



UNIVERSIDADE DE ÉVORA

ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

DEPARTAMENTOS DE ENGENHARIA RURAL E FITOTECNIA

**Aplicação de tecnologias de informação
geográfica à gestão e manutenção de relvados
desportivos**

David Gomes Frade

Orientação: Professor Doutor José Rafael Marques
da Silva e Professor Doutor Carlos Alberto Correia
Guerrero

Mestrado em Engenharia Agronómica

Dissertação

Évora, 2013

Agradecimentos

Ao Prof. Doutor José Rafael Marques da Silva quero expressar um sincero agradecimento, não só pela orientação, apoio, disponibilidade e interesse, como também pela rigorosa revisão e críticas indispensáveis à realização desta dissertação de mestrado.

Ao Prof. Doutor Carlos Alberto Correia Guerrero quero expressar um agradecimento muito especial por todo o apoio, pela cuidada revisão, mas também por tonar esta dissertação possível ao arranjar um local para este estudo e ainda por colocar ao meu dispor o laboratório de solos e resíduos orgânicos da Universidade do Algarve.

Ao Eng. Luís Rebelo, o meu grande agradecimento pela colaboração na recolha de dados no *Ocean Golf Course*, pela disponibilização de dados essenciais para este trabalho e claro também pelo apoio dado durante o tempo que lá passamos.

Agradeço aos responsáveis pela manutenção do *Ocean Golf Course* por autorizarem e permitirem que este trabalho se torna-se uma realidade.

Um especial agradecimento a todos os meus amigos pelo apoio e interesse demonstrado durante este período da minha vida.

À minha família, em particular os meus pais e avó, agradeço encarecidamente todo o apoio, ajuda, incentivo e compreensão ao longo de todo este processo, e em especial à minha mãe, por tornar possível a concretização de toda a minha formação académica.

À minha namorada Andreia, o meu maior agradecimento por todo o apoio, força e motivação desde o primeiro dia, sem o qual este percurso não teria sido tão fácil de ultrapassar.

Agradeço à Escola de Ciências e Tecnologia, Departamento de Engenharia Rural e Fitotecnia, por possibilitar a realização do Curso de Mestrado.

Por fim um agradecimento a todos os não mencionados, que de algum modo contribuíram para a realização desta dissertação.

*“Anyone who has never made a mistake
has never tried anything new”*

Albert Einstein

Aplicação de tecnologias de informação geográfica à gestão e manutenção de relvados desportivos

Resumo

O turismo representa uma das atividades económicas mais importantes na economia portuguesa e um dos seus principais produtos é a prática de golfe. A gestão e manutenção de um campo de golfe representam um grande desafio agronómico e ambiental pois consome diversos recursos naturais, nomeadamente a água. A variabilidade espacial e temporal do solo, clima, plantas e necessidades hídricas são um desafio para a agricultura moderna e relvados. A agricultura de precisão tem evoluído no sentido de aperfeiçoar a gestão localizada baseada na obtenção de informação localizada. Essa gestão é possível através de aplicações específicas de mapeamento da condutividade elétrica aparente (CEa), do NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e do teor de água no solo, associando sensores e diversas Tecnologias de Informação Geográfica (TIG). Neste sentido o objetivo deste estudo foi o de perceber como estas aplicações de mapeamento podem contribuir para uma melhor gestão e manutenção de relvados desportivos.

Palavras-chave: campo de golfe; condutividade elétrica aparente (CEa); GNSS; índice de vegetação; NDVI; rega; relvado; sensores.

Application of geographic information technologies for the management and maintenance of sports turf

Abstract

Tourism is one of the most important economic activities in the Portuguese economy and one of its main products is golf. The management and maintenance of a golf course represents an agronomic and environmental challenge. It consumes diverse natural resources, including water. Spatial and temporal variation of soil, climate, plants and irrigation requirements are challenges for modern agriculture and complex turfgrass sites. Precision agriculture (PA) evolved to improve site-specific management based on obtaining site-specific information. This management is possible through specific applications such as mapping parameters such as the apparent electrical conductivity (ECa), NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) and soil water content, combining sensors and Geographic Information Technologies (GIT). In this sense, the purpose of this study involves realizing how these mapping applications can contribute to better management and maintenance of sports turf.

Keywords: apparent electrical conductivity (ECa); GNSS; golf course; irrigation; NDVI; sensors; turfgrass; vegetation index.

Acrónimos

CEa – Condutividade Elétrica aparente

CEe – Condutividade elétrica de extrato saturado

ET₀ - evapotranspiração de referência

GNSS – *Global Navigation Satellite Systems*

NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index*

SIG – Sistemas de Informação Geográfica

TIG – Tecnologias de Informação Geográfica

USGA – *United States of Golf Association*

WAAS - *Wide Area Augmentation System*

ZHT – Zona homