que correspondem ao vermelho e `zona do infravermelho próximo. Em relação ao sensor OLI o cálculo é efetuado a partir das bandas 4 e 5, que correspondem ao vermelho e ao infravermelho próximo, respetivamente. Ambos apresentam uma resolução espacial de 30 metros (NASA,2016).

Existem vários estudos já realizados onde as imagens provenientes do Landsat servem como auxílio para avaliar o estado da vegetação e do solo através do NDVI. Um dos exemplos é o estudo realizado por (Pôças *et al.*,2011), onde apartir de três imagens Landsat em 1979, 1989 e 2002 avaliaram a evolução do território em Montalegre, Norte de Portugal.

Quando o objetivo passa por extrair informação a partir de imagens, por vezes é necessário incorporar diferentes sensores de detecção remota num mesmo estudo. Dentro desta temática existem vários autores que estabeleceram modelos de regressão linear entre os valores de NDVI obtidos por Landsat 7 e 8. Dos estudos já realizados, destacam-se os de (Mahiny & Turner, 2007), (Li *et al.*, 2013), Flood (2014) e também (Ke *et al.*, 2015), todos eles concluem que é possível obter coeficientes de correlação superior a 0.80, o que significa que estes são comparáveis entre si.

### **2.5.5 Sistemas de informação geográfica**

A evolução das tecnologias de observação da Terra desempenham um papel muito importante no estudos de monitorização de fenómenos ambientais, em escalas temporais e ambientais. A partir destas tecnologias é possível implementar sistemas de alerta e de apoio à decisão para os decisores, com o propósito de definir estratégias relevantes para a gestão dos recursos naturais tendo sempre em vista o desenvolvimento sustentável (Richards & Jia, 2006).

A detecção remota é uma ferramenta de aquisição de dados espaciais e temporais em escala global, nacional e local, contudo, ela não é auto-suficiente para gerar diretamente informações para o usuário. Os dados necessitam de ser analisados em conjunto com outras informações provenientes do trabalho de campo, a fim de obter resultados compreensíveis e úteis que possam ser integradas no sistema de apoio à decisão. Os Sistema de Informação Geográfica (SIG) são as ferramentas que permitem gerar essa integração (Denzer, 2005) (Ferreira *et al.*, 2005). Segundo Denzer (2005), os SIG são fundamentais para a monitorização ambiental, já que possuem um elevado conjunto de ferramentas especializadas em adquirir, armazenar e transformar informações espaciais. A manipulação de objetos e os seus atributos que compõem uma base de dados através do relacionamento espacial, permitem o cruzamento destes e consequentemente uma visão mais ampla e precisa do local em estudo.

### 3 Caso de Estudo

#### 3.1 Localização da área de estudo

O caso de estudo decorreu no campo de golfe “Royal Golf Course” (Fig. 3.1). Este localiza-se em Vale do Lobo (37°03'23.3''N, 8°03'03.0''W), Algarve, Portugal.



**Figura 3.1** – Identificação da área de estudo, no campo de golfe “Royal Golf Course”, delimitada pela linha vermelha (Buracos 4, Buraco8 e Buraco18) (Fonte: Google Maps).

Inaugurado em 1997, o *Royal Golf Course* apresenta buracos com características excecionais devido à proximidade ao mar. O extenso relvado resulta de uma mistura de espécies de relva (*Poa trivialis*, *Zoysia ssp*, *Paspalum ssp* e *Lolium ssp*) e fica situado entre lagos e uma vegetação luxuriante de pinheiros e flores silvestres. O campo, dispõe de 18 buracos, Par 72, com 6.059 metros de distância. Dos 18 buracos existentes foram estudados três: Buraco4, Buraco8 e Buraco18 (na Fig. 3.1 áreas delimitadas com a linha vermelha e o respetivo número).

#### 3.2 Caracterização edafoclimática

O clima na área de estudo é classificado de mediterrâneo semiárido (próximo do Litoral), mas de acordo com o índice Xerotérmico de Gaussen denomina-se clima Mesomediterrâneo a Termoditerrâneo atenuado, uma vez que apresenta 100 a 125 dias secos. A classificação do clima segundo Köppen e Geiger é do tipo Csa: clima temperado húmido com verão seco e quente. Nos meses de inverno, as temperaturas registadas são das mais elevadas de todo o Continente Europeu, nunca se registando temperaturas mínimas médias mensais negativas (Do Ó, 2013).

A área de estudo foi caracterizada climaticamente a partir das estações meteorológicas distribuídas no Algarve, mantidas pela Direção Regional de Agricultura e Pescas do Algarve (DRAPALG, 2016). Selecionou-se a estação localizada no Patacão (Quadro 3.1), por se encontrar mais próxima da área de estudo. Os registos apresentados correspondem à média de valores do ano de 2012 até agosto de 2016 (Quadro 3.2).

**Quadro 3.1** - Caracterização da estação meteorológica no Patacão, Faro.

|              |           |
|--------------|-----------|
| Latitude     | 37,2° N   |
| Longitude    | 7,56° W   |
| Altitude (m) | 13 metros |
| Série        | 2012-2016 |

**Quadro 3.2** - Dados meteorológicos médios da estação meteorológica localizada no Patacão, Faro (2012-2016) (DRAPALG, 2015 e 2016) .

|                       | Jan. | Fev.  | Mar.  | Abr.  | Mai.  | Jun.  | Jul.  | Ago.  | Set.  | Out.  | Nov.  | Dez. | Média |
|-----------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| Tmed(°C)              | 11,8 | 11    | 13,5  | 15,8  | 19,3  | 22,6  | 24,8  | 25,1  | 21,7  | 19,2  | 14,6  | 12   | 17,6  |
| Rad.Solar<br>(KJ.m-2) | 9574 | 13168 | 17600 | 21150 | 26252 | 28082 | 28424 | 25889 | 19897 | 13558 | 10189 | 8554 | 18528 |
| Hr med(%)             | 85   | 75,8  | 74,4  | 74,6  | 62,6  | 59    | 56,6  | 57    | 73,5  | 80    | 80,5  | 84,5 | 71    |
| Vento(m.s.-<br>1)     | 0,8  | 1,1   | 1,1   | 1,1   | 1,2   | 1,1   | 0,9   | 0,9   | 0,8   | 0,7   | 0,6   | 0,5  | 0,9   |
| P(mm) *               | 64   | 27    | 16,8  | 38,5  | 101,2 | 3,4   | 0,1   | 1     | 3,8   | 113,8 | 127,5 | 100  | 597** |
| ETo(mm)               | 1,9  | 2,7   | 3,6   | 4,6   | 6,2   | 7     | 7,3   | 6,8   | 4,9   | 2,6   | 1,8   | 1,5  | 4,2   |

\*Valores da precipitação dizem respeito ao ano de 2015 e de 2016.

\*\*Valores referentes ao somatório da precipitação.

A temperatura média registada na estação do Patacão é de cerca de 17,6°C. Os valores mais baixos ocorrem em janeiro e fevereiro (11°C), e os mais elevados em julho e agosto (25°C).

A precipitação anual atinge cerca de 600mm/ano. Em termos gerais, o regime chuvoso é coincidente com a estação mais fria e o semestre seco com a estação mais quente, o que define o clima mediterrânico que caracteriza a região. Mais de 80% da precipitação anual é registada no semestre de outubro a março. A variabilidade interanual também é um fator a realçar, aproximando-se de um rácio de 1 para 10 em determinados pontos do Litoral (Faro em 1944-45 registou uma importância de 118mm e em 1989-90 de 1158mm) (Do Ó, 2013).

Os valores de ETo mais elevados verificam-se em junho e julho (de cerca 7 mm/d), e os mais baixos em novembro e dezembro (de cerca 1,6 mm/d). A média anual é de 4,2 mm.

Relativamente à direção e velocidade do vento, os valores médios têm direção dominante do quadrante norte (norte, nordeste e noroeste) com velocidades médias muito próximas de 0,9 m.s<sup>-1</sup>.

Segundo Rocha Faria *et al.* (1981), o litoral Algarve regista dos valores mais elevados de todo o Continente Europeu quer a nível de radiação solar global, quer de insolação (nº de horas de sol). A estação do Patacão (Quadro 3.2), regista a energia acumulada diariamente, apresentando uma média de valores anuais a rondar os 18.528 KJ.m<sup>-2</sup>. A radiação está relacionada com a temperatura, pelo que os meses que apresentam maiores níveis de radiação são junho e julho, cerca de 28.000 KJ.m<sup>-2</sup>. Pelo contrário, dezembro e janeiro, têm valores próximos de 9.000 KJ.m<sup>-2</sup>.

### 3.3 Caracterização do Sistema de Rega

A rega do campo de golfe é assegurada através de abastecimento público e de dois reservatórios (lagos). Os lagos contribuem também para o enquadramento paisagístico, já que se encontram na área de jogo.

A rega é automática com comando central por computador (da marca Rain Bird) e está ligada a comandos locais designados de “satélites”. A água é distribuída em forma de chuva nos relvados, a partir de aspersores marca Rain Bird (Quadro 3.3)

**Quadro 3.3** - Características dos aspersores do campo de golfe (Rain Bird, 2010).

| <b>Modelo</b>            | <b>Rain Bird Eagle 700</b>      |
|--------------------------|---------------------------------|
| Rotação                  | Círculo Completo – 360° ≤ 180 s |
| Alcance                  | De 17,1 - 24,1 metros           |
| Débito                   | 3,82 a 10,02 m <sup>3</sup> /h  |
| Pressão de Funcionamento | 7,5 bar                         |

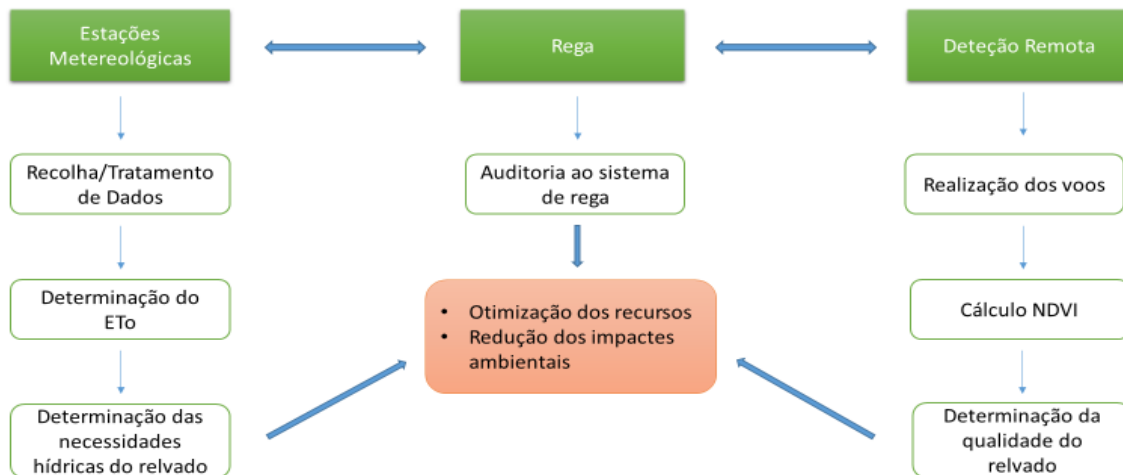
Os aspersores Rain Bird 700 (Fig. 3.2) estão instalados na área de estudo, em triângulo, com um compasso de cerca 20 metros.



**Figura 3.2** - Aspersores “Eagle 700” da Rain Bird (Rain Bird, 2011).

## 4 Metodologia

Ao longo deste capítulo apresentam-se as metodologias utilizadas para avaliar as necessidades hídricas, o desempenho dos sistemas de rega e o estado da qualidade do relvado.



**Figura 4.1** - Esquema metodológico.

### 4.1 Obtenção de Dados

Os dados foram obtidos a partir de três estações meteorológicas colocadas nos buracos de jogo do campo de golfe: Buraco4, Buraco8 e Buraco18. As três estações permaneceram na área de estudo durante cerca de 21 meses (março de 2015 a dezembro de 2016).

A estação meteorológica mantida fixa no Buraco8 durante o ensaio (Fig. 4.2) contém os seguintes equipamentos:

- Datalogger Campbell Scientific – Modelo Cr1000;
- Bateria YUASA modelo NP7-12 (12V, 7A), carregada com energia via painel solar;
- Sensor de Precipitação Pluviométrica Texas Electronics;
- Sensor de Temperatura e Humidade Relativa do ar - Campbell Scientific;
- Sensor de Temperatura e calor do solo – Campbell Scientific;
- Piranómetro marca KIPP & ZONEN modelo SP LITE 2, opera com espectro de luz de 400 a 1100 nm;
- Radiómetro da marca KIPP & ZONEN, modelo NR LITE2, opera com espectro de luz de 0,2 a 100 µm;
- Anemómetro Ultrassónico – Campbell Scientific;

A estação meteorológica recolhe dados meteorológicos em períodos de 30 minutos. O sistema de aquisição, transferência e armazenamento de dados existentes no Datalogger foi realizado com o auxílio do *software PC200W*. Conectou-se o computador ao Datalogger Cr1000 através de um cabo USB, após o *software PC200W* ser iniciado, foi selecionada a opção “*collect data*” e os dados são encaminhados para o diretório selecionado, para serem posteriormente tratados. Os dados foram recolhidos mensalmente.

No Buraco4 e Buraco18 (Fig. 4.2) instalou-se uma estação móvel dotada com o equipamento *La Crosse Technology*. A estação regista os dados meteorológicos horários (velocidade do vento, temperatura, temperatura do ponto de orvalho, pressão, precipitação e humidade). A conexão entre o computador e a estação meteorológica é conseguida através de um dispositivo USB. Após o emparelhamento dos dois dispositivos é possível recolher e monitorizar os dados meteorológicos.



**Figura 4.2** - Estação meteorológica fixa (Estação8) e móvel (Estação18) instaladas nos Buracos8 e 18 respetivamente.

#### **4.2 Determinação das necessidades hídricas**

As necessidades hídricas dos relvados do campo de golfe foram determinadas a partir de três estações meteorológicas instaladas no campo. A estação meteorológica fixa (Estação8), colocada no Buraco8, foi definida como a estação de referência para o estudo, dado possuir equipamentos avançados que permitem determinar  $ET_L$  e  $ET_o$  (vd. 4.1).

Os dados  $ET_L$  e  $ET_o$ , obtidos na Estação8, foram determinados segundo o modelo *LIMP* e correndo o *software* “*R Program*” desenvolvido por Snyder *et al.* (2002, 2015). Este *software* para além dos dados da estação fixa, Estação8, requer dados meteorológicos duma outra estação de referência, de forma a estabelecer-se uma relação. Para tal, utilizou-se a estação meteorológica localizada no Patacão (Quadro 3.1), por ser a estação mais próxima da área de estudo.

Seguidamente é possível determinar o coeficiente da paisagem ( $K_L = \frac{ET_L}{ET_o}$ ) (Eq.s 1 e 2; *vd.* 2.2).

Neste estudo, definiu-se um coeficiente de densidade ( $K_d$ ) de 1,0, porque todo o relvado da área de estudo é denso e sem falhas, e um coeficiente de microclima ( $K_{mc}$ ) também de 1,0 para o Buraco8, visto que se trata da zona de referência. O coeficiente da paisagem,  $K_L$  resulta do produto  $K_v \cdot K_{sm}$ , sendo  $K_v$  o coeficiente da vegetação e  $K_{sm}$  o coeficiente de stress (Eq.3).

O valor de  $K_v$  calculado para a Estação8, é representativo para todo o campo de golfe, dado que toda área de estudo apresenta a mesma vegetação. Através da seguinte relação (Eq.s 10,11 e 12) é possível verificar se existem diferenças entre o microclima da zona onde se encontra a Estação8 e as restantes áreas de estudo.

$$ET_L = ET_o \times K_L = (ET_o \times K_{mc}) \times K_v K_{sm} \times K_d \quad (10)$$

$$= ET_{oL} \times K_v K_{sm} \times K_d \quad (11)$$

$$K_{mc} = \frac{ET_{oL}}{ET_o} \quad (12)$$

Na posse dos valores de  $ET_L$  e  $ET_o$  e com os valores definidos para os coeficientes culturais,  $K_{mc}$  assume-se como a única incógnita (na Estação8 igual a 1). Torna-se assim possível conhecer as necessidades hídricas nos diferentes locais de estudo.

Os dados adquiridos nas estações móveis foram posteriormente tratados através das Eq.s 1 e 2 (*vd.* 2.2).

Considerando-se que o estudo incide sobre as condições reais e atuais do relvado e não sobre os valores ótimos, nos indicadores  $ET_L$  e  $K_L$ , o índice “L” é substituído por “a”.

### 4.3 Balanço hídrico

O balanço hídrico do solo considera o solo como um reservatório em que se verificam entradas e saídas de água. A variação do volume de água armazenada no reservatório é calculada com base nos valores de precipitação, evapotranspiração atual e a capacidade de armazenamento do

solo. Neste estudo, os valores de precipitação utilizados dizem respeito ao ano de 2016, medidos por intermédio da estação meteorológica do Patacão. A evapotranspiração atual é referente ao Buraco8 do campo de golfe. Relativamente à capacidade de armazenamento do solo, não foi possível obter essa informação, portanto não irá ser contemplada ao longo do estudo.

O balanço hídrico foi calculado por intermédio da seguinte equação:

$$\text{Precipitação} - \text{Evapotranspiração atual} \quad (13)$$

Este cálculo foi efetuado para todos os meses do ano de 2016. Realizando-se por último um balanço anual.

De modo a completar o estudo, decidiu-se relacionar a uniformidade de distribuição verificada pelo sistema de rega instalado no Buraco8 com o balanço hídrico. O valor da uniformidade de distribuição utilizado foi o que se verificou mais elevado nos três ensaios (67 %). Decidiu-se utilizar esta importância porque como a DU é essencialmente afetada pelo vento, selecionou-se o valor mais alto para que os cálculos representassem o que ocorre no campo de golfe na maior parte dos dias. A equação utilizada foi a seguinte :

$$\frac{\text{Precipitação} - \text{Evapotranspiração atual}}{\text{Uniformidade de distribuição}} \quad (14)$$

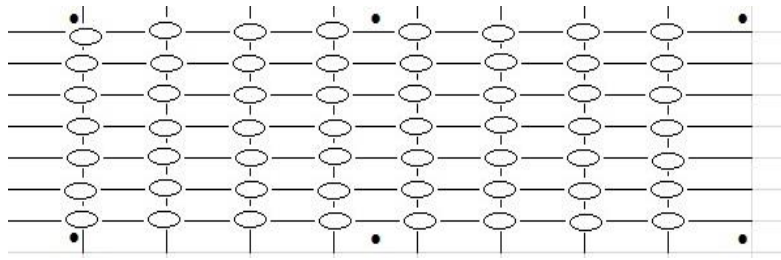
#### **4.4 Avaliação do sistema de rega**

A avaliação ao sistema de rega foi realizada com o objetivo de qualificar o desempenho dos sistemas de rega em funcionamento. Para tal, seguiu-se a metodologia proposta por Irrigation Association (2005) e Meriam & Keller (1978) para os espaços verdes.

##### **4.4.1 Disposição dos coletores**

Para determinar a pluviometria gerada pelos aspersores, 56 coletores foram uniformemente distribuídos na área de ensaio com um espaçamento regular (3m x 5m) cobrindo uma zona do relvado, de cerca de 800m<sup>2</sup>, cujos vértices são definidos pelos aspersores. Para a realização dos ensaios foi necessário o seguinte material:

- Fita métrica (50m);
- Spray para marcação do local a colocar o coletor;
- 56 Coletores (diâmetro de 0,20m);
- Proveta graduada;
- Formulário de campo.



**Figura 4.3** - Esquema da disposição dos coletores e aspersores no relvado.

- Aspersores
- Coletores



**Figura 4.4** - Representação fotográfica da disposição dos coletores no Buraco8 (a) e Buraco18 (b).

As avaliações foram realizadas nos dias 27, 28 e 29 de julho entre as 7 e as 8 horas, em ambos os locais: Buraco8 e Buraco18. O ensaio decorreu da seguinte forma:

- Definiu-se uma área de teste de acordo com a localização dos aspersores e criou-se uma malha de coletores (Fig. 4.3 e 4.4);
- Procedeu-se à colocação dos coletores nos devidos locais, após a marcação destes com ajuda do spray de tinta azul;
- Iniciou-se a rega, que decorreu durante 8 minutos;
- Mediu-se o volume em água existente nos coletores recorrendo a uma proveta graduada em mL e registaram-se os valores num formulário de campo;

#### 4.4.2 Uniformidade

Tendo sempre em consideração as limitações existentes, seleccionaram-se apenas indicadores de desempenho que apresentassem garantias na prática e que permitam definir e comparar sistemas para os quais são conhecidas interpretações válidas em termos de impactes sobre o uso da água, produtividade, a economia da produção e a minimização dos impactes ambientais (Pereira, 2004).

Assim, determinou-se a uniformidade de distribuição (DU) através da Eq.6 e o coeficiente de uniformidade (CU) Eq.7. Para determinar o  $Z_{lq}$  e  $Z_{avg}$ , em (L/m<sup>2</sup>) dividiu-se os volumes recolhidos pela área dos coletores, cujo diâmetro era de 0,2 m. Posteriormente, calculou-se a média dos valores registados ( $Z_{avg}$ ) e para ( $Z_{lq}$ ) verificou-se 25% dos valores mais baixos e a respetiva média.

O número de total de observações registadas foram de 52. Apesar de haver 56 coletores, o vento e a força da água que saía do aspersor levaram à queda de alguns coletores, pelo que não foi possível registar o valor.

## 4.5 Detecção Remota

Neste capítulo, apresentam-se as metodologias desenvolvidas para a aquisição de dados de campo por intermédio da deteção remota e na exploração das características das imagens obtidas através da determinação do índice de vegetação. Por último, descreve-se o método utilizado para comparar a qualidade do relvado em diferentes zonas e para relacionar a influência da rega com o estado do relvado.

### 4.5.1 Características do VANT

Neste trabalho de investigação, recorreu-se a um veículo aéreo não tripulado (VANT) para aquisição da informação. A escolha recaiu sobre um Quadricóptero do modelo da *DJI Phantom 2* que possui as seguintes características:

**Quadro 4.1** - Características do VANT (Phantom 2, 2014).

| <b>Phantom 2</b>      |                                    |
|-----------------------|------------------------------------|
| Peso                  | 1000 g                             |
| Velocidade de Subida  | 6 m/s                              |
| Velocidade de Descida | 2 m/s                              |
| Altura máxima         | 120 m acima do ponto de descolagem |
| Máx. Duração do voo * | Aproximadamente 20 minutos         |

\* Tempo de voo com uma única carga usando a bateria LiPo 2.600 mAh – que é facilmente removível e contém um circuito inteligente que indica a carga do aparelho.



**Figura 4.5** - Quadricóptero DJI Phantom 2 (Phantom 2, 2014).

#### **4.5.2 Câmera Digital**

No VANT acupolou-se uma câmara digital *Canon SX 260 HS* para adquirir as aerofotos digitais. Esta câmara digital *Canon* possui um recetor GPS que permite o georeferenciamento automático das imagens, um sensor com uma dimensão de 6,16 mm x 4,62 mm, uma distância focal de 4,5 a 90 mm e uma resolução de 12,1 megapixel (4000 x 3000 pixels)(Canon, 2016). As imagens capturadas no decorrer do voo são gravadas automaticamente no cartão de memória SD em formato JPEG.



**Figura 4.6** - Câmera Digital Canon SX 260 HS (Canon, 2016).

Configurou-se a câmara para que durante o voo capturasse imagens de 2 em 2 segundos. Para tal, nas definições da câmara selecionou-se o modo “AUTO” e definiu-se através do temporizador um intervalo de tempo de 2 segundos. A câmara foi previamente modificada de forma a captar a gama do infravermelho próximo, essencial para o cálculo do NDVI.

#### **4.4.3 Análise preliminar da área de voo**

De modo a conhecer as áreas de estudo a sobrevoar pelo VANT, foi necessário visitar previamente o local e recorrer à informação presente nas imagens *GoogleEarth*. Com base nesta informação foi possível delimitar a área de estudo e verificar possíveis problemas que possam surgir aquando do voo, nomeadamente a existência de árvores com altura elevada. Esta análise requer muita atenção e é de extrema importância, já que é a partir desta informação que se realiza a planificação da rota adequada para o VANT.

Durante a planificação do voo, é também necessário um conjunto de ações pré-programadas com o objetivo de diminuir o risco de as imagens captadas saírem desfocadas, devido a uma possível vibração no decorrer do voo. O clima assume-se como o principal responsável por estes contratempos. Assim, antes da realização do voo consultaram-se as condições atmosféricas para evitar voar em dias com elevado risco do VANT cair ou obter imagens de má qualidade. As condições ideais para a realização do voo são os dias de sol, sem a presença de nuvens e sem vento com inclinações do sol próximas da direção do zenite para minimizar o efeito das sombras.

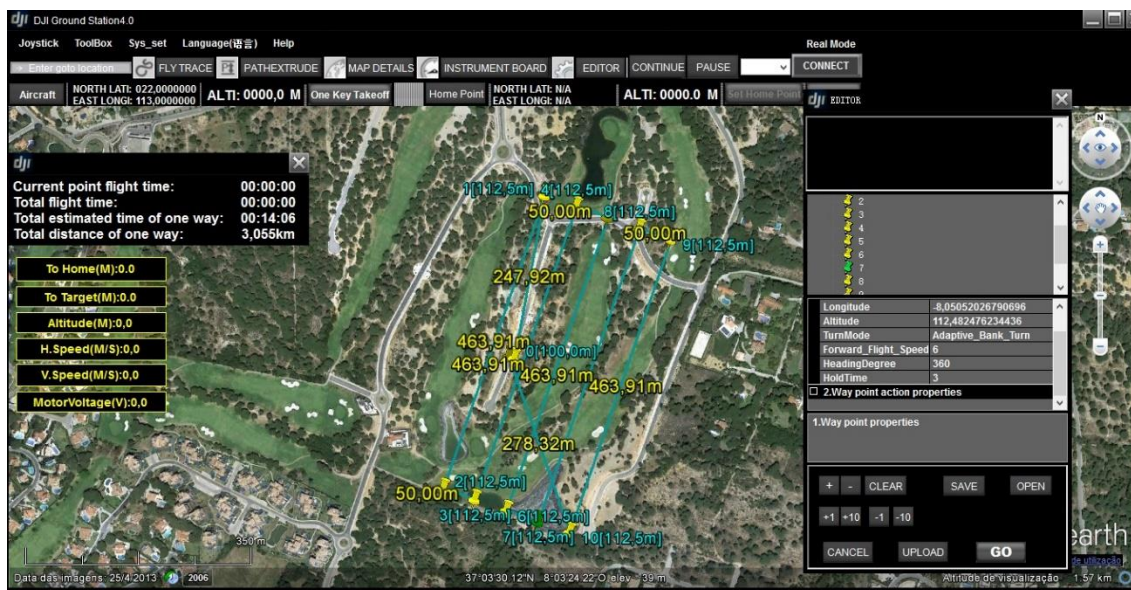
Os voos foram realizados na área de estudo (vd. 3.1) nos dias 28 de abril, 17 de maio, 2 de junho e 8 de julho de 2016. Em cada dia realizaram-se sempre três voos: Buraco4, Buraco8 e Buraco18. As imagens foram adquiridas tendo sempre em consideração as seguintes etapas:

- Estudo preliminar da área de estudo;
- Plano do vôo;
- Levantamento aéreo.

#### **4.5.4 Plano de voo**

O plano de voo foi executado com o auxílio do software *DJI GroundStation 4.0*. A *Ground Control Station* (GCS) dispõe de informação em tempo-real, permite comunicar durante o vôo e através do GPS indica qual a posição exata do VANT (DJI, 2015).

Para criar um plano de voo através do *GroundStation* seleccionou-se o separador “Editor” e em seguida a opção de criar uma nova missão “*New Mission*”. Com o auxílio do rato selecciona-se no mapa o ponto de partida pretendido para o início da viagem e consecutivamente todos os pontos “waypoints” por onde se deseja que o VANT circule, de modo a criar uma rota até ao local de destino. Após a introdução de todos os “*waypoints*”, procedeu-se a caracterização dos mesmos. Alterou-se a altitude do vôo para 100 metros e realizou-se um ajuste à longitude e latitude. A Fig. 4.7 mostra o plano de voo realizado para o Buraco8.



**Figura 4.7** - Aparência do plano de voo relativo ao Buraco8.

O plano de voo realizou-se com o objetivo de haver o máximo de sobreposição entre as imagens recolhidas. Para o Buraco8 definiram-se 5 linhas de vôo com um comprimento de aproximadamente 460m e 50m de largura (Fig. 4.7). No Buraco4 foram também definidas 5 linhas de voo com um comprimento de cerca de 435m e 50m de largura. O Buraco18 possui 3 linhas de 390m de comprimento com 50m de largura.

O tempo de viagem esperado para o Buraco8 foi aproximadamente 14 minutos com uma distância total de 3,055 km. Relativamente ao Buraco4, a duração dos voos foram de 14 minutos, correspondendo a uma distância de 2,976 km. O Buraco18, teve uma duração de cerca de 8 minutos, tempo necessário para percorrer 1,626 km.

O tempo de voo foi sempre um fator a ter em consideração devido à duração das baterias, já que estas apresentam um limite de sensívelmente 20 minutos.

**Quadro 4.2** - Resumo dos dados referentes aos parâmetros dos voos.

| <b>Dados Operacionais do Voo</b>  |            |
|-----------------------------------|------------|
| Velocidade máxima de vôo          | 12 m/s     |
| Velocidade de subida              | 6 m/s      |
| Recobrimento Longitudinal         | 75%        |
| Recobrimento Transversal          | 25%        |
| Intervalo na captação das imagens | 2 segundos |

#### **4.5.5 Execução do levantamento aéreo**

Para a execução do voo foram necessários os seguintes equipamentos:

- Computador portátil na área do voo;
- Um sistema de telemetria com ligação USB;
- Controlo remoto para o VANT “*Joystick*”;
- Drone Phantom 2;

O primeiro passo, consiste na sincronização do computador portátil com o VANT, através de um sistema de telemetria. A posição do VANT passa a ser observada no mapa fornecido pelo *Groundstation*. Antes de se dar início ao voo liga-se o controlo remoto. Esta medida torna-se importante porque caso ocorra alguma perda de sinal, o utilizador através do controlo remoto assumirá o total comando evitando que ocorra algum problema com o veículo. Terminada a rota e com o VANT de volta ao destino de partida é necessário utilizar-se o *Joystick* para direccionar o VANT da altura do voo em que se encontra até ao solo, e assim poder ser recolhido pelo utilizador.

#### **4.6 Tratamento das imagens**

Nesta etapa do trabalho, os objetivos passam pela elaboração de ortomosaicos e do cálculo dos respetivos índices de vegetação. Pretende-se assim, realizar uma análise ao estado do relvado através da qualidade dos píxeis.

Contudo, antes é necessário minimizar os erros provenientes do processo de aquisição das imagens. Cada voo realizado capta em média 150 fotografias, das quais nem todas estão em boa qualidade, o que leva à necessidade de se realizar uma seleção onde são eliminadas todas as imagens que se encontram tremidas ou desfocadas e as que não englobam a área de estudo. Grande parte das imagens disponíveis encontravam-se em boa qualidade, daí não ter sido necessário realizar nenhum voo extra.

As imagens foram processadas nos softwares *Pix4D* e *ArcGis 10.2*.

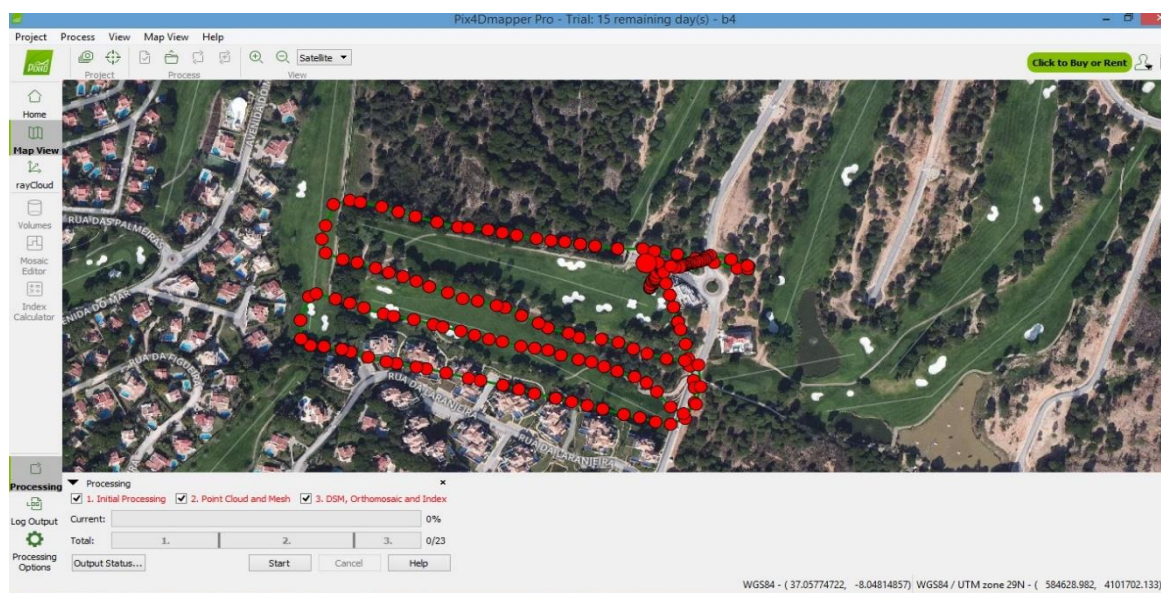
##### **4.6.1 Criação de ortomosaicos**

Um ortomosaico é definido como um conjunto de fotografias aéreas sobrepostas que são corrigidas geometricamente para que seja possível conceder-lhes uma escala uniforme. Este processo remove a perspectiva de distorção das fotografias aéreas, e tem como resultado um “mosaico” 2D ou 3D (Greenwood, 2015).

A conceção de ortomosaicos permite-nos avaliar as características da superfície, possibilitando avaliar as propriedades da vegetação, neste caso específico, o relvado do campo de golfe.

Após ter-se efetuado a seleção das melhores imagens para cada um dos buracos, realizou-se o seu tratamento com auxílio do software *Pix4D*. Programa desenvolvido especificamente para conjuntos de imagens e dados de levantamento aéreo de veículos não tripulados. O software através das suas características avançadas com apoio de GCP (pontos de controlo do solo) para geo-localização, permite avaliar os dados antes do início do processo (Pix4D, 2016).

Realizou-se o “Upload” das imagens escolhidas para o orto mosaico e imediatamente passou a ser possível visualizar as coordenadas das aeroimagens, conforme a Fig. 4.8.



**Figura 4.8** - Aspeto das imagens captadas antes da realização do ortomosaico no software Pix4D (Buraco4).

Ao verificar-se que as imagens estão dispostas de acordo com o esperado, ou seja, se representarem a área de um dos buracos em estudo prossegue-se para a conceção do ortomosaico. Processo demorado, já que cada um dos ortos demora em média 19 horas e foi necessário produzir 12 ortomosaicos, cada missão corresponde a 3 buracos e consequentemente a 3 ortos.

#### **4.6.2 Cálculo do Índices de Vegetação**

O cálculo do índice de vegetação foi realizado com auxílio do software *ArcGIS* 10.2 (Esri, 2010).

Os ortomosaicos resultantes do ponto anterior, são adicionados individualmente ao software *ArcGIS* 10.2 e reprojutados para o sistema de coordenadas TM06-ETRS89. Cada ortomosaico

é detentor de 3 bandas: Banda 1 (infravermelho), Banda 2 (verde) e Banda 3 (azul). Para o cálculo do NDVI são utilizadas a banda 1 e banda 3, determinando-se o NDVI de acordo com a seguinte equação:

$$NDVI = \frac{\text{float (banda 1 - banda 3)}}{\text{float (banda 1 + banda 3)}}$$

Após este processo ter sido realizado para todos os ortomosaicos criados, trataram-se as imagens para ser possível dar continuidade ao estudo.

#### 4.6.3 Aquisição de imagens satélite

Para avaliar as diferenças que poderão existir entre resultados obtidos com o VANT e com as imagens de satélite, foi necessário descarregar através do acesso ao site *Serviço Geológico dos Estados Unidos* (USGS), mais especificamente do centro *Earth Resources Observation and Scientist* (EROS) (EarthExplorer, 2016) a informação referente à área de estudo captada por satélite.

Cada um dos arquivos de dados descarregados são originários de diferentes datas, todos eles recolhidos através do satélite Landsat 8 e compostos por 11 diferentes bandas espectrais. Selecionou-se a área de trabalho, “Vale do Lobo”, as datas de interesse e de seguida os critérios “L8 OLI/TIRS Pre-WRS-2”. Uma única imagem de satélite recolhida é mais do que suficiente para cobrir toda a área de estudo, já que cada imagem cobre áreas de 185km x 180km. Os dados utilizados na pesquisa, foram captados nas datas indicadas no Quadro 4.3.

**Quadro 4.3 - Data da recolha dos dados de satélite.**

| Ano  | Mês   | Dia |
|------|-------|-----|
| 2016 | Abril | 7   |
| 2016 | Mai   | 5   |
| 2016 | Junho | 20  |
| 2016 | Julho | 18  |

O satélite Landsat 8 captura imagens com um espaço temporal de 15 dias. Assim, as datas foram selecionadas criteriosamente, de forma a apresentarem o mínimo espaço temporal para as adquiridas por intermédio do VANT. O objetivo desta seleção passa por tentar com que o relevado apresente as mesmas condições em ambas as análises, de modo a que as diferenças de

resultados estejam única e exclusivamente relacionadas com os métodos de aquisição de imagens.

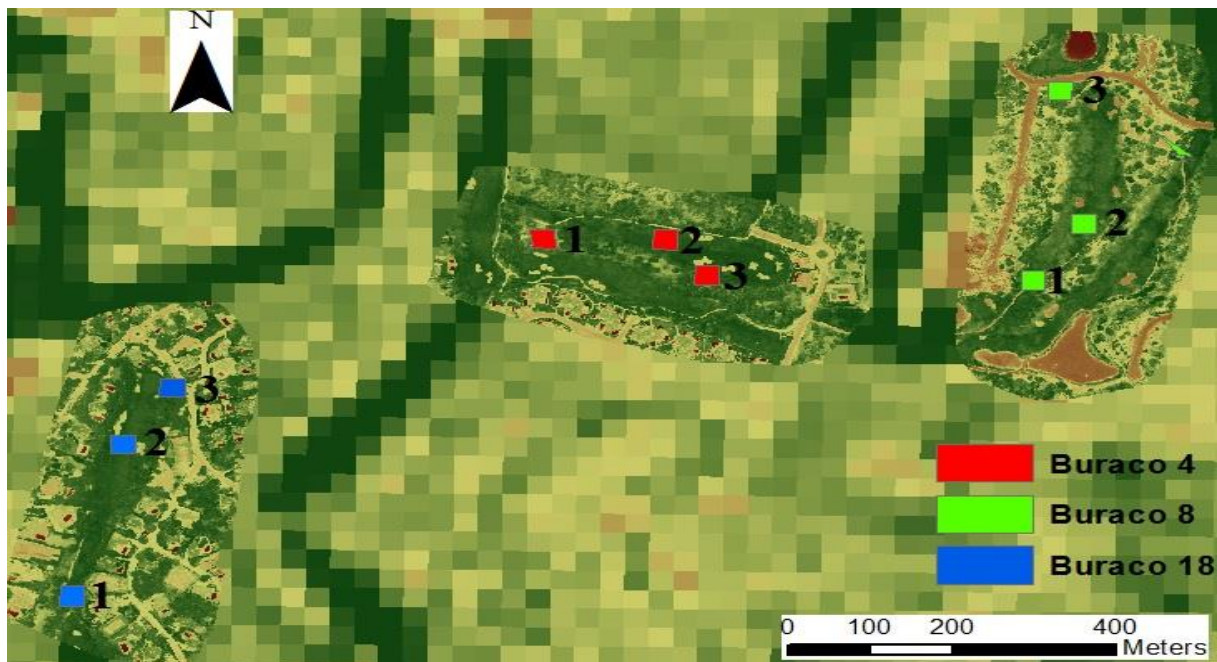
Sobre as imagens foi determinado o NDVI, utilizando a banda 4 e 5.

#### **4.6.4 Análise das imagens NDVI – Método de avaliação da qualidade dos pixéis**

Para perceber em que época é que o estado do relvado permanece em melhores condições, calculou-se o NDVI com base nas imagens recolhidas por intermédio do VANT e do satélite Landsat 8.

Um dos métodos selecionado para este diagnóstico foi o método de avaliação da qualidade dos pixéis. Este método permitiu estudar os valores de NDVI em três zonas de interesse. Para tal, definiram-se três áreas: zona 1 referente à localização da estação meteorológica, zona 2 representa a área onde foram realizados os testes de eficiência da rega e zona 3 apresenta um local mais afastado do campo de golfe, correspondente a uma área possivelmente não regada (Fig. 4.9). Seguindo este método, a seleção de zonas de estudo torna-se imprescindível porque o equipamento informático existente não é suficientemente robusto. Uma zona selecionada no ortomosaico, referente às imagens captadas por intermédio do VANT, corresponde a 900 m<sup>2</sup> (30x30m), ou seja, possui cerca de 90.000 pixéis, sendo o processamento muito pesado e impraticável para toda a imagem.

Assim, através da ferramenta SIG, para as imagens adquiridas pelo VANT, extraíram-se os valores dos 90.000 pixéis referentes a cada zona e foram separados em quatro intervalos (0 – 0,24; 0,24 – 0,49; 0,49 – 0,74; 0,74 – 1) e analisados segundo a respetiva frequência. A decisão de quatro intervalos deve-se ao facto de estes serem suficientes para compreender o estado da vegetação da área estudo. Nas imagens obtidas por satélite, cada zona corresponde apenas a um pixel, o que tornou possível conhecer com exatidão o valor de NDVI para cada área.



**Figura 4.9** – Disposição das zonas 1,2 e 3 selecionadas para avaliar a qualidade do relvado – método de avaliação da qualidade dos pixéis.

#### 4.6.5 Diferenciação dos valores de NDVI

Após a obtenção dos mapas do índice de vegetação para os meses de abril, maio, junho e julho foi aplicado um procedimento de diferenciação que consiste em realizar uma comparação pixel por pixel entre duas camadas, dando origem a uma imagem de valores entre -1 e 1, onde zero significa ausência de folhas verdes e valores próximos de 1 uma forte vegetação. A comparação entre camadas diz respeito à subtração dos pixéis referentes a cada mês, ou seja, subtraiu-se maio por abril, julho por junho e assim consecutivamente, de forma a conseguir-se perceber as alterações ocorridas na vegetação de mês para mês.

Procedeu-se ao mapeamento da vegetação em três intervalos, distribuídos por zonas onde não se registaram mudanças, zonas de incremento e zonas de decréscimo da vegetação. Tornou-se necessário estabelecer limites, à esquerda e à direita do valor médio do intervalo da zona de não mudança. Segundo a literatura, existem vários métodos para obter os limites, no entanto, o do desvio padrão assume-se como um dos mais fiáveis. Em particular aplicou-se um estudo realizado por Mancino *et al.*, (2014).

A imagem conseguida por diferenciação do NDVI foi reclassificada utilizando um valor limite determinado por  $\mu \pm \sigma$ , onde “ $\mu$ ” representa a média dos pixéis NDVI e “ $\sigma$ ” o desvio padrão. O limite identifica três intervalos:

- a) A cauda esquerda – decréscimo da vegetação ( $NDVI < \mu - \sigma$ );

- b) A cauda direita – incremento da vegetação ( $NDVI > \mu + \sigma$ );
- c) A região central da distribuição normal – manutenção da vegetação ( $\mu - \sigma \text{ — } \mu + \sigma$ ).

#### **4.6.6 Influência da rega na aparência do relvado**

De modo a visualizar-se a influência da rega na aparência do relvado, decidiu-se utilizar os valores recolhidos na avaliação do sistema de rega (*vd.* 4.3) e cruzar os dados com os valores de NDVI obtidos por intermédio das imagens recolhidos pelo VANT. A análise apenas foi passível de se realizar nas áreas específicas em que avaliação de rega foi efetuada (cerca de 800m<sup>2</sup>), tanto no Buraco8 como no Buraco18. Apenas se definiram estas duas zonas para análise por não existir informação da quantidade de água despendida na restante área do campo de golfe.

Criaram-se três mapas referentes ao espaço em questão: o primeiro relativo aos valores de NDVI do mês julho (1), o segundo contém a informação referente à pluviometria observada em cada buraco, realizou-se a média das 3 avaliações (2) e o terceiro engloba o declive da superfície. O mapa do declive foi gerado com o auxílio do *software ArcMap*, através das ferramentas *Spatial Analyst* e *Surface*.

## 5 Resultados e discussão

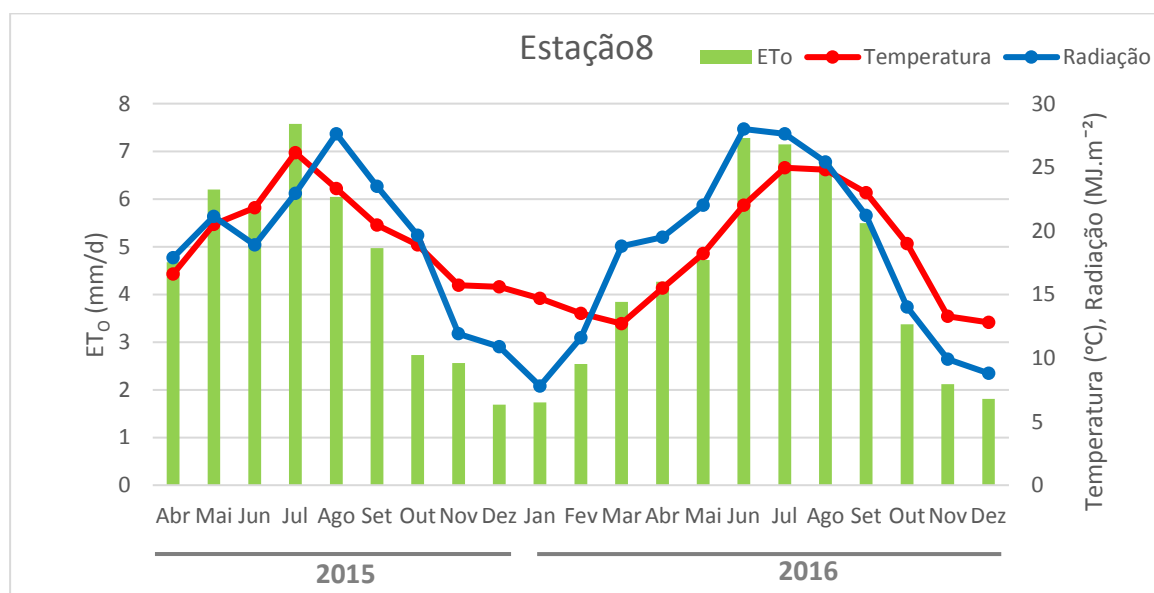
Ao longo deste capítulo irão ser apresentados e discutidos os resultados na seguinte estrutura:

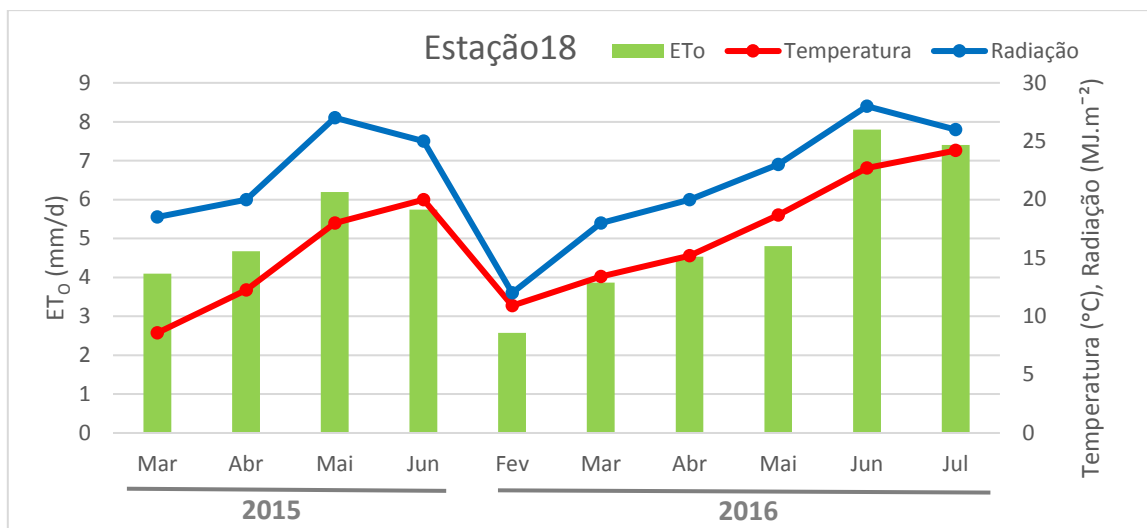
- Caracterização dos parâmetros climáticos e das necessidades hídricas;
- Avaliação da eficiência do sistema de rega;
- Análise das imagens obtidas por VANT e por satélite. Relação entre elas;
- Comparação do estado do relvado com a eficiência do sistema de rega;

### 5.1 Caracterização climática da área de estudo

A primeira fase do estudo visa a apresentação dos parâmetros climáticos do campo de golfe. Devido a problemas de ordem técnica a estação do Buraco4 deixou de funcionar, o que implicou que se utilizasse apenas os dados recolhidos na Estação8 e na Estação18 (vd. 4.2).

Nesta análise os aspetos climáticos que possuem maior importância são a temperatura, radiação, evapotranspiração de referência (Fig. 5.1), vento e a precipitação. Os dados foram recolhidos entre março de 2015 e dezembro de 2016. Na Estação18 foi possível recolher valores meteorológicos de março a junho de 2015 e de fevereiro a julho 2016.





**Figura 5.1** - Valores de evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ), temperatura do ar (T) e radiação solar (RG) de março 2015 a dezembro de 2016, da Estação8 e da Estação18 do campo de golfe.

A Estação8 apresenta valores de  $ET_0$  entre 1,69 mm/d (dezembro de 2015) e 7,57 mm/d (julho de 2015). Na Estação18 registaram-se valores de 2,57 mm/d (fevereiro de 2016) e 7,8 mm/d (junho de 2016).

Ambas as estações registaram os valores de  $ET_0$  mais altos nos meses de verão (junho, julho e agosto). No entanto, o mês de maio no ano de 2015 apresenta um comportamento atípico, aproximando-se e, até, superiorizando-se aos valores verificados em junho e agosto (6,2 mm/d). Os valores mais baixos de  $ET_0$  foram obtidos em dezembro e janeiro, com valores próximos de 2 mm/d.

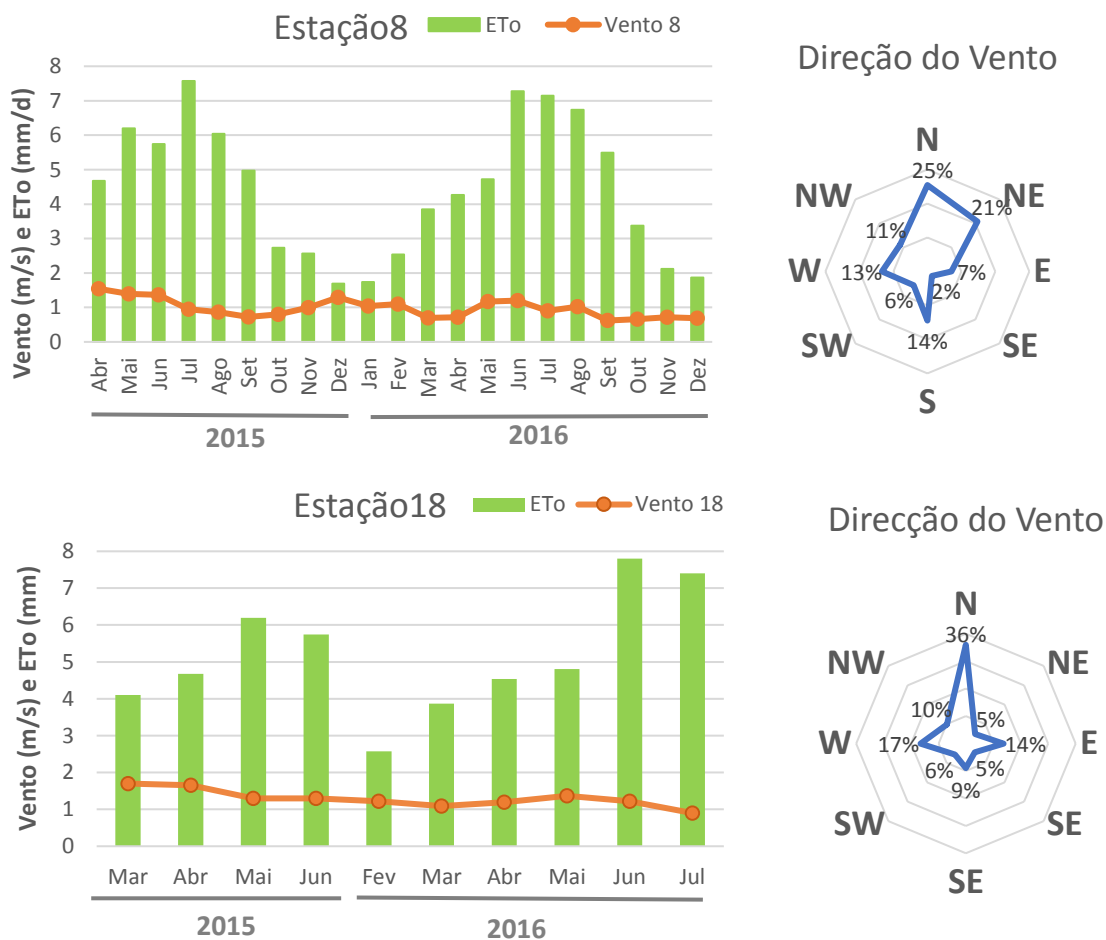
A Estação18 apresenta valores de  $ET_0$  ligeiramente superiores aos da Estação8. Estas diferenças poderão dever-se à velocidade do vento (Fig. 5.2), já que relativamente à temperatura do ar e à radiação solar as diferenças não são muito significativas.

É perceptível que a radiação está diretamente relacionada com a  $ET_0$ , em que o aumento de uma variável é acompanhado pelo aumento da outra variável. Na Estação8 o valor médio da radiação é de 19,5 MJ.m<sup>-2</sup> e na Estação18 de 21,7 MJ.m<sup>-2</sup>. Esta diferença poderá estar relacionada com a proximidade da Estação8 a árvores e edifícios, que numa determinada fase do dia provocam sombra e o registo de valores inferiores por parte do sensor (Fig. 4.2).

As temperaturas mais baixas (8,5 e 10,9 °C) foram registadas ambas na Estação18 em março de 2015 e em fevereiro de 2016, respetivamente. As temperaturas mais altas de 26,7 e 24,9 °C correspondem, respetivamente, a julho de 2015 e de 2016, e foram ambas registadas na

Estação8. Os valores médios da Estação8 estão próximos dos 18,7 °C e na Estação18 de 16,4 °C.

A Fig. 5.2 apresenta para a Estação8 e Estação18 a  $ET_o$  (mm/d) e a intensidade (m/s) e direção do vento. A velocidade média mensal para a Estação8 é de cerca de 0,98 m/s e para a Estação18 de 1,29 m/s. Em ambas as estações os ventos dominantes sopram do 1º quadrante. No entanto, na Estação8 dividem-se entre norte e noroeste com 25% e 21% respetivamente e na Estação18 há uma predominância da direção norte responsável por 36%.



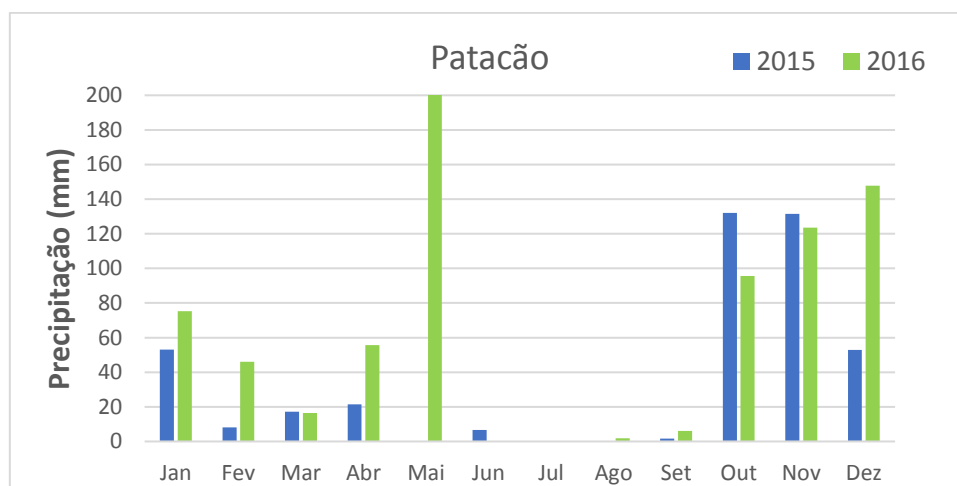
**Figura 5.2** -  $ET_o$ , intensidade e direção do vento na Estação8 e Estação18 de março a dezembro 2016.

A Estação18 apresenta valores de intensidade do vento mais elevados quando comparada com a Estação8 e Patacão. Esta diferença poderá estar relacionada com a proximidade a uma massa de água de grande dimensão, já que a Estação18 está mais próxima do mar. A topografia e os obstáculos, como casas ou árvores, podem também influenciar a velocidade do vento. Esta pode ser a justificação para o registo de valores mais baixos na Estação8, dado que foi no fim do mês de abril de 2015 que se deu início à construção de uma habitação a uma distância de dez metros

da estação meteorológica e como é possível verificar a partir da Fig. 5.2, abril de 2015 é o mês que regista o valor mais alto de intensidade do vento (1.54 m/s), vindo a diminuir nos meses seguintes. A Estação18 é rodeada apenas por árvores o que poderá ter tido também alguma influência nos resultados.

Entre a  $ET_o$  e a intensidade do vento não é possível estabelecer uma relação ao longo do ano, porque o vento não apresenta nenhum padrão definido. Verificam-se subidas e descidas ao longo de toda a época de forma imprevisível. O vento, em 2015, apresenta os menores valores de julho a setembro, enquanto que em 2016 os mínimos verificam-se nos meses de outubro a dezembro. Os valores obtidos no inverno são também muito próximos dos registados no verão.

A Fig. 5.3 apresenta os valores de precipitação da estação meteorológica do Patacão em 2015 e 2016. Não foi possível recolher valores de pluviometria das estações meteorológicas distribuídas no campo de golfe devido a problemas técnicos dos pluviómetros.



**Figura 5.3** - Precipitação da estação meteorológica Patacão para o ano de 2015 e 2016 (DRAPALG, 2016).

A precipitação no Algarve distribui-se de forma irregular e de acordo com os dados recolhidos em 2015 verificou-se uma precipitação anual acumulada de 424 mm e em 2016 de 770 mm.

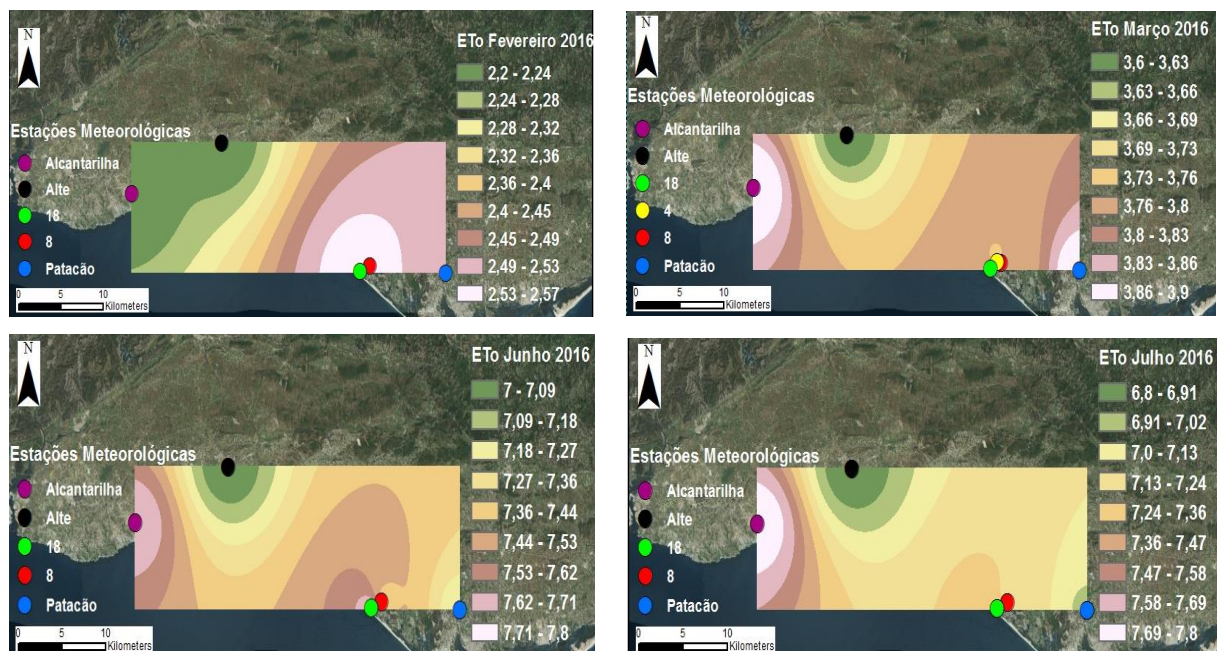
Em 2015, os meses mais chuvosos foram outubro e novembro, cada um responsável por 31% da precipitação total. Em 2016 choveu mais em maio (26%) e em dezembro (19%), distribuindo-se os restantes 55% ao longo do ano, com uma maior incidência nos meses de outubro e novembro. Nos meses de junho, julho, agosto e setembro (meses quentes), em 2015 e 2016, a soma dos 4 meses não ultrapassa 1% da precipitação anual.

### 5.1.1 Influência da $ET_o$ na região do Algarve

Com o objetivo de conhecer os microclimas presentes na área do campo de golfe, procedeu-se à análise da  $ET_o$  com o auxílio do método do inverso do quadrado da distância (IDW) para os meses de: fevereiro, março, junho e julho. As estações meteorológicas utilizadas nesta análise foram: de Alcantarilha (N 37 °09' 51,7''; W 08° 21' 08,2''), de Alte (N 37 °12' 40,8''; W 08° 10' 54,6'') e Patacão (vd.3.2), cuja manutenção é da responsabilidade da DRAPA Ig (2016). Além das estações mencionadas, foram usadas neste estudo três estações meteorológicas instaladas no campo de golfe: Estação4, Estação8 e Estação18 (vd.4.1).

No entanto, o mês de março foi o único mês onde se conseguiu obter seis pontos de análise, nos restantes meses não foi possível obter informações referentes à Estação4.

O método IDW utiliza funções matemáticas para criar superfícies e estimar incertezas. Baseia-se na dependência espacial, ou seja, supõe que quanto mais próximo um ponto estiver do outro, maior deverá ser a correlação entre os valores (Johnston *et al.*, 2001). Assim, foi possível estimar os valores da  $ET_o$  numa área de 407 km<sup>2</sup> e identificar diferentes microclimas na área de estudo. A Fig. 5.4 mostra a distribuição dos valores de  $ET_o$  entre as várias estações, com a área de estudo identificada com as cores verde, vermelho e amarelo. Realizou-se uma seleção criteriosa dos meses para a presente análise tendo em consideração a representação de duas épocas distintas, inverno e verão.



**Figura 5.4** - Influência da  $ET_o$  nos meses de fevereiro, março, junho e julho determinado a partir das estações meteorológicas Alcantarilha, Alte, Patacão, e ainda das estações localizadas no Buraco 4, 8 e 18 no campo de golfe.

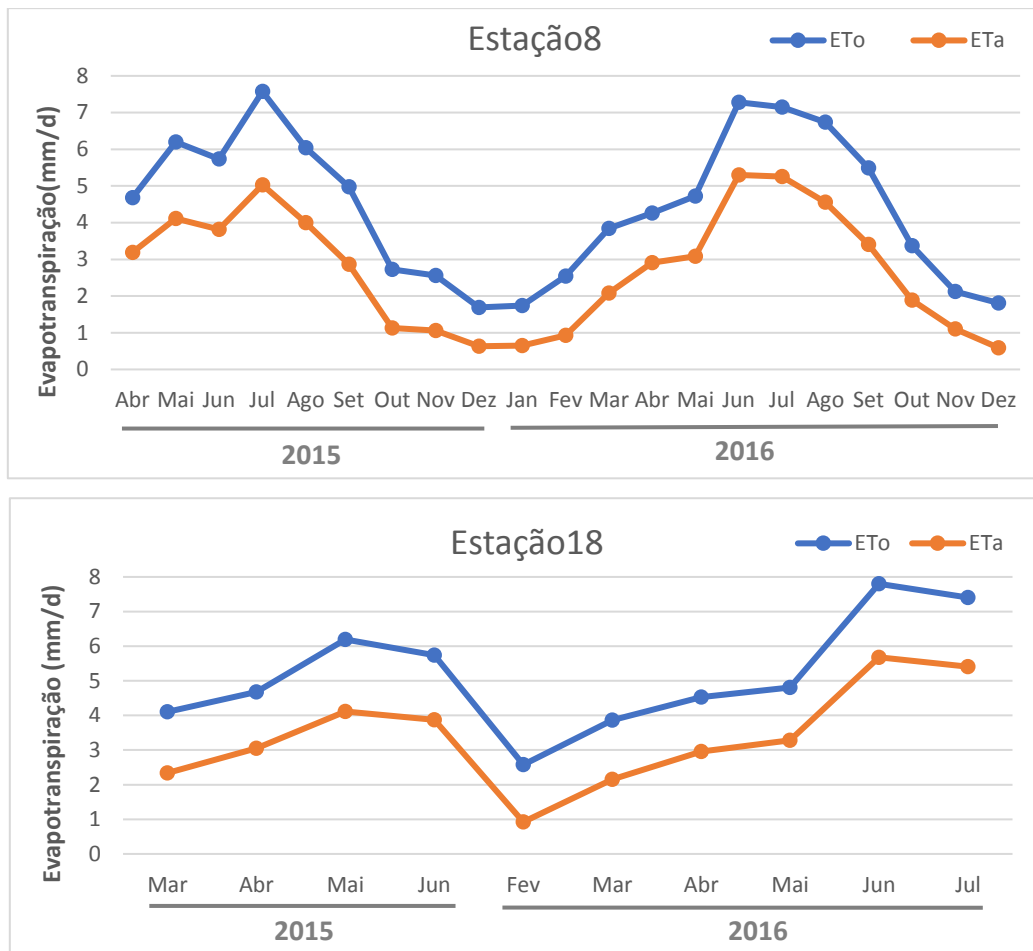
A estação meteorológica de Alte, colocada mais a norte, apresenta sempre os valores de  $ET_o$  mais baixos (2,2; 3,6; 7; 6,8 mm/d) em fevereiro, março, junho e julho respectivamente. Em fevereiro, as estações meteorológicas colocadas na área de estudo (Estação8 e 18) apresentam os valores de  $ET_o$  mais elevados (2,5 mm/d). Em março, os valores máximos ocorrem nas estações do Patacão e Alcantarilha, com cerca de 3,67 e 3,83 mm/d, respectivamente. No mês de junho verificam-se os valores mais altos em Alcantarilha e na Estação18, contudo, a  $ET_o$  registada na Estação18 não possui um grande raio de ação porque os valores verificados nas imediações são mais baixos. Em julh, surge o intervalo de valores mais elevado (6,8 – 7,8 mm/d), com Alcantarilha a registar a maior importância da análise (7,8 mm/d).

A análise a Fig. 5.4 dá a sensação que existem diferenças comportamentais na  $ET_o$  do inverno para o verão. No mês de fevereiro os máximos de  $ET_o$  verificaram-se nas proximidades da área de estudo e do Patacão, e os mínimos registaram-se em Alcantarilha com valores muito próximos dos de Alte. No verão ocorre o inverso, o máximo é apurado em Alcantarilha, com a área de estudo e o Patacão a atingirem valores mais baixos.

A Fig. 5.4 permite observar que os valores de  $ET_o$  aumentam para sul, o que poderá estar diretamente relacionado com a temperatura e a radiação solar. A estação do Patacão (DRAPA Ig, 2016) comprova que estes valores atingem o máximo junto ao litoral, assim como os valores de  $ET_o$ . Relativamente ao vento este apresenta um comportamento variável entre meses, o que não permite afirmar com precisão em que local é que a intensidade do vento é superior. No entanto, para que este estudo tivesse um maior leque de amostras, seriam necessários mais pontos de análise, o que não é possível devido à falta de estações meteorológicas e à falta de recursos para as instalar.

### **5.1.2 Evapotranspiração do relvado**

Os valores da evapotranspiração atual da paisagem,  $ET_a$ , fornecidos diretamente pelo sensor na Estação8 e obtido a partir do produto da evapotranspiração de referência,  $ET_o$ , (vd. 5.1) pelo coeficiente da paisagem,  $K_a$ , (vd. 5.1.4) para a Estação18, são apresentados na Fig. 5.5.



**Figura 5.5** - Evapotranspiração de referência  $ET_o$  e evapotranspiração da paisagem atual  $ET_a$  na Estação8 e Estação18.

A Fig. 5.5 mostra que a  $ET_o$  e a  $ET_a$  apresentam o mesmo comportamento ao longo do tempo. Nos meses quentes (de junho a agosto) a evapotranspiração atual é sempre mais elevada, com valores entre os 4 e 5,5 mm/d. Nos meses frios (de novembro a fevereiro) a  $ET_a$  situa-se entre os 0,6 e 1,2 mm/d, o que nos indica que nesta época as necessidades de água são menores.

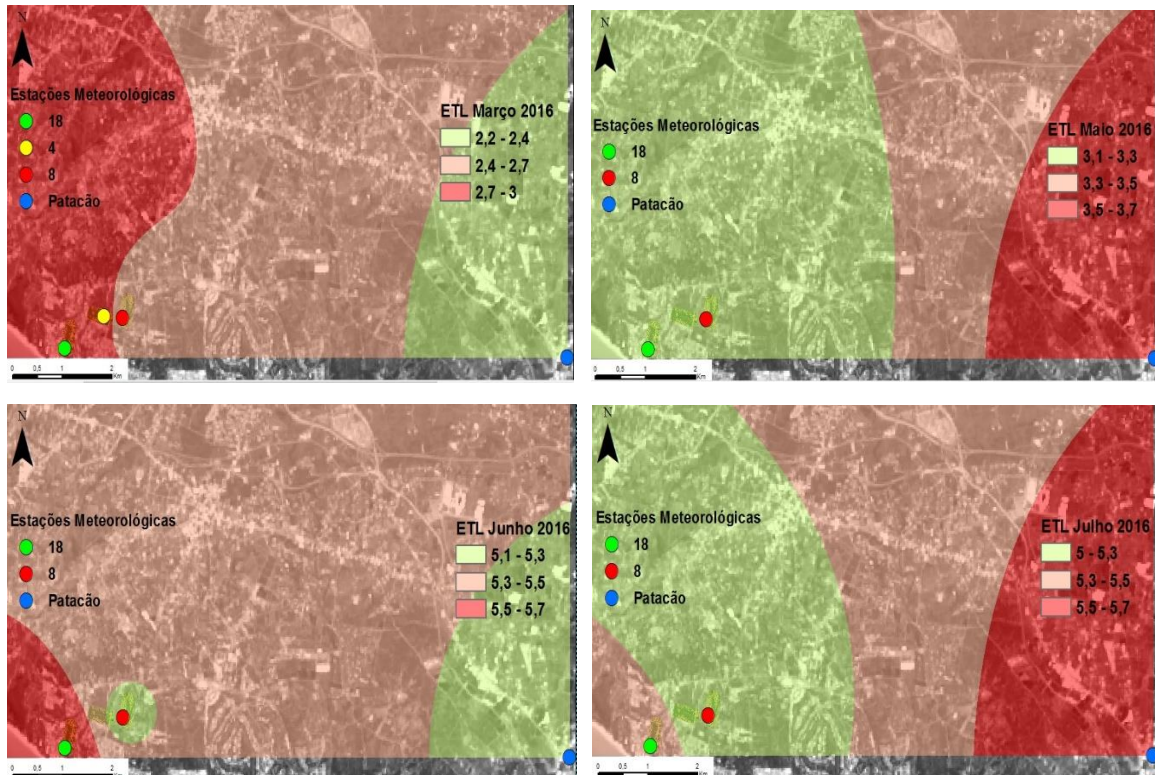
Na Estação8, a  $ET_a$  apresentou uma média de valores de 2,74 mm/d. O valor mais elevado ocorreu em junho de 2016 (5,30 mm/d) e o mais baixo em dezembro e de 2016 (0,59 mm/d). Na Estação18, a  $ET_a$  possui uma média de cerca de 3,3 mm/d, com o valor mais elevado ocorreu em junho (5,67 mm/d) e o mais baixo em fevereiro (0,93 mm/d), ambos em 2016.

Comparando as duas estações, verifica-se que há diferenças de microclima, mesmo que ligeiras. A Estação18 regista valores de  $ET_a$  com uma superioridade de cerca de 0,01 mm/d em relação à Estação8, sendo possível assumir que as necessidades hídricas das áreas de estudo são muito próximas nos meses de funcionamento em comum.

### 5.1.3 Influência da $ET_a$ na área de estudo

Foi utilizado o método da interpolação do inverso do quadrado da distância (IDW) (vd. 5.1.1) para melhor ficar a conhecer a distribuição de valores de  $ET_a$  na área de estudo.

A Fig. 5.6 apresenta a  $ET_a$  nos meses de março, maio, junho e julho da Estação4, Estação8, Estação18 e Patacão. O valor mínimo ocorre em março (2,2 mm/d) e o valor máximo em julho (5,7 mm/d).



**Figura 5.6** - Mapeamento dos valores de  $ET_a$  no campo de golfe nos meses de março, maio, junho e julho.

Na Fig. 5.6 a cor vermelha representa a zona de influência da  $ET_a$  com o valor mais alto, o verde o valor mais baixo e o laranja claro diz respeito ao valor intermédio. Nesta figura verifica-se que o comportamento da  $ET_a$  não é constante ao longo dos meses, apresentando variações de mês para mês. Em março e junho verificaram-se os valores mais elevados na estação 18 e os valores mínimos no patacão. Por sua vez, em maio e julho, o máximo é registado no Patacão, e os valores mínimos na Estação 8.

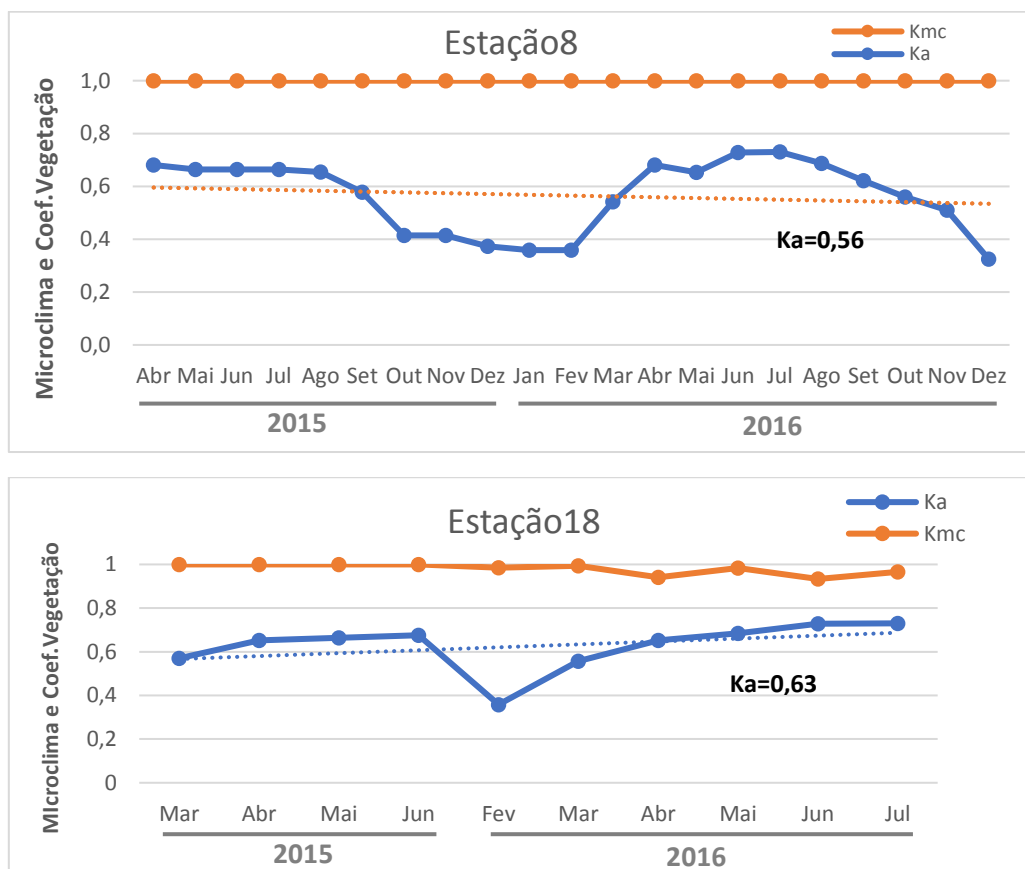
No mês de junho observou-se que a  $ET_a$  não possui um grande raio de influência na Estação 8, o que é provocado pela superioridade dos valores de  $ET_a$  nas proximidades. Neste mesmo mês, apesar do valor intermédio (5,3 – 5,5 mm/d) influenciar a maior área da zona de estudo, é na Estação 18 que se registou o valor mais alto de toda a análise (5,6 mm/d).

Em julho, constatou-se uma ligeira diminuição dos valores de  $ET_a$  na Estação18 em relação ao mês anterior (5,6 mm/d para 5,4 mm/d). Esta descida deve-se essencialmente a uma diferença de comportamento das variáveis que afetam a  $ET_a$ , destacando-se a radiação e o vento (vd. 5.1.1).

Tendo exclusivamente esta análise como base e segundo os valores de  $ET_a$ , as necessidades de água dos espaços verdes revelam-se superiores na Estação18 comparativamente à Estação8. No entanto, o menor valor de  $ET_a$  da Estação8 poderá dever-se à proteção do edificado instalado nas proximidades. Como abordado anteriormente (vd. 5.1) a instalação foi responsável por uma diminuição da intensidade do vento no local.

#### 5.1.4 Coeficientes culturais

A determinação dos coeficientes culturais que permitem calcular  $K_a$  seguiram a metodologia descrita em (vd. 4.2). Na Fig. 5.7 é possível observar-se os valores de  $K_a$  mensal, a respetiva média em cada estação e o coeficiente de microclima,  $K_{mc}$ , estabelecido com base na relação das Eq. 10,11 e 12.



**Figura 5.7** - Valores de  $K_a$  e  $K_{mc}$  para a Estação8 e Estação18.

Através da Fig. 5.7 é possível visualizar que nas duas estações os valores de  $K_a$  oscilam entre 0,33 e 0,73. Os valores mínimos verificaram-se na Estação8 (0,33) no mês de dezembro e na Estação18 (0,35) no mês de fevereiro. O valor máximo registado é comum às duas estações (0,73), ocorrendo em junho e julho de 2016. Também é possível afirmar que as médias de  $K_a$  não são semelhantes nas duas estações. A Estação18 possui um valor médio de 0,63, superior ao 0,56 da Estação8, o que está provavelmente associado ao facto de a Estação8 apresentar no seu registo uma maior quantidade de meses propícios a temperaturas baixas (outubro a dezembro).

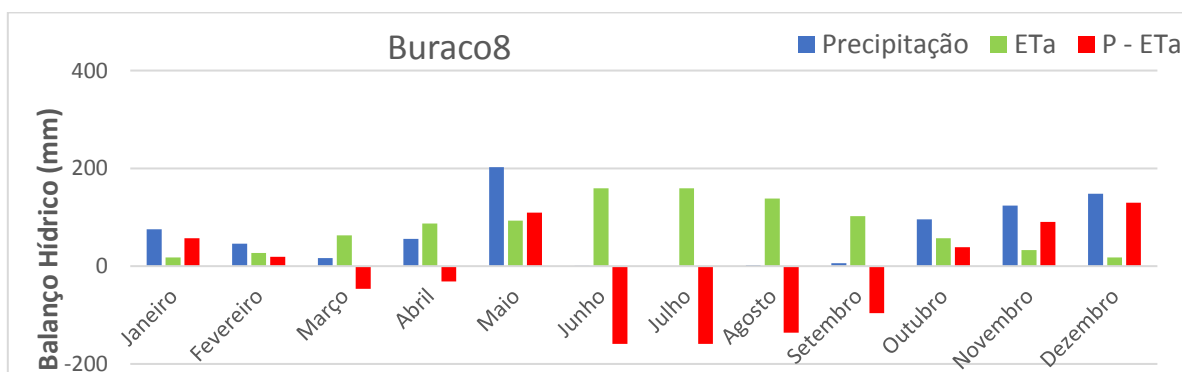
O coeficiente de microclima  $K_{mc}$ , na Estação8, apresenta um valor constante de 1 (vd. 4.2). Na Estação18, por intermédio das Eq.s 10, 11 e 12, determinou-se  $K_{mc}$ , com este a atingir valores iguais a 1 ou muito próximos. O valor mais baixo, de 0,94, foi registado no mês de abril de 2016. Estes resultados permitem afirmar que as diferenças climáticas entre as estações não são muito significativas permanecendo as duas com um microclima muito semelhante.

## 5.2 Balanço hídrico

O balanço hídrico permite avaliar as deficiências e os excessos hídricos ocorridos no campo de golfe.

O balanço hídrico de 2016 (Fig. 5.8) resultou apenas da diferença mensal entre a precipitação e a  $ET_a$  registada na Estação8, dado a ausência de informação relativa aos consumos.

Em março, abril e julho a outubro ocorre um défice hídrico, enquanto que os restantes meses apresentam um excedente hídrico devido à precipitação. No entanto, este balanço é negativo, com um défice anual de 183 *mm*. Entre os meses que apresentam um excedente hídrico, destacam-se novembro, dezembro e maio. Maio surge deslocado, no entanto, este acontecimento está relacionado com o elevado valor de precipitação registado (202 *mm*) (vd. 5.1).



**Figura 5.8** - Balanço hídrico no ano de 2016 da Estação8.

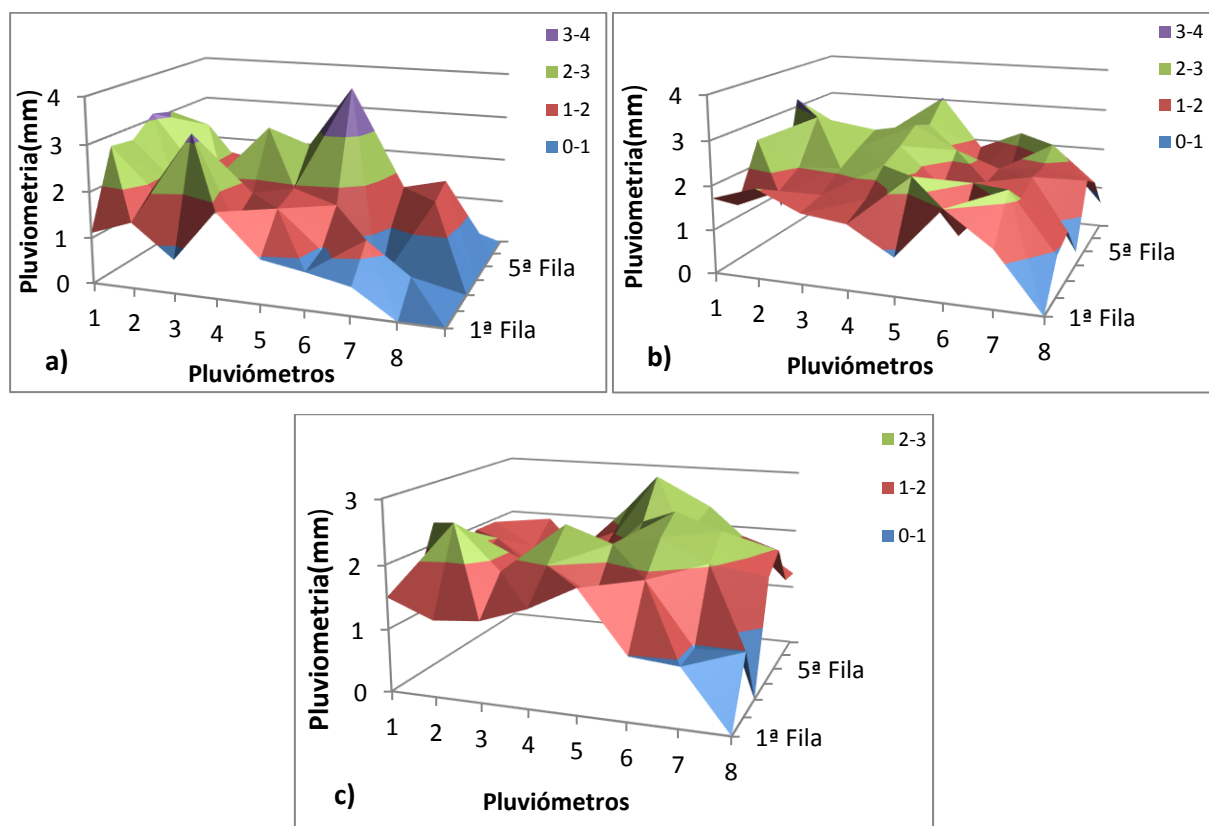
O balanço hídrico foi realizado com base nos valores de precipitação do ano de 2016, ano em que a precipitação registou valores acima da média (770 mm) e, no entanto, verificou-se que o balanço hídrico permaneceu negativo.

De forma a completar a análise relacionou-se a uniformidade de distribuição no Buraco8 pelo sistema de rega com os valores do balanço hídrico (Eq. 14). Obteve-se a quantidade mínima de água que poderia ter sido aplicada ao espaço verde para suprimir as necessidades hídricas da planta. Constatou-se que anualmente deveriam ser despendidos aproximadamente 273 mm pelo sistema de rega.

### 5.3 Avaliação do sistema de rega

Com o objetivo de analisar a forma como a água é distribuída no espaço verde, realizaram-se seis avaliações ao sistema de rega do campo de golfe segundo a metodologia definida em (vd. 4.5).

A Fig. 5.9 apresenta as alturas de água (mm) recolhidas durante 8 minutos pelos coletores distribuídos numa área próxima à Estação8. Agruparam-se os valores obtidos em quatro intervalos (0 – 1; 1 – 2; 2 – 3 e 3 – 4 mm).

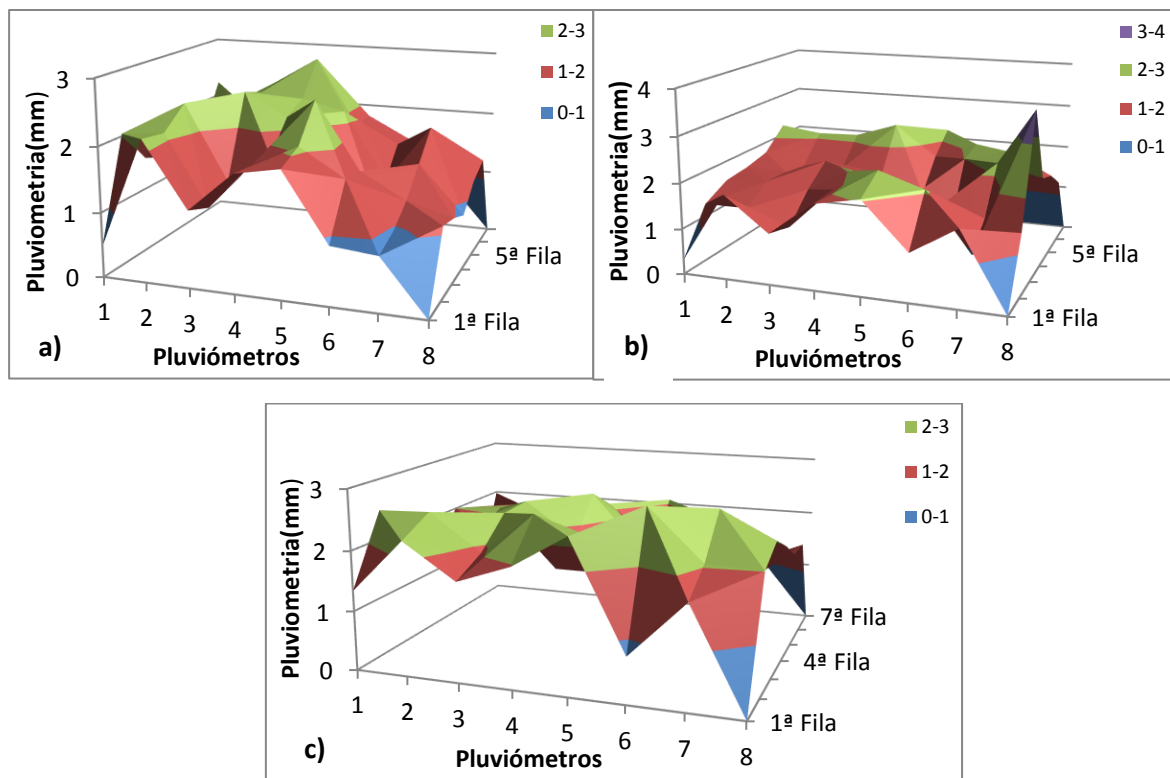


**Figura 5.9** - Quantidade de água recolhida durante as 3 avaliações na área adjacente à Estação8: a) 27/07/2016; b) 28/07/2016; c) 29/07/2016.

Na avaliação realizada em 27/07/2016, obteve-se uma altura média da água de  $Z_{avg} = 1,67$  mm; e uma altura média no menor quartil de  $Z_{lq} = 0,78$  mm, que corresponde à quarta parte da área regada que recebe menos água. Na avaliação realizada a 28/07/2016, obteve-se  $Z_{avg} = 1,82$  mm e  $Z_{lq} = 1,01$  mm. Na avaliação realizada a 29/07/2016 registou-se  $Z_{avg} = 1,80$  mm e  $Z_{lq} = 1,21$  mm.

A avaliação realizada a 27/07/2016 é a que apresenta os valores mais baixos, enquanto que os valores obtidos nas restantes avaliações são similares.

A Fig. 5.10 apresenta as alturas de água (mm) recolhidas pelos coletores numa área próxima à Estação18. Os valores obtidos foram também apresentados em quatro intervalos (0 – 1; 1 – 2; 2 – 3 e 3 – 4 mm).



**Figura 5.10** - Quantidade de água recolhida durante as 3 avaliações na área adjacente à Estação18: a) 27/07/2016; b) 28/07/2016; c) 29/07/2016

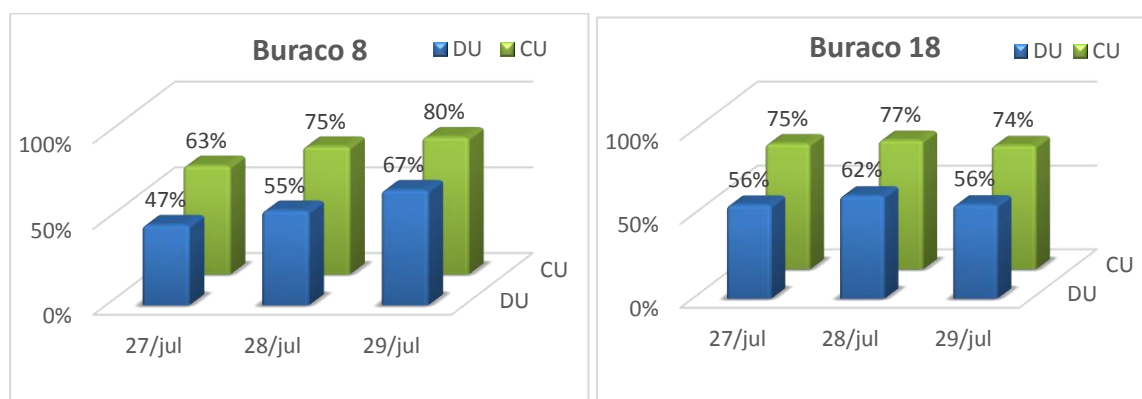
Na avaliação realizada a 27/07/2016, obteve-se uma altura média da água de  $Z_{avg} = 1,81$  mm; e uma altura média no menor quartil de  $Z_{lq} = 0,93$  mm. Na avaliação realizada a 28/07/2016, obteve-se  $Z_{avg} = 1,72$  mm e  $Z_{lq} = 1,02$  mm. Na avaliação realizada a 29/07/2016, registou-se  $Z_{avg} = 1,74$  mm e  $Z_{lq} = 0,99$  mm.

Analisando as avaliações realizadas nas duas estações, verificou-se que os valores não se apresentam semelhantes nos três dias. Uma das causas desta divergência de resultados poderia estar relacionada com o vento, isto porque o movimento de massas de ar tem a capacidade de dispersar a água que sai do aspersor, reduzindo o volume de água que atinge o solo. No entanto, após uma consulta aos valores diários da intensidade do vento, percebeu-se que as avaliações com valores mais baixos de água recolhida não correspondiam com os dias de maior intensidade do vento. Assim, a desigualdade registada entre avaliações deve-se, muito provavelmente, à diferença de pressão no final das linhas de distribuição. O envelhecimento e a corrosão das paredes internas da tubulação origina o aumento da perda de carga.

Em ambos os buracos as alturas de água recolhidas foram superiores na zona central da avaliação (Fig. 5.9 e 5.10). Provavelmente, a desigualdade verificada, deve-se à elevada precipitação nas extremidades do alcance do jato e ao facto de os coletores nas zonas próximas dos aspersores não conseguirem captar a água devido a intensidade que esta apresenta na zona de saída.

### 5.3.1 Uniformidade do sistema de rega

A Fig. 5.11 apresenta a uniformidade do sistema de rega, DU e CU nos buracos estudados com base nas equações 5 e 6. Estes indicadores têm a capacidade de analisar a qualidade e o funcionamento do sistema em vigor. Os valores de DU nas seis avaliações variam entre 47 % – 67% (Buraco8 e Buraco18). O coeficiente de uniformidade apresenta também uma elevada variação, o intervalo é de 63 – 80%.



**Figura 5.11** – Valores de DU e CU no Buraco8 e 18.

No Buraco18 os valores da DU apresentam-se superiores ao Buraco8, resultado de uma área plana e com declives menores, ao contrário do que sucede no Buraco8. A uniformidade de distribuição média para ambas as zonas é classificada de suficiente, de acordo com McCabe (2005), já que está próxima de 60%. O coeficiente de uniformidade apresenta uma média de

valores de 73%, situando-se também inferior ao recomendado, já que segundo Merriam & Keller (1978) CU deve assumir valores entre 80 e 90%.

Pode-se melhorar o desempenho do sistema de rega procurando soluções que incrementem a uniformidade da rega. A uniformidade de distribuição é influenciada por vários fatores, dos quais se destacam: pressão da água na rede de rega, forma de distribuição da água pelos aspersores, disposição dos aspersores, características dos aspersores e fatores climáticos, como a velocidade e direção do vento e a temperatura (Silva e Silva, 2005). Uma forma de contornar a baixa eficiência poderá passar pelo aumento da altura dos emissores, já que a performance destes está relacionada com a altura e o ângulo de elevação do jato, quanto mais baixo estiverem colocados, menor será o raio de distribuição e mais água estará junto ao emissor. A disposição dos aspersores também poderia ser melhorada, colocando-os mais próximos, de forma a dar origem à sobreposição dos padrões de aplicação. Relativamente ao clima, é sempre difícil contornar este parâmetro, no entanto, a única medida que poderá amenizar o efeito do vento passa pela diminuição do espaçamento entre emissores (Irrisoft Inc., 2004).

## 5.4 Detecção Remota

Neste subcapítulo são apresentados os resultados relacionados com aquisição e tratamento de imagens, de acordo com a seguinte estrutura:

- Apresentação dos ortos mosaicos;
- Cálculo do índice de vegetação na área de estudo;
- Análise dos resultados NDVI;
- Análise dos dados provenientes do satélite;
- Diferenciação do NDVI;
- Análise da influência da rega no estado do relvado.

### 5.4.1 Ortos mosaicos

Os ortos mosaicos criados, referentes aos buracos 4,8 e 18, possuem informação de toda a área sobrevoada numa imagem *RGB* (*Red, Blue, Green*). Neste estudo, o vermelho (*RED*) representa a banda do infravermelho próximo, dando origem a imagens com um aspeto alaranjado.

Na Fig. 5.12 são apresentados três ortos gerados a partir das imagens adquiridas por intermédio do VANT, onde cada um representa um buraco e o respetivo mês. As zonas delimitadas indicam a área de jogo referente a cada buraco, situando o espaço onde decorreu o estudo.





**Figura 5.12** - Orto mosaicos de maio, junho e abril do Buraco4,8 e 18 respetivamente.

Os ortomosaicos apresentados servem para se ter uma ideia do resultado inicial e revelam o ponto de partida para o tratamento da informação. A partir deles, foi possível perceber que não era necessária a realização de qualquer voo extra, já que todos se apresentavam bem calibrados e sem a necessidade de serem corrigidos radiométrica ou geometricamente. É também perceptível que nenhum deles apresenta nuvens, perturbação que geralmente leva a realização de voos extra, uma vez que reduz a visibilidade da área de interesse.

#### **5.4.2 Índice de vegetação através de imagens aéreas (VANT)**

Foi calculado o índice de vegetação NDVI de todos os ortos mosaicos com o objetivo de identificar a ocorrência de alterações da cobertura vegetal na área de estudo. A Fig. 5.13 mostra o estado do relvado nos meses de abril e junho no Buraco8 e 18, respetivamente. A zona delimitada representa a área de jogo de cada buraco. A escala de NDVI, que varia entre -1 e 1, apresenta uma cor verde para valores próximos de 1 e uma cor vermelha para valores próximos

de -1. A cor verde representa uma vegetação densa com um nível elevado de atividade fotossintética e a cor vermelha representa corpos de água ou ausência de vegetação.



**Figura 5.13** - Mapas de NDVI em abril e junho no Buraco8 e 18 respectivamente.

Após o cálculo do NDVI, procedeu-se ao diagnóstico das imagens que refletem o estado do relvado dos três buracos nas épocas de abril, maio, junho e julho. No total foram criados onze ortos, três em cada mês, exceto no mês de julho no Buraco4 devido a problemas técnicos no momento de aquisição de imagens.

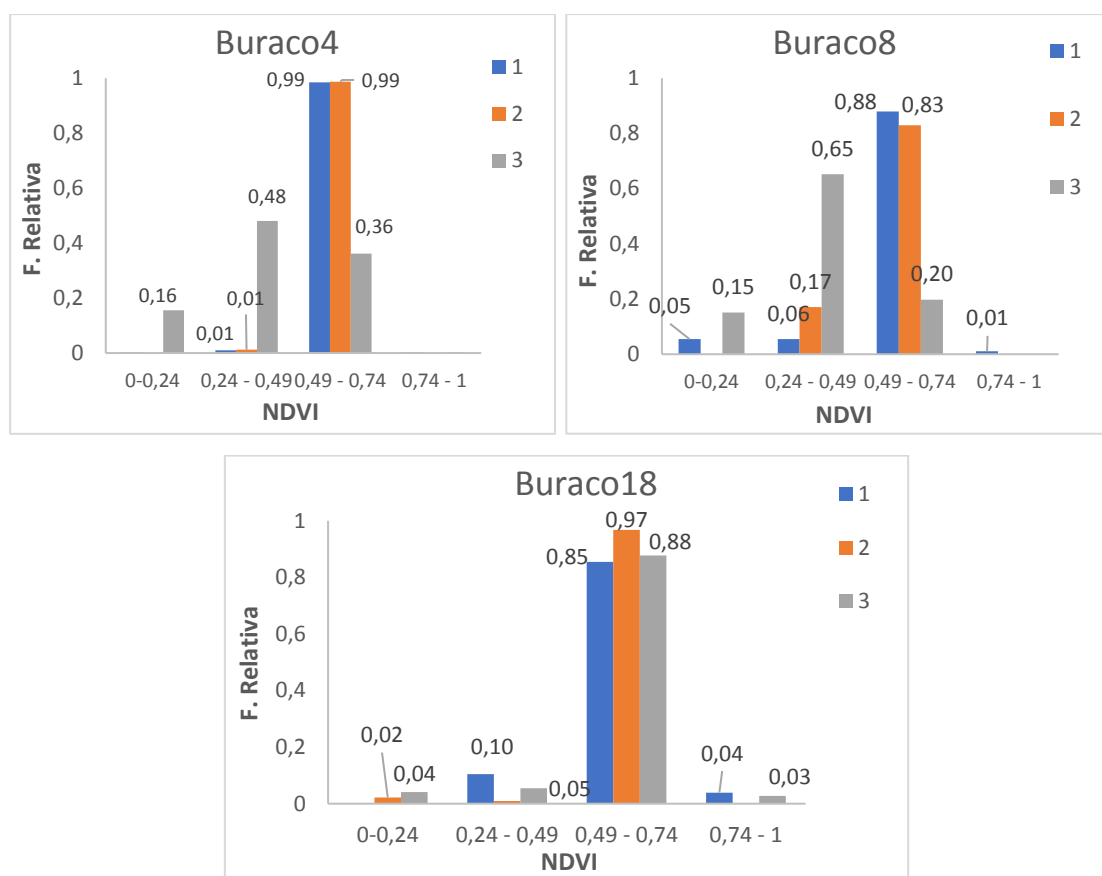
De forma a ser efetuada uma análise detalhada do comportamento do relvado durante os quatro meses, utilizou-se o método da avaliação da qualidade dos pixéis (*vd.* 4.6.4), o que permitiu estudar os valores de NDVI em três zonas de interesse.

Através da representação gráfica (Fig. 5.14, 5.15, 5.16 e 5.17) apresentam-se os valores de NDVI separados em quatro intervalos (0 – 0,24; 0,24 – 0,49; 0,49 – 0,74; 0,74 – 1) e a respetiva frequência relativa.

As áreas que apresentem valores entre 0 – 0,24 mostram que o relvado não está em boas condições, praticamente não apresenta vida. Os valores situados no segundo intervalo (0,24 – 0,49) já revelam uma melhoria, no entanto, não é o ideal para áreas de um campo de golfe, uma vez que requerem um relvado verde e com bons índices de clorofila. O terceiro intervalo (0,49 – 0,74) representa uma relva saudável e em boas condições; o quarto intervalo (0,74 – 1) simboliza um relvado num estado muito próximo do ideal, contudo valores próximos de 1 são muito difíceis de alcançar.

Os resultados obtidos em cada mês foram os seguintes:

- Abril

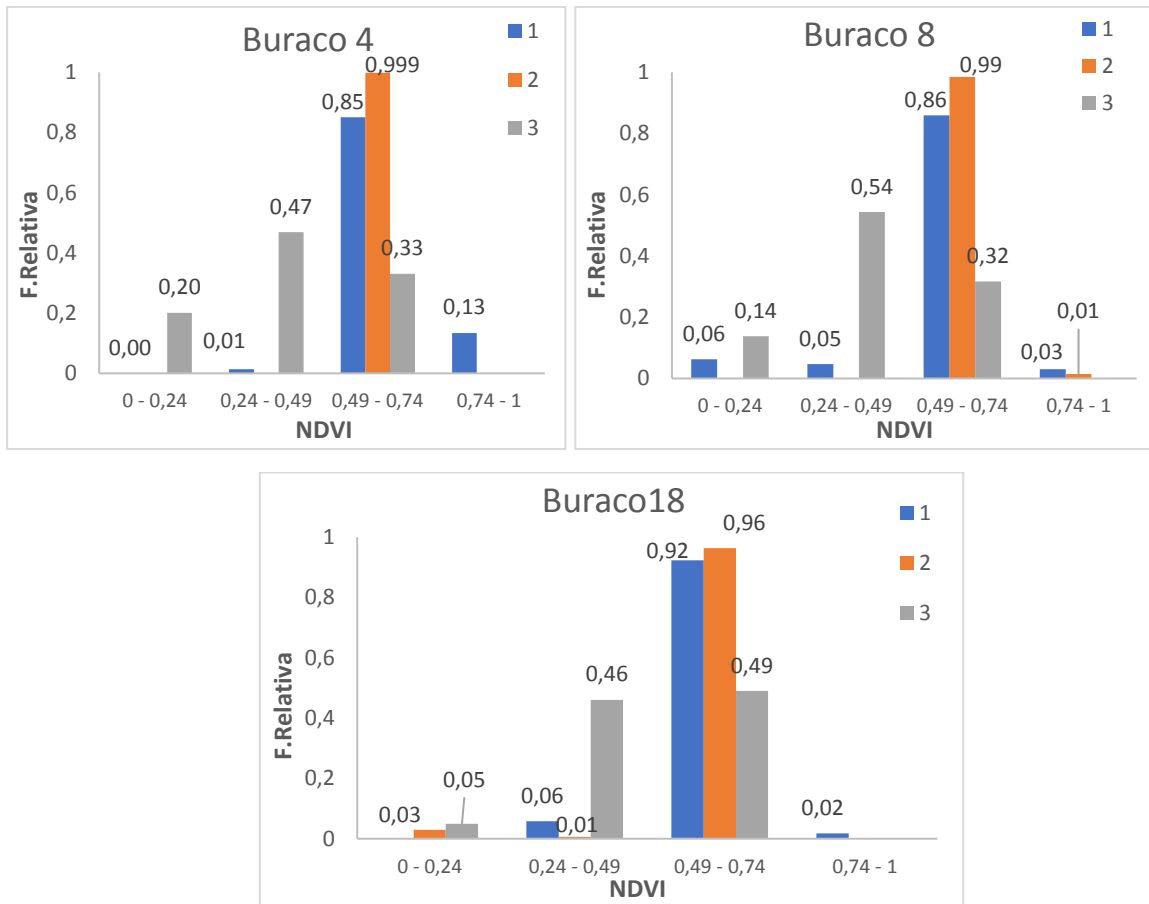


**Figura 5.14** - Frequência relativa dos valores NDVI no mês de abril.

No mês de abril é possível afirmar que o relvado de todos os buracos se apresenta em bom estado. No entanto, e através da Fig. 5.14 é perceptível que o Buraco4 é o que apresenta melhores condições. O intervalo de 0,49 – 0,74, apresenta uma frequência de 99% para a zona 1 e 2, sendo verificada uma descida na zona3 (freq. de 36%). Esta zona representa a envolvente ao buraco e consequentemente não requer o mesmo tipo de tratamento do resto do campo, resultando numa quebra de qualidade do relvado.

O Buraco8 e 18 estão com índices de qualidade mais baixos, sendo o Buraco8 o relvado em pior estado nesta época. O Buraco18 é o que apresenta uma maior uniformidade de resultados, já que todas as zonas estudadas apresentam frequências acima dos 85% na gama de valores 0,49-0,74.

- Maio



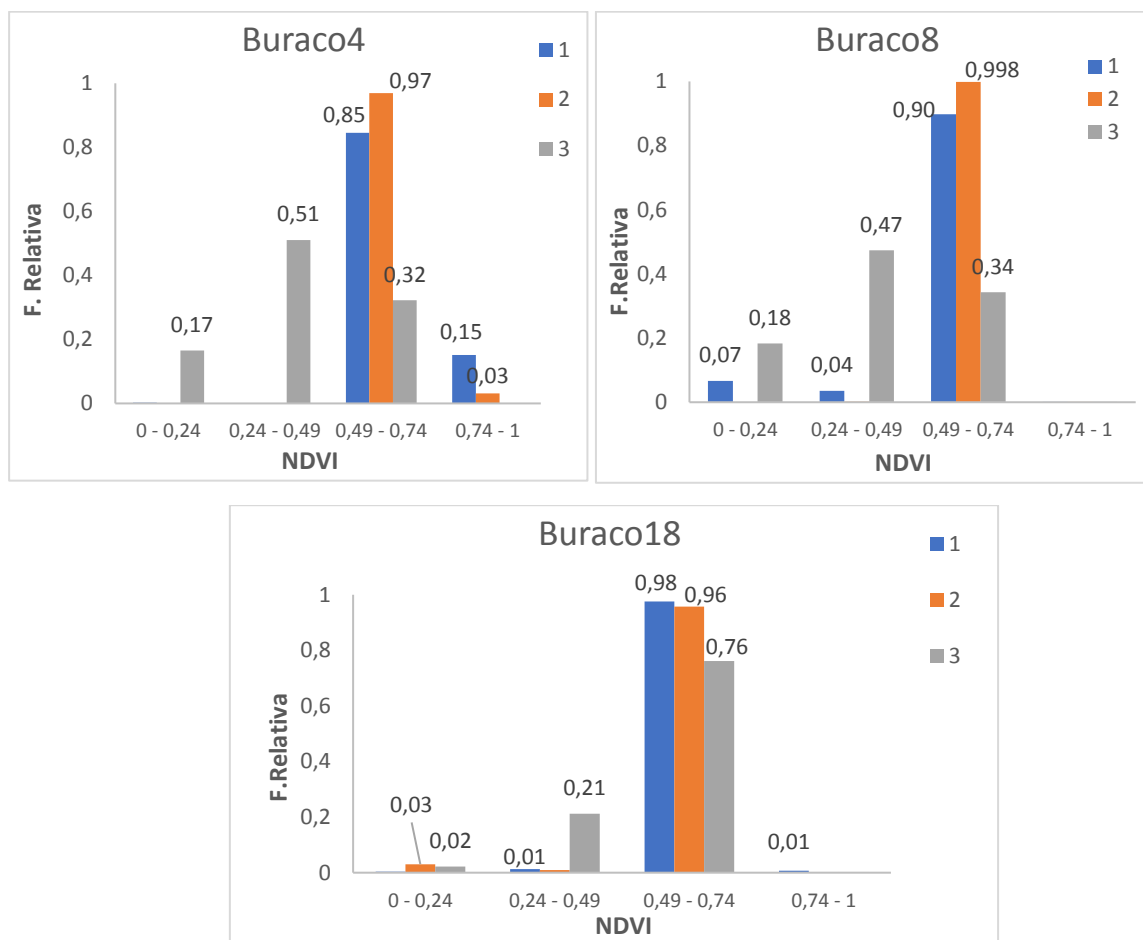
**Figura 5.15** - Frequência relativa dos valores NDVI no mês de maio.

No mês de maio é novamente notável uma ligeira superioridade na qualidade das zonas de análise do Buraco4, já que tanto a zona 1 como a zona 2 apresentam os valores mais elevados da época. Comparativamente a abril, verificou-se um aumento da qualidade do relvado na zona 1, demonstrado pelos 13% no intervalo 0,74 – 1. A zona 2 e 3 não ostentam grandes alterações, mantendo-se semelhante ao visualizado no mês de abril.

O Buraco8, comparativamente a abril, permanece igual na zona 1. Por sua vez, as zonas 2 e 3 revelam melhorias, sendo a da zona 2 mais significativa.

O Buraco18 possui valores superiores a 90% nas zonas 1 e 2, no entanto, a zona 3 apresentou um decréscimo de cerca de 40% de abril para maio.

- Junho

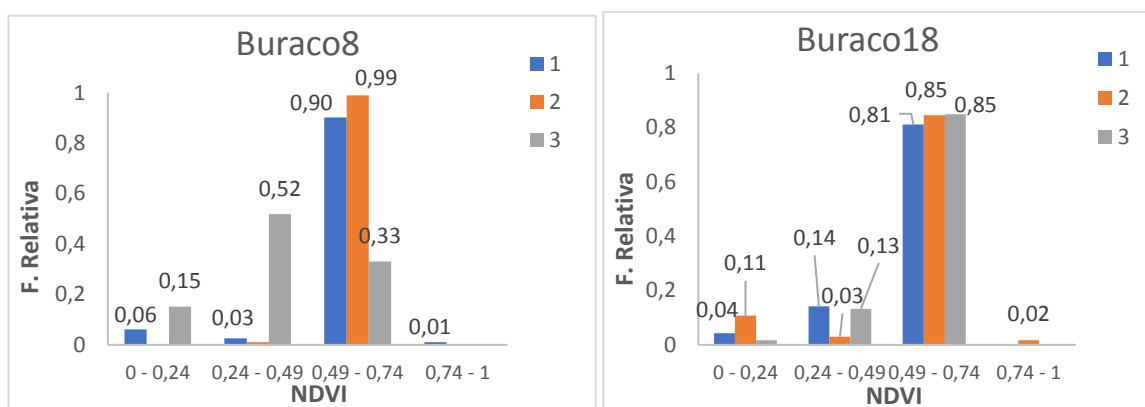


**Figura 5.16** - Frequência relativa dos valores NDVI no mês de junho.

Relativamente ao mês de junho, este exibe ótimos valores em todos os buracos, com os Buracos 4 e 8 a apresentarem resultados muito semelhantes aos verificados no mês de maio. Os dados demonstraram que o Buraco4 neste mês detinha áreas extremamente verdes, como é possível verificar a partir dos 15% registados na zona 1 no intervalo 0,75 – 1.

No Buraco18 verificou-se uma inversão de valores entre zonas, com a zona 1 a tornar-se a mais “verde”, o que não foi verificado nos meses anteriores. A zona 3 apresenta um aumento para números muito próximos dos registados no mês de abril.

- Julho



**Figura 5.17** - Frequência relativa dos valores NDVI no mês de julho.

Em julho só foram obtidos dados referentes ao Buraco8 e 18. A partir dos valores acima apresentados, é possível afirmar que o estado do Buraco8 estava muito semelhante ao mês anterior, constatando-se uma insignificante descida na zona 2.

O Buraco18 em julho atingiu os mínimos na zona 1 e 2 de toda a análise realizada, e em contrapartida, registou um aumento na zona 3 comparativamente a junho e abril. Contudo, pode-se afirmar que é durante esta época que o Buraco18 apresenta as piores condições.

Indo de encontro à análise realizada, verificou-se que é no mês de abril que o Buraco4 e 8 se apresentam em piores condições. O Buraco18 reflete o seu pior estado no mês de julho. Por outro lado, é no mês de junho que o vigor vegetativo atinge o máximo com uma diferença mínima para o mês de maio. A escolha de junho como o melhor mês deve-se essencialmente à maior frequência de valores de NDVI no intervalo de 0,74 – 1 (15%).

No que diz respeito às zonas em análise, facilmente se observa que em todas as situações as zonas 1 e 2 apresentaram valores de NDVI superiores à zona 3. Este acontecimento deve-se ao facto de a zona 3 representar uma área mais afastada do buraco (*rough*), não usufruindo do mesmo tratamento do restante relvado. Os resultados apresentados dão a entender que as áreas regadas e que requerem mais atenção apresentam valores superiores. Comparando as zonas 1 e 2, verificou-se que a área 2 possui na maioria dos casos estudados, valores mais altos, com exceção ao Buraco8 em abril e ao 18 em junho. Esta superioridade poderá estar relacionada com uma maior relevância de cuidados, visto que a zona 2 se situa no *fairway*.

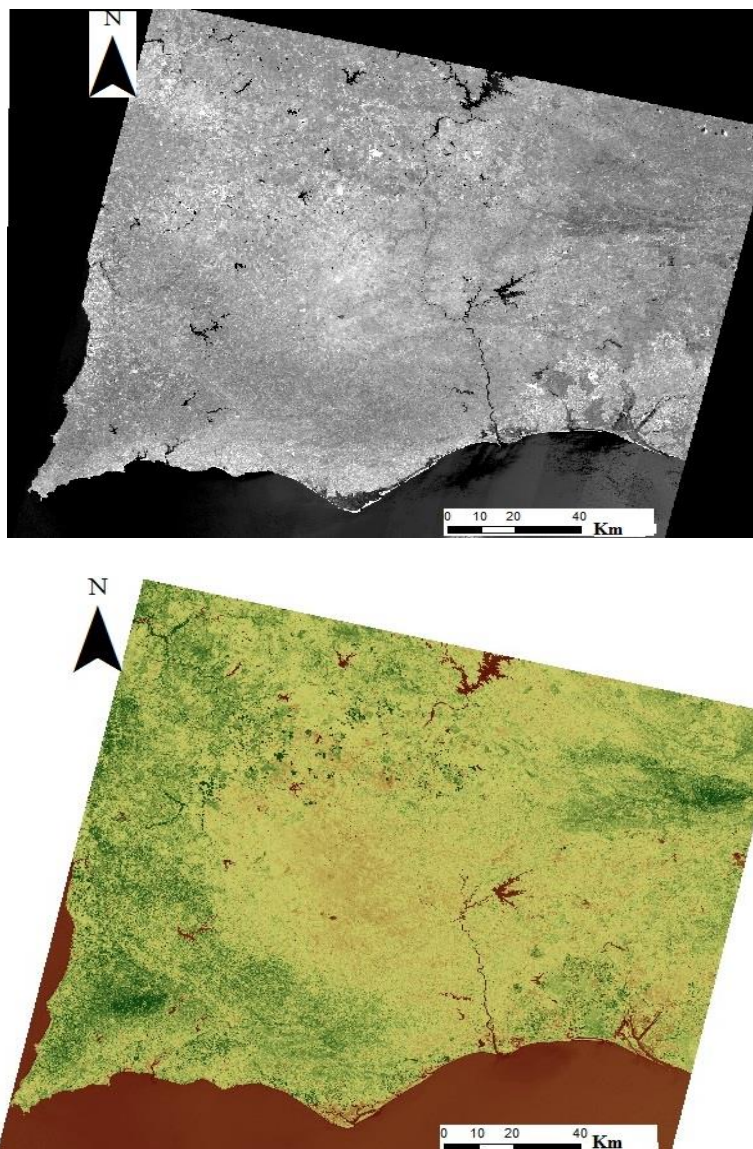
Após a observação dos resultados, é possível concluir que em nenhum dos meses o estado do relvado se apresenta idêntico. Tal ocorrência poderá estar relacionada com as necessidades hídricas, que nunca são iguais, assim como a eficiência da rega, que pode variar consoante as

condições meteorológicas apresentadas e com as condições de pressão. Todas estas alterações entre variáveis resultam numa alteração do estado da vegetação.

### 5.4.3 Índice de vegetação através de imagens satélite (Landsat)

A terceira parte do estudo acerca da deteção remota está relacionada com as imagens obtidas a partir do satélite Landsat 8 (vd. 4.5.3).

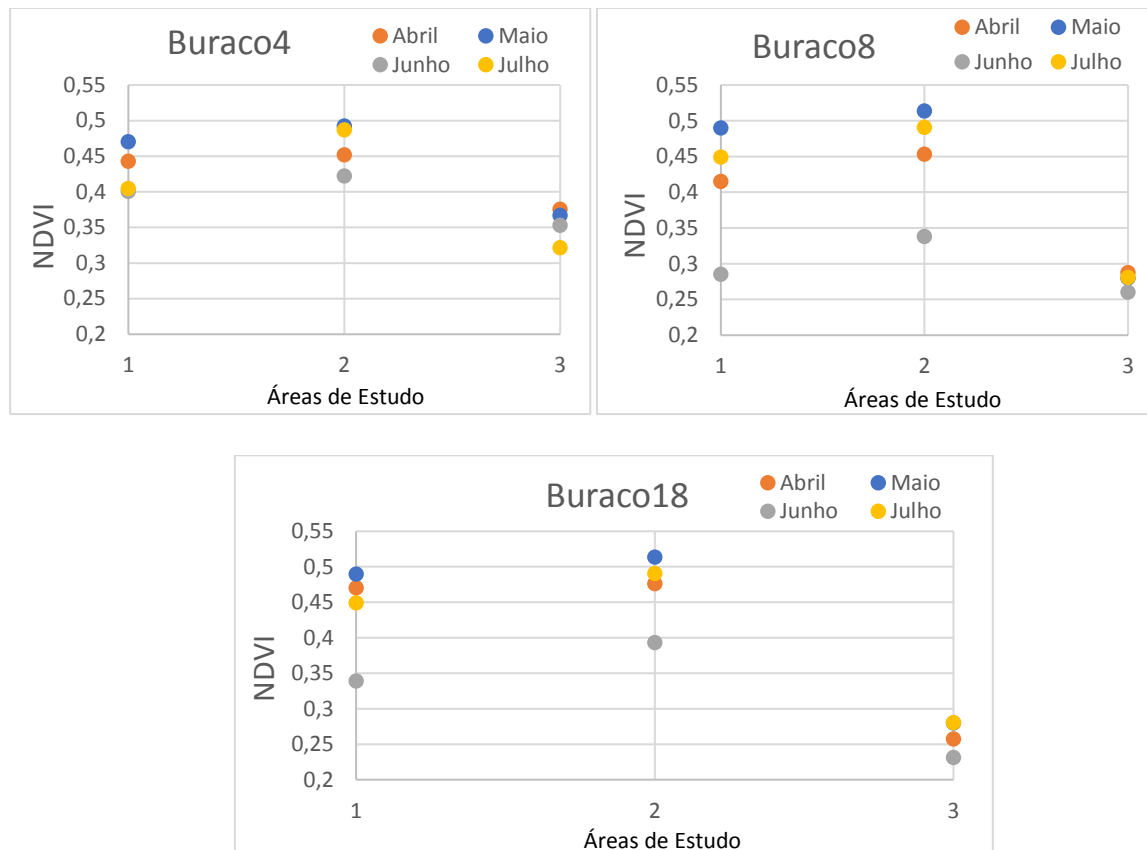
Na Fig.5.18 é apresentada uma das imagens obtidas por intermédio do satélite Landsat 8 na banda 5 (NIR) e o resultado ao fim de calculado o NDVI. A imagem apresentada é referente ao mês de julho.



**Figura 5.18** - Imagens adquiridas através do satélite Landsat 8 referentes à banda 5 (NIR) e ao cálculo de NDVI no mês de julho.

Como é possível visualizar a partir da Fig.5.18, os dados provenientes de satélite apresentam uma escala muito menor, e como tal uma área correspondente a 180 km x 185 km.

Na Fig.5.19, resultante do método apresentado em (vd. 4.5.4), é possível observar uma comparação de valores NDVI para os buracos em estudo em 4 alturas diferentes do ano: abril, maio, junho e julho.



**Figura 5.19** - Valores de NDVI para imagens adquiridas por intermédio do Landsat 8 no Buraco4,8 e 18.

De acordo com a Fig. 5.19, verificou-se que os valores de NDVI das imagens Landsat são menores do que aqueles alcançados a partir das imagens captadas pelo VANT. Os motivos para essa diferença passam pela utilização de sensores, alturas de voo e resoluções espaciais diferentes. Os valores de NDVI apresentam-se entre 0,25 e 0,55, o que vem reafirmar que a área estudada do campo de golfe não apresenta ausência de vegetação.

Segundo este método, o maior vigor da vegetação é atingido no mês de maio. Esta afirmação é sustentada pelo facto de os valores de NDVI em maio apresentarem uma média de 0,42, importância não alcançada pelos restantes meses. Além disso, é visível na Fig. 5.19 que os três buracos no mês de maio atingem sempre o máximo na zona 1 e 2.

No mês de abril, verificou-se uma média de valores de 0,40, que representa uma vantagem mínima sobre o mês julho, já que este possui um registro de 0,398. Devido a esta proximidade torna-se difícil destacar em qual dos meses é que os relvados se apresentam em melhores condições. Com um registro médio de 0,33, junho é o mês que apresenta o relvado em piores condições, exibindo valores muito abaixo dos registrados nos restantes espaços temporais, nomeadamente no Buraco8 e 18.

Relativamente à qualidade do relvado, o Buraco18 é o que apresenta melhores resultados na zona 1 e 2. Por sua vez, a zona 3, apresenta piores resultados devido ao pixel selecionado englobar uma pequena área de alcatrão diminuindo assim o valor de NDVI. Este contratempo não foi passível de ser solucionado, porque os pixéis do satélite Landsat 8 são muito grandes (30m x 30m) e acabam por englobar áreas que não apresentam interesse ao estudo.

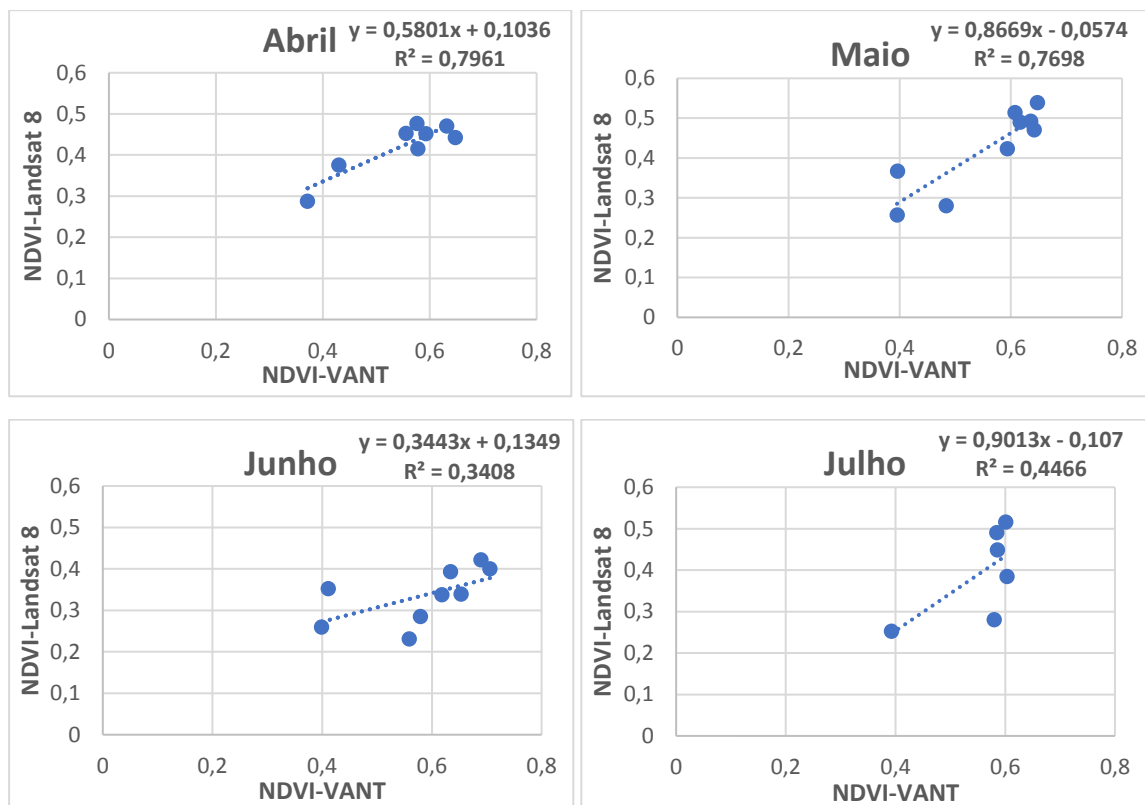
O Buraco4 e o Buraco8 possuem os melhores resultados na zona 2, revelando uma pequena superioridade sobre a zona 1. Já a zona 3 é a que apresenta valores mais baixos. Contudo, no Buraco8 a média da zona 3 é de 0,25 e no Buraco4 de 0,35. A diferença deve-se à circunstância de a zona 3 do Buraco4 estar mais próxima da área de jogo, o que implica que receba mais cuidados do que aqueles que são aplicados no Buraco8.

#### **5.4.4 Resultados da comparação entre VANT e Landsat**

Através de uma amostra de pixéis de NDVI obtida por dois métodos, imagens adquiridas através da câmara colocada no VANT e pelo Landsat 8, é possível analisar a correlação entre os valores dos três buracos em estudo.

Considerou-se que um coeficiente de correlação é moderado quando os valores são superiores a 0,40 e forte quando superiores a 0,70.

Nos gráficos apresentados na Fig. 5.20, é perceptível que as imagens aéreas adquiridas através dos dois sensores têm uma forte correlação no mês de abril e maio, com o coeficiente a registar valores de 0,79 e 0,76. Em junho e julho o coeficiente possui valores de 0,34 e 0,44 respetivamente, o que permite afirmar que nestes meses a relação entre os métodos é fraca.



**Figura 5.20** - Relação entre NDVI obtido de imagens aéreas adquiridas através do Landsat8 e de uma câmara colocada num VANT.

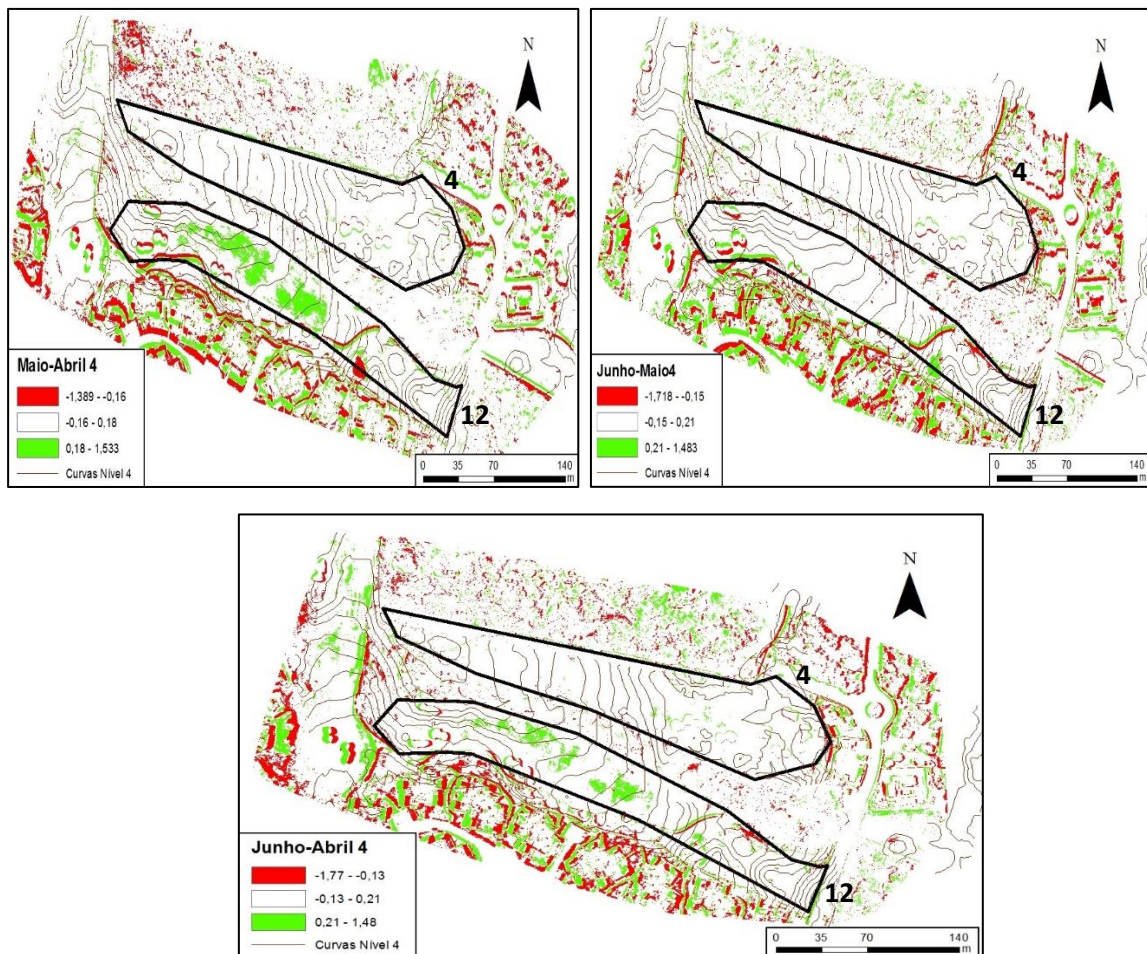
Segundo a Fig. 5.20, todos os meses possuem uma direção positiva, à medida que uma variável aumenta a outra segue o mesmo registo. É também possível verificar que o sensor Landsat 8 tem tendência a subestimar os valores de NDVI quando comparado com as imagens aéreas recolhidas a partir de um VANT.

Os melhores resultados da qualidade da relva alcançados em junho para as imagens do VANT, contrariam os obtidos com a imagem Landsat 8. Como a correlação entre os dois métodos em junho é fraca, esta divergência não deve ser considerada.

#### 5.4.5 Diferenciação das imagens obtidas por intermédio do VANT

Nas áreas onde a pesquisa assumiu uma maior preponderância, procedeu-se a uma diferenciação de imagens NDVI ao longo dos meses de abril, maio, junho e julho. Nas Fig. 5.21, 5.22 e 5.23 apresenta-se uma análise comparativa conducente à obtenção de trajetórias de mudança. As figuras mostram os mapas diferenciais resultantes dos pares temporais em análise referentes aos Buraco4, 8 e 18. Considerando que as zonas delimitadas dizem respeito aos buracos da área de jogo, foi estabelecido que os pixéis de cor verde demonstram um aumento do estado de saúde da vegetação; os pixéis sem coloração refletem os locais onde não ocorrem

transformações na cobertura do solo; e os pixéis de cor vermelha assinalam o decréscimo da vegetação (vd. 4.6.5).

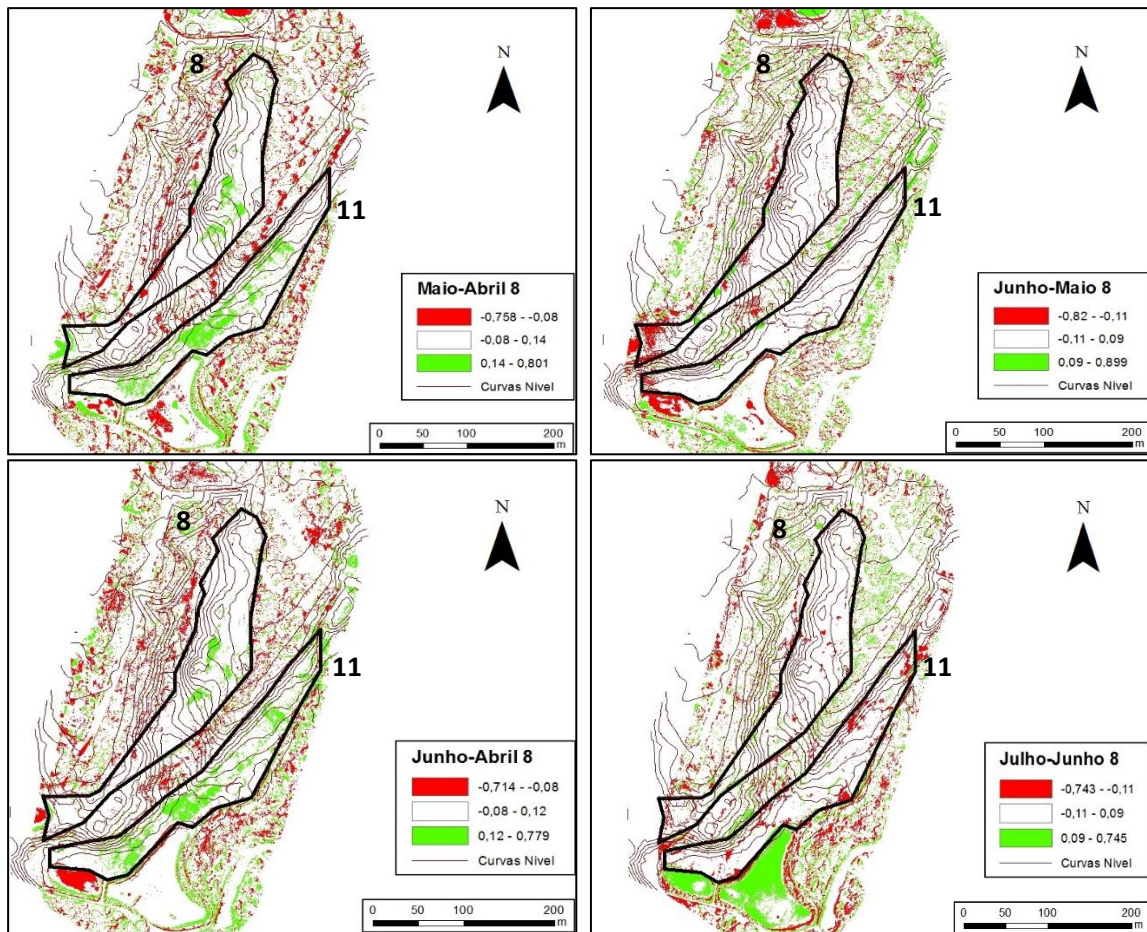


**Figura 5.21 - Diferenciação NDVI para o Buraco4.**

A Fig. 5.21 mostra que o Buraco4, área delimitada mais a norte, não apresenta alterações em nenhum dos pares de meses estudados. Já no Buraco12 (zona não estudada), verifica-se que há alterações na vitalidade do relvado, com variações mais significativas na comparação maio-abril e junho-abril. Estas alterações surgem numa zona central do relvado, como é visível através da cor verde.

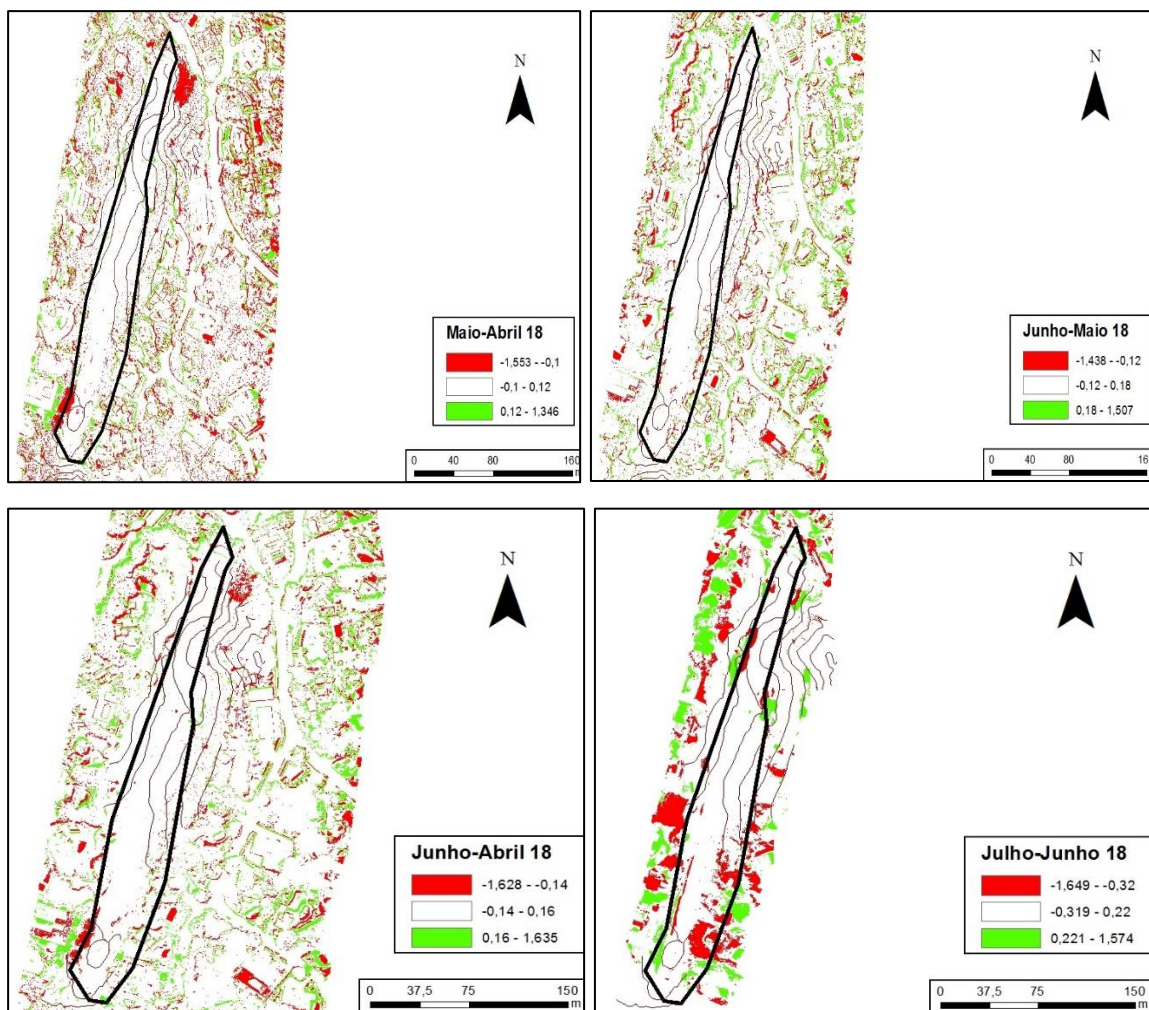
Considerando as áreas de ambos os buracos, é possível afirmar que houve um incremento da vegetação de 9% em maio e de 5% em junho comparativamente ao mês de abril, o que corresponde, respetivamente, a uma área de 2864 m<sup>2</sup> e de 1468 m<sup>2</sup>. Na relação junho-maio, não se verificaram grandes alterações, com a percentagem de decréscimo a ser semelhante à do aumento (3%).

Na Fig. 5.22 ocorre uma situação semelhante à apresentada na figura anterior. Devido à contiguidade entre buracos, o voo captou o Buraco8 e 11 onde o 8 está situado mais a oeste, possibilitando a realização de uma análise conjunta.



**Figura 5.22 - Diferenciação NDVI para o Buraco8.**

Também nesta figura, as principais diferenças são assinaladas nas comparações maio-abril e junho-abril. A partir das imagens visualiza-se que as alterações decorridas no Buraco11 são mais expressivas do que as registadas no Buraco8. No mês de maio, houve uma melhoria de 13% da vegetação, o equivalente a 4731 m<sup>2</sup>, revelando-se como a maior marca do estudo. O mês de junho apresentou uma melhoria de 12%, em que, a maioria das alterações foram verificadas no Buraco11. Já no par de comparação julho-junho, verificou-se um decréscimo da qualidade do relvado, como é visível através dos espaços vermelhos situados com maior preponderância na zona norte do Buraco11. Esta comparação revela que 3% do relvado melhorou e, em contrapartida, 7% piorou. No outro par de meses, junho e maio, não se verificaram grandes modificações, podendo afirmar-se que o relvado se manteve igual.



**Figura 5.23 - Diferenciação NDVI buraco18.**

Neste caso particular, a análise engloba exclusivamente a zona do Buraco18.

O Buraco18 na maior parte dos meses manteve o relvado ausente de alterações (Fig. 5.23), tanto que na zona delimitada só é visível uma mancha de cor branca, há exceção do par julho-junho. Neste espaço temporal, é notório na extremidade sul da área delimitada uma mancha vermelha, representativa de uma degradação do relvado. Estimou-se que a degradação do relvado representa cerca de 7%, o equivalente a aproximadamente 900 m<sup>2</sup>.

Realizando uma análise global, pode-se afirmar que maio e junho são os meses em que o campo de golfe se encontra em melhor estado, já que ambos apresentam um aumento da área verde quando comparados com os restantes meses. Quando comparados entre si, o resultado é caracterizado com a predominância da cor branca, o que significa que o relvado permanece muito próximo em ambas as épocas. Por outro lado, o mês de abril destaca-se pela negativa, sendo a época em que os relvados se encontram em piores condições, essencialmente nas áreas envolventes ao Buraco4 e 8. Estes resultados estão possivelmente relacionados com o facto de

o mês de maio registrar uma elevada precipitação (Fig. 5.4), correspondente a 26% da precipitação anual nesta região.

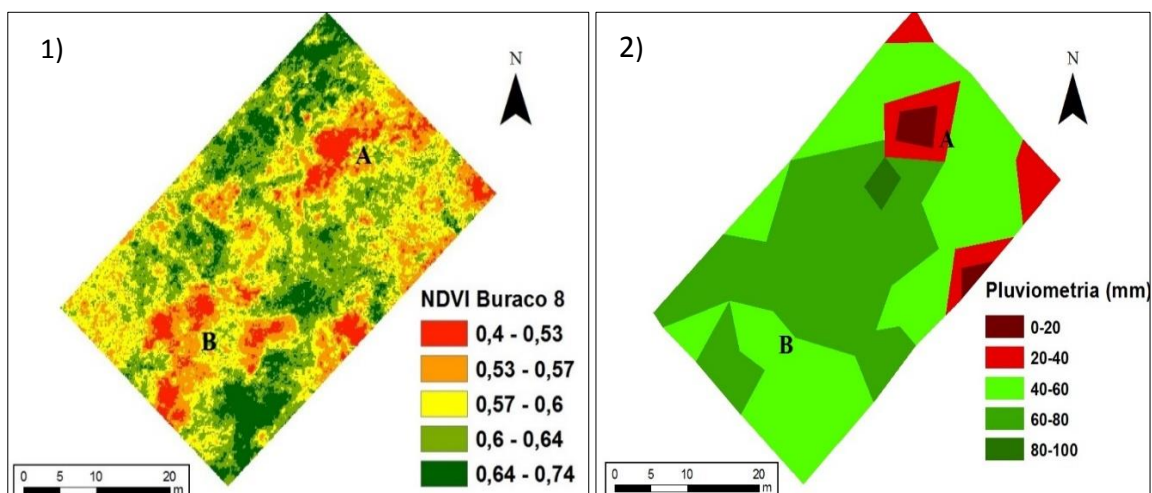
Outro ponto passível de ser destacado através desta análise, é o facto de nos buracos do estudo (4,8 e 18) não se terem registado alterações acentuadas. Por sinal, nos locais de jogo próximos, nomeadamente o Buraco11 e 12, encontraram-se melhorias no estado da vegetação. Através das curvas de nível inseridas nas imagens, é possível compreender que tanto o Buraco11 como o 12 estão situados numa cota inferior relativamente ao Buraco4 e 8. Assim, presume-se que as águas provenientes das chuvas e da rega distribuídas sobre o relvado infiltram-se no solo, e através de um movimento descendente deslocam-se até atingirem uma zona onde os vazios se encontram saturados, o que resulta numa maior disponibilidade de água nessas áreas.

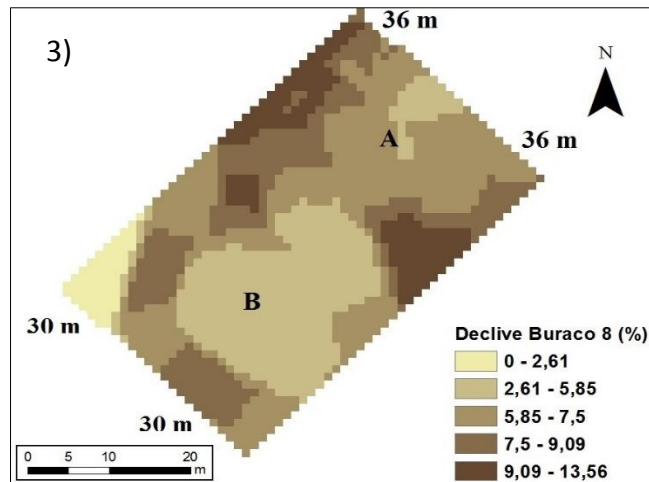
Relativamente ao Buraco18, pondera-se que a ligeira degradação do relvado no mês de julho, esteja relacionada com uma alteração da estratégia de rega, já que as necessidades hídricas da vegetação neste mês são inferiores a junho (Fig 5.1).

#### 5.4.6 A rega e o estado do relvado

Nesta etapa, pretende-se relacionar a distribuição da água pelo sistema de rega (pluviometria) com o estado vegetativo do relvado no mês de julho de 2016. Para a análise da distribuição da água consideraram-se os volumes recolhidos nas seis avaliações de rega (Fig. 5.8 e 5.9) e o valor de NDVI para a zona em que foram efetuadas as avaliações de rega, tanto no Buraco8 como no 18.

As Figuras 5.24 e 5.25 dividem-se em três mosaicos: 1) mapa de NDVI; 2) mapa de pluviometria produzido pela rega; 3) mapa do declive. Juntamente com o declive atribuíram-se as respetivas alturas de cada zona, como é visível nos vértices dos retângulos.

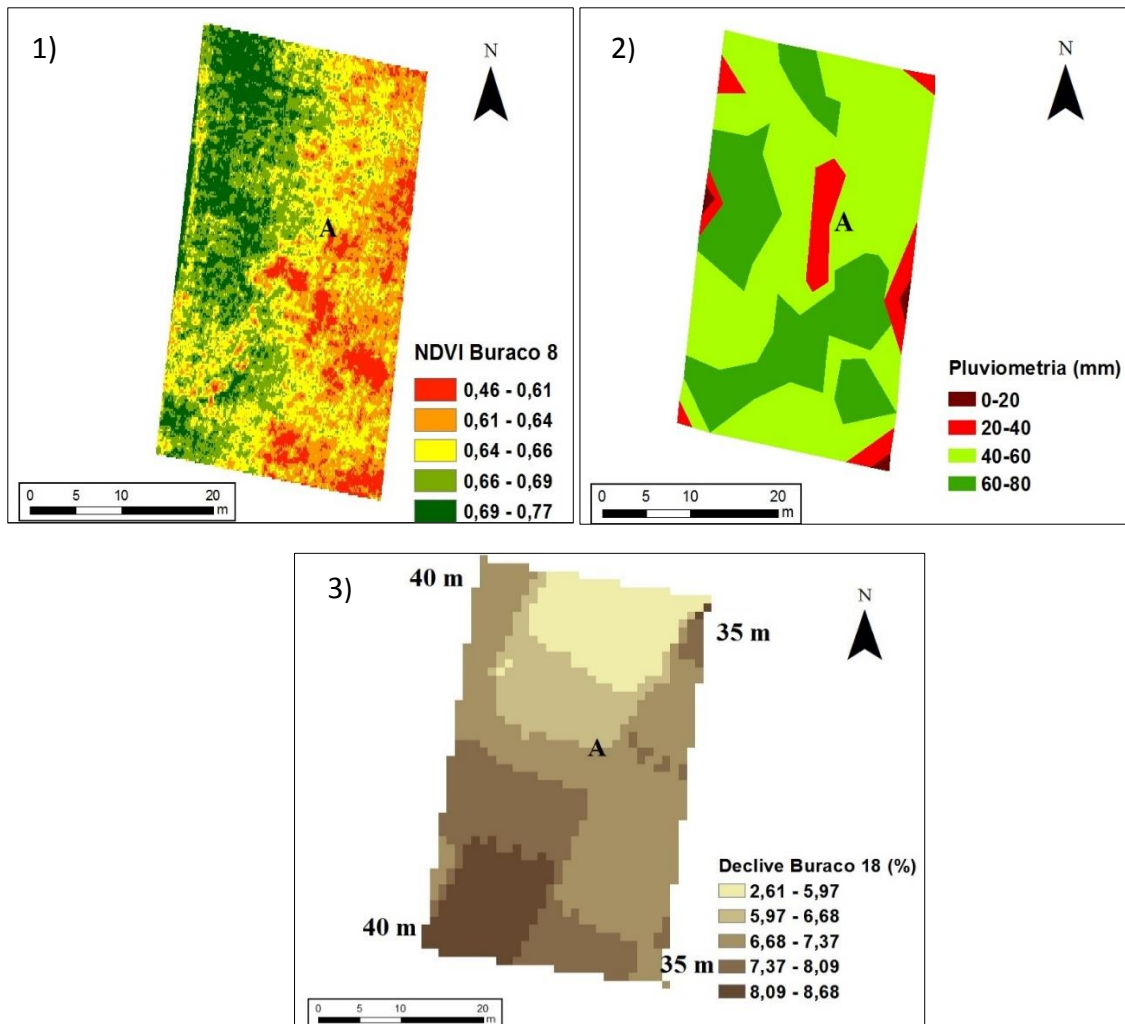




**Figura 5.24** – Mapas de NDVI (1), da uniformidade de distribuição da água de rega (2) e do declive (3) na zona de avaliação da rega do Buraco8.

A Fig. 5.24 mostra um mapa de valores de NDVI que variam entre 0,4 – 0,74. O relvado apresenta-se com uma boa qualidade visual, com exceção de duas zonas (**A** e **B**) que têm valores mais baixos de NDVI (0,4 e 0,53). Em **A**, o baixo valor de NDVI está associado ao menor volume de água aplicado, devido à falta de uniformidade de distribuição da água (0 – 40 ml). As manchas vermelhas verificadas junto ao vértice estão também relacionadas com a baixa disponibilidade de água na zona, como é possível constatar através dos dados referentes à pluviometria (mosaico2 Fig5.24).

Em **B**, os baixos valores de NDVI possivelmente estão associados ao declive (mosaico3 Fig.5.24). O extremo norte apresenta-se como o ponto mais alto, 36 metros e o extremo sul como o mais baixo, 30m. Assim, a escorrência da água ocorre de **A** para **B**, ou seja, ponto mais alto para ponto mais baixo. Dado a drenagem ser insuficiente, e a água disponível ser superior à capacidade de campo, resulta numa acumulação de água na zona **B** prejudicando, assim, a qualidade visual do relvado.



**Figura 5.25** – Mapa de NDVI (1), da uniformidade de distribuição da água de rega (2) e do declive (3) na zona de avaliação da rega no Buraco18.

Constatou-se que a área do Buraco18 apresenta um relvado em boa qualidade, onde os valores de NDVI variam entre 0,4 e 0,77. Porém, é visível a partir do mosaico1 da Fig.5.25 que o relvado possui duas zonas distintas, a área mais a oeste com uma cor verde, e outra mais a este em tons de vermelho, correspondente a um decréscimo do vigor vegetativo.

No mosaico 2 da Fig.5.25 na zona **A**, associa-se um baixo valor de NDVI ao menor volume de água aplicado (20 – 40 ml). As outras regiões vermelhas, situadas nas extremidades do retângulo poderão apresentar valores baixos devido aos coletores terem sido colocados demasiado próximos dos aspersores.

No entanto, a degradação do espaço de oeste para este está relacionada com o declive (mosaico 3 Fig. 5.25). O relvado situado mais a oeste apresenta-se com uma altura de 40 metros, e o de este com 35 metros, ou seja, o deslocamento da água ocorre de oeste para este, originando o acúmulo na região mais baixa. Dado a drenagem ser insuficiente e se conjugarmos isso à

presença de sombras das árvores em este (informação que não foi passível de ser apresentada através destas imagens) obtemos um relvado com uma evapotranspiração reduzida e conseqüentemente uma menor necessidade de água, prejudicando assim a qualidade visual do relvado.

## 6 Conclusões e trabalhos futuros

### 6.1 Conclusão

A condução e a manutenção da rega são indissociáveis da qualidade e sustentabilidade de um espaço verde. Estes procedimentos devem ser atendidos aquando a elaboração do projeto de rega do espaço verde, prevendo medidas de manutenção que requeiram menos recursos económicos, humanos e naturais e que garantam a qualidade visual mínima requerida, minimizando os impactos ambientais resultantes da rega.

Este trabalho teve como objetivos principais quantificar as necessidades hídricas de um espaço verde com diferentes microclimas, avaliar a eficiência do sistema de rega instalado e monitorizar o estado vegetativo do relvado através de técnicas de deteção remota. Este conhecimento permite estabelecer relações de microescala (dados da evapotranspiração e uniformidade de distribuição da água) com a macroescala (índice de vegetação), visando gerir os recursos de forma expedita e precisa, assegurando assim, a sustentabilidade da rega dos espaços verdes em zonas mediterrâneas.

Num campo de golfe no Algarve foram monitorizados diferentes microclimas com a mesma cobertura vegetal de solo, através de duas estações meteorológicas. As estações permitiram adquirir os parâmetros climáticos e analisar as estratégias de rega implementadas. A informação recolhida apresentou uma elevada precisão, dado que se procedeu de acordo com as normas do método e se efetuou uma validação cuidada dos dados. No entanto, a aplicação desta metodologia não é simples, pois requer técnicos com qualificações para usar os sensores e as metodologias necessárias, revelando-se assim limitada a sua utilização para a maioria da população relacionada com atividades agrícolas.

As necessidades hídricas da paisagem variaram bastante consoante o mês do ano em causa, com os meses de junho e julho (4 – 5,5 mm/d) a serem os mais exigentes e os meses de dezembro, janeiro e fevereiro (0,6 – 1,2 mm/d) os menos exigentes. O microclima ( $K_{mc}$ ) variou ligeiramente entre as zonas avaliadas (0,94 e 1,00), o que demonstra que as condições meteorológicas são muito próximas em ambos os locais de estudo.

Das avaliações realizadas ao sistema de rega em funcionamento resultaram valores de uniformidade de distribuição inferiores ao recomendado pela bibliografia. Por este motivo registou-se excesso e défice de aplicação de água de rega em certas zonas das áreas estudadas, originando uma diminuição da qualidade do relvado e perdas de água e fertilizantes devido à percolação.

A análise da gestão de rega deverá ser atualizada com regularidade para que a condução e monitorização das práticas de rega, possam ser facilmente ajustadas às condições de projeto e às necessidades hídricas do espaço verde. A revisão constante dos indicadores de desempenho pode resultar numa poupança de recursos naturais e económicos.

A aquisição de imagens aéreas, através das técnicas de deteção remota, revelou-se útil no estudo da qualidade visual do espaço verde. Da análise das imagens aéreas foi possível verificar que o relvado não permanece igual ao nenhum dos meses avaliados. Dos métodos de avaliação utilizados, o da qualidade dos pixéis demonstrou ser superior na análise da qualidade do relvado numa área específica, possibilitando conhecer com exatidão o valor de NDVI. Por outro lado, o da diferenciação revelou-se menos detalhado, permitindo, no entanto, uma avaliação global do estado do relvado.

As imagens adquiridas por meio de uma câmara instalada num VANT e através do satélite Landsat 8 não apresentaram resultados semelhantes. Segundo as imagens captadas pelo VANT, junho assume-se como o mês em que o espaço verde se apresenta com melhores condições visuais, e de acordo com a informação recolhida pelo Landsat 8 as condições do relvado mostraram-se superiores no mês de maio e inferiores no mês de junho. Esta divergência de resultados não era esperada, e pode ser justificada pela ocorrência de uma anomalia meteorológica, nomeadamente, a presença de nuvens no dia da aquisição da imagem Landsat 8 no mês de junho, subestimando os valores de NDVI.

Assim, para uma análise mais detalhada e permanente de um espaço verde deve-se utilizar imagens aéreas provenientes de uma câmara instalada num VANT. O satélite Landsat 8 revelou falta de precisão devido à subestimação dos valores de NDVI causados por uma resolução espacial de 30m x 30m. Por sua vez, e visto que as imagens apenas são captadas quinzenalmente, existe a incapacidade em fornecer dados diários ou noutra intervalo qualquer. A isto acresce a dificuldade de avaliar o estado do relvado sempre que as imagens são captadas em dias com nuvens. Desta forma, e uma vez que o VANT está disponível para quando o utilizador pretender, é possível, de acordo com o método seguido ao longo do presente trabalho obter dados capazes de sustentar uma tomada de decisão.

O cruzamento de todos os dados recolhidos permitiu avaliar o potencial de poupança de água do campo de golfe. Ao ser analisada a precipitação no mês de maio de 2016 (202 mm) com a taxa de evapotranspiração atual (3,09 mm/d), estima-se que o relvado neste mês não apresenta carência de água, já que a quantidade de água disponível é superior às necessidades hídricas.

Nos meses seguintes, junho e julho, a precipitação foi nula e a taxa de evapotranspiração atual aumentou. No entanto, através do cálculo do NDVI, foi determinado que o relvado em junho apresenta valores superiores aos de maio, o que indica uma qualidade do espaço verde superior. Ao relacionarem-se as variáveis, supõe-se que o sistema de rega tem condições de sofrer melhorias relativamente à poupança de água. Isto porque, o melhor estado do relvado não foi condizente com o mês em que a precipitação registou os valores mais elevados, transparecendo que a rega, para manter e aumentar a qualidade visual do relvado nos restantes meses, teve de dispensar uma quantidade de água superior às necessidades hídricas.

Através dos valores de NDVI, foi possível identificar várias zonas no relvado com distintas necessidades hídricas, quer pelo declive do terreno, quer pelos diferentes microclimas. No entanto, a dotação de rega adotada mostrou-se igual para todas as zonas. Existindo assim, um potencial para a otimização do uso da água em espaços verdes com recurso às novas tecnologias.

## **6.2 Desenvolvimentos futuros**

Este trabalho foi um ponto de partida para melhor entender como relacionar várias variáveis agronómicas, nomeadamente as necessidades hídricas, a eficiência da rega e a os índices de vegetação. Os métodos aplicados ao longo do estudo mostraram ser adequados à tomada de apoio de decisão dos gestores da rega dos espaços verdes.

Em trabalhos futuros, deve-se ponderar a colocação de estações meteorológicas em mais locais do campo de golfe para um maior conhecimento sobre os microclimas existentes no campo. Relativamente à deteção remota, aconselho a que se realizem voos com maior frequência, nomeadamente com intervalos de quinze dias, com o objetivo de ajustar melhor as características do relvado com as necessidades hídricas.

## 7 Bibliografia

Allen, R., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop Evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements* FAO Irrigation and Drainage; Paper N° 56. FAO, Roma

Allen, R. G., Wright, J. L., Pruitt, W. O., Pereira, L. S., & Jensen., M. E. (2007). Water requirements. In: G.J. Hoffman, R.G. Evans, M.E. Jensen, D.L. Martin, R.L. Ellitot (eds.) *Design and Operation of Farm Irrigation Systems* (2nd Edition), ASABE, St. Joseph, MI, pp. 208–288.

Aggarwal, S. (2004). Principles of remote sensing. *Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology*, 23–38.

Águas, Ana (2012). *Estratégias de gesta, para a rega dos espaços verdes da zona ribeirinha na cidade de Silves*. Tese de Mestrado. Universidade do Algarve-Faro.

Association, U. S. G. (2012). *Rules of Golf*. Obtido de: <https://www.usga.org/content/dam/usga/pdf/2015/2016>

Baptista, J.M., Almeida, M.C., Vieira, P., Silva, A.C.M., Ribeiro, R, Fernando, R.M., Serafim, A., Alves, I e Cameira, M.R., 2001. Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água (Versão preliminar). Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, Instituto da Água, Lisboa. 204 pp.

Barret, E. C., & Curtis, L. F. (2013). *Introduction to Environmental Remote Sensing*. Routledge.

Barret, J., Vinchesi, B., Dobson, R., Roche, P., & Zoldoske, D. (2004). *Golf Course Irrigation - Environmental Design and Management Practice*. New Jersey: John Wiley & Son, Inc.

Brundtland, G. H. (1987). Our Common Future - Call for action. *Environmental Conservation*, 14(4), 291-294.

Brundtland, G. H. (1998). Reaching out for world health. *Science*, 280(5372), 2027-2027.

Cabral, F.C., Telles, G.R, 2005. *A Árvore em Portugal*. Assírio & Alvim, Lisboa. 203 pp.

Canon (2016) . *PowerShot SX260HS*. Obtido a 26 de Setembro de 2016, de: [http://www.canon.pt/support/consumer\\_products/products/cameras/digital\\_compact/powershot\\_sx\\_series/powershot\\_sx260\\_hs.aspx?type=manuals&language=](http://www.canon.pt/support/consumer_products/products/cameras/digital_compact/powershot_sx_series/powershot_sx260_hs.aspx?type=manuals&language=)

Canada, N.R. (2015). *Fundamentals of Remote Sensing*. Gouvernement of Canada.

Castel, J. R., Bautista, I., Ramos, C., & Cruz, G. (1987). Evapotranspiration and irrigation efficiency of mature orange orchards in Valencia (Spain). *Irrigation and Drainage Systems*, 1(3), 205-217.

Connor, R. (2015). The United Nations world water development report 2015: *Water for a sustainable world* (Vol.1). UNESCO Publishing.

Correia, P. (2009). Planeamento e Gestão de Água. *Manual de Boas Práticas Ambientais para Campos de Golfe* (75-85). Lisboa: Ministério do Ambiente do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.

Costello, L.R. Matheny, N.P. Clark, J.R. Jones, K. S. (2000). A Guide to Estimating Irrigation Water Needs of Landscape Plantings in California. *The Landscape Coefficient Method and WUCOLS III*. University of California, California Department of Water Resource y US Bureau of Reclamation.

Decreto Lei nº. 58/2005 de 29 de Dezembro. Lei da água

Denzer, R. (2005). Generic integration of environmental decision support systems- state of the arte. *Environmental Modelling & Software*, 20(10), 1217-1223.

Development, G. C. (2014). From North Cape to Cape Town. *KPMG - Golf Benchmark*.

Doorenbos, J., & Pruitt, W. O. (1977). Guidelines for predicting crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper*, 24.

Do Ó, A. (2013). *Gestão do Risco de Seca no Algarve*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.

Dunnet, N. e Clayden, A., 2007. *Rain Gardens: Managing Water Sustainably in the Garden and Designed Landscape*. Timber Press, Portland, Oregon. 188 pp.

DJI. (2015). *DJI - GROUND STATION*. Obtido em maio de 2015 , in: Ground Station Wireless Data-link User Manual: <http://www.dji.com/pc-ground-station/download>

EarthExplorer (2016). *USGS science for a changing world*. Obtido em 22 de Outubro de 2016 de: <https://earthexplorer.usgs.gov/>

Ebert, M. & Morais, S. (Março de 2009). Conceito de um campo de golfe e as suas origens. *Manual de Boas Práticas Ambientais para Campos de Golfe*. Lisboa: Ministério do Ambiente do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, pp 31-43.

Erena, M., Montesinos, S., A.L. Francos., & J.F, Berthoumieu. (2012). *The use of remote sensing and geographic information systems for irrigation management in Southwest Europe*. CIHEAM-IMIDA-SUDOE Interreg IVB (EU-ERDF).

ERSAR. *Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos*. Obtido em 24 de Outubro de 2016 de: <http://www.ersar.pt/website/ViewContent.aspx?GenericContentId=0&SubFolderPath=%5CRoot%5CContents%5CSitio%5CENTIDADES+do+sector%5CServicos%5CGrandesNumeros&Section=Entidades+do+sector&FolderPath=%5CRoot%5CContents%5CSitio%5CENTIDADES+do+sector%5CServicos>

Esri (2010). *Esri Demographic Update Methodoly*. Obtido em 30 de Agosto de 2016 de: [www.esri.com](http://www.esri.com)

Fadigas, Leonel de Sousa (1993); *A Natureza na Cidade - Uma perspectiva para a sua integração no tecido urbano*. Tese de Doutoramento. Lisboa : Instituto Superior de Agronomia

FAO. *Food and Agriculture Organization of The United Nations*. Obtido em 31 de Outubro de 2016 de: <http://www.fao.org/home/en/>

Fandiño, M., Olmedo, J. L., Martínez, E. M., Valladares, J., Paredes, P., Rey, B. J., & Pereira, L. S. (2015). Assessing and modelling water use and the partition of evapotranspiration of Irrigated hop (*Humulus Lupulus*), and relations of transpiration with hops yield and alpha-acids. *Industrial Crops and Products*, 77, 204–217.

Ferreira, C., Garcia, T., Ferreira, Ó., & Dias, J. (2005). Sistemas de Informação Geográfica e Detecção Remota para a análise da variação das áreas construídas nas ilhas barreira da ria formosa (Portugal). *Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa: Perspectivas de Gestão e Sustentabilidade da Zonas Costeira, Maputo*.

Fidélis, Teresa (2001). *Planeamento Territorial e Ambiente. O caso da Ria de Aveiro*. Cascais: Princípia.

Flood, N. (2014). Continuity of reflectance data between landsat-7 ETM+ and landsat-8 OLI, for both top-of-atmosphere and surface reflectance: A study in the australian landscape. *Remote Sensing*, 6(9), 7952–7970.

G.Evans, R., Wu, I.-P., & Smajstrala, A. G. (2007). Microirrigation Systems. Em *Design and Operation of Farm Irrigation Systems 2nd Edition* (pp. 632-683). American Society of Agricultural and Biological Engineers.

Golf, P. *Portugal Golf - Tudo sobre o Golf*. Obtido a 4 de Novembro de 2016 de: <http://www.portugalgolf.pt/>

Greenwood, F. (2015). New Technologies For Property Rights, Human Right, and Global Development a Primer. *Drones and Aerial Observation*, pp. 35 - 45.

Pereira, L.S. (2007). *Uso eficiente da água e métodos de rega*. Instituto Superior de Agronomia. Lisboa.

Hively, W. D., Lang, M., McCarty, G. W., Keppler, J., Sadeghi, a., & McConnell, L. L. (2009). Using satellite remote sensing to estimate winter cover crop nutrient uptake efficiency. *Journal of Soil and Water Conservation*, 64(5), 303–313.

Irrigation Association. (2005). *Turf and Landscape Irrigation Best Management Practices*. *Water Management Committe of the Irrigation Association*.

Inc, Irrisoft. (10 de Janeiro de 2004). *Landscape Water Management*. Obtido de [www.weatherreach.com](http://www.weatherreach.com)

IUCN/UNEP/WWF. (1991). *Caring for the Earth. Environment: A Strategy for Sustainable Living*.

- Jensen, M., & Wright, J. (1978). The Role of Evapotranspiration Models in Irrigation Scheduling. *American Society of Agricultural Engineers*, 21(1), 82-87.
- Jensen, M., Allen, R., Elliott, R., Walter, I. A., Itenfisu, D., Mecham, B., ...& Spofford, T. (2000). *ASCE's standardized reference evapotranspiration equation*.
- Jensen, M., Burman, R., & Allen, R. (1974). *Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements*. New York: ASCE.
- Johnson, L. F., & Trout, T. J. (2012). Satellite NDVI assisted monitoring of vegetable crop evapotranspiration in California's San Joaquin Valley. *Remote Sensing*, 4(2), 439–455.
- Johnson, T. D., & Belitz, K. (2012). A remote sensing approach for estimating the location and rate of urban irrigation in semi-arid climates. *Journal of Hydrology*, 414, 86–98.
- Johnston, K., Hoef, J. M. Ver, Krivorucho, K., & Lucas, N. (2001). *Using ArcGIS Geostatistical Analyst™* (Vol. 380). Redlands: Esri.
- Keller, J., & Bliesner, R. D. (1990). *Sprinkle and trickle Irrigation*.
- Ke, Y., Im, J., Lee, J., Gong, H., & Ryu, Y. (2015). Characteristics of Landsat 8 OLI-derived NDVI by comparison with multiple satellite sensors and in-situ observations. *Remote Sensing of Environment*, 164, 298–313.
- Keith, D. J., Walker, H. a., & Paul, J. F. (2002). Terrestrial vegetation greenness of the Lower Galveston Bay watershed from satellite remote sensing and its relation to water use and the salinity regime of the Galveston Bay Estuary (USA). *International Journal of Remote Sensing*, 23(5), 905–916.
- Li, P., Jiang, L., & Feng, Z. (2013). Cross-comparison of vegetation indices derived from Landsat-7 enhanced thematic mapper plus (ETM+) and Landsat-8 operational land imager (OLI) sensors. *Remote Sensing*, 6(1), 310–329.
- Li, F., & Lyons, T. (9 de Julho de 1998). Estimation of Regional Evapotranspiration through Remote Sensing. *Journal of Applied Meteorology*, pp. 1644-1654.
- Lillesand, T., Kiefer, M., Chipman, R., & Jonathan, W. (2004). *Remote Sensing and Image Interpretation*. New Jersey: John Wiley and Sons.
- Mahiny, A. S., & Turner, B. J. (2007). A comparison of four common atmospheric correction methods. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 73(4), 361–368.
- Mancino, G., Nolè, A., Ripullone, F., & Ferrara, A. (2014). Landsat TM imagery and NDVI differencing to detect vegetation change: Assessing natural forest expansion in Basilicata, southern Italy. *IForest-Biogeosciences and Forestry*, 7(2), 75–84.
- Meneses, P. R., & Almeida, T. De. (2012). *Introdução ao processamento de imagem de sensoriamento remoto*. Brasília:UNB/CNPq.
- Merriam, J. L., & Keller, J. (1978). *Farm irrigation system evaluation: A guide for management*.

- Mishra, V., Cruise, J. F., Mecikalski, J. R., Hain, C. R., & Anderson, M. C. (2013). A remote-sensing driven tool for estimating crop stress and yields. *Remote Sensing*, 5(7), 3331–3356.
- Monteiro, J. P. (2006). *O Ambiente, a Água e a Energia no Golfe*. Clube de Golfe dos Economistas.
- Manuel, R. d. (2015). *Contribuição da detecção remota para a prospecção de jazigos de Sn, W e Au na região de Góis*. Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade Nova de Lisboa. Obtido em : <https://run.unl.pt/handle/10362/16434>
- Mateos, L., González-Dugo, M.P., Testi, L., & Villalobos, F.J. (2013). Monitoring evapotranspiration of irrigated crops using crop coefficients derived from time series of satellite images. I. Method Validation. *Agricultural Water Management*, 125, 81–91.
- NASA (2016). *Earth Observatory*. Obtido em dezembro de 2016 de: [http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring\\_vegetation\\_2.php](http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.php).
- Pedras, C. M. G. (2003). *Sistema de Apoio à Decisão para o Projecto e Análise do Funcionamento de Sistemas de Rega sob Pressão (rega localizada)* Tese de Doutoramento. Universidade do Algarve-Faro.
- Pedras, C. M. G., Águas, A., & Valín, I. (20 de Setembro de 2012). Estratégias de Gestão dos Recursos Hídricos para a Rega dos Espaços Verdes Públicos. *Congresso Nacional de Rega e Drenagem*.
- Pedras, C. M. G., Fernandez, H., Lança, R., Valín, I.,... & Martins, F. (27 de Fevereiro de 2016). Detecção Remota Aplicada à Rega dos Espaços Verdes Urbanos. 2º Encontro Internacional do CEGOT.
- Pedras, C. M. G., Fernandez, H., Martins, F., Lança, R., & Valín, I. (2015). *Estratégias para a gestão da água em espaços verdes: Jardins complexos vs relvados*. Faro.
- Pereira, L. S. (2004). *Necessidades de Água e Métodos de Rega*. Lisboa: Publicações Europa - América.
- Pereira, L. S., Paredes, P., Sholpankulov, E. D., Inchenkova, O. P., Teodoro, P. R., & Horst, M. G. (2008). Irrigation scheduling strategies for cotton to cope with water scarcity in the Fergana Valley, Central Asia. *Agricultural Water Management*, 96(5), 723–735.
- Pereira, L. S., Allen, R. G., Smith, M., & Raes, D. (2015). Crop evapotranspiration estimation with FAO56: Past and future. *Agricultural Water Management*, 147, 4–20.
- Pereira, L. S., Ramos, T. B., Gonçalves, M. C., Martins, J. C., (2016). *Características de retenção de água no solo para utilização na rega das culturas*. Lisboa-Oeiras: Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária.
- Pereira, L. S. (2001). Desempenho de sistemas de rega. *Ingeniería Del Agua*, 8(3), 329.

Pôças, I., Cunha, M., Marcal, A. R. S., & Pereira, L. S. (2011). An evaluation of changes in a mountainous rural landscape of Northeast Portugal using remotely sensed data. *Landscape and Urban Planning*, 101(3), 253–261.

Pix4D (2016). *Pix4Dmapper 2.2 Manual*. Obtido a 8 de Agosto de 2016 de : <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/204272989-Offline-Getting-Started-and-Manual-pdf-#gsc.tab=0>

Pôças, I., Cunha, M., & Pereira, L. S. (2011). Remote sensing based indicators of changes in a mountain rural landscape of Northeast Portugal. *Applied Geography*, 31(3), 871–880.

Pôças, I., Cunha, M., Pereira, L. S., & Allen, R. G. (2012). Using remote sensing energy balance and evapotranspiration to characterize montane landscape vegetation with focus on grass and pasture lands. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 21(1), 159–172.

Ponzoni, F. J. (2002). Sensoriamento Remoto No Estudo Da Vegetação: Diagnosticando a Mata Atlântica. *São José dos Campos, Brasil: INPE*.

Richards, J. a., & Jia, X. (2006). *Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction*. New York.

Saadi, S., Simonneaux, V., Boulet, G., Raimbault, B., Mougenot, B., Fanise, P., ... Lili-Chabaane, Z. (2015). Monitoring irrigation consumption using high resolution NDVI image time series: Calibration and validation in the Kairouan plain (Tunisia). *Remote Sensing*, 7(10), 13005–13028.

Savva, A. P., & Fenken, K. (2002). *Crop Water Requirements and Irrigation Scheduling. Irrigation Manual* (Vol. 4). Harare: FAO Sub-Regional Office for East and Southern Africa.

Silva, C. A. da, & Silva, C. (2005). Avaliação de Uniformidade em Sistemas de Irrigação Localizada. *Revista Científica Eletrônica de Agronomia*, (IV).

Snyder, R. L., Pedras, C., Montazar, A., Henry, J. M., & Ackley, D. (2015). Advances in ET-based landscape irrigation management. *Agricultural Water Management*, 147, 187–197.

Snyder, R. L., Spano, D., Duce, P., & Paw, K. T. (2002). Using surface renewal analysis to develop a fire risk index. In 5th Symposium on Fire and Forest Meteorology, Orlando, FL, USA.

Sobrino, J. A., Jiménez-Muñoz, J. C., & Paolini, L. (2004). Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sensing of Environment*, 90(4), 434–440.

Sole, M. ;, & Weyandt, C. (2007, January). Best Management Practices for the Enhancement of Environmental Quality on Florida Golf Courses.

Sabins, F. (1996). *Remote Sensing : Principles and Interpretation*. New York: W.H. Freeman & Company.

Shweta, & Krishna. (Fevereiro de 2015). Selection of the Best Method of ETo - Estimation other Than Penman-Monteith and their Application for the Humid Subtropical Region. *Agricultural Research*, 4(2), 215-219.

Silva, A., Correia, O., Pais, M., Silva, J., & Tenreiro, J. (2009). Condicionantes relativas a relvados. Em A. P. Ambiente, *Manual de Boas Práticas Ambientais para Campos de Golfe* (pp. 130-150). Lisboa: Ministério do Ambiente do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.

Vilar, P., Navarro, A., & Rolim, J. (2012). Utilização de Imagens de Detecção Remota para Monitorização das Culturas e Estimação das Necessidades de Rega. *Ordem dos Engenheiros - Conferência Nacional de Cartografia e Geodisia*.

Weier, J., & Herring, D. (2000). *Measuring Vegetation (NDVI & EVI)*. Obtido de Earth Observatory NASA em Novembro de 2016, de: <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/>

Weng, Q. (2010). *Remote Sensing and GIS Integration: theories, methods, and applications*. New York: McGraw-Hill.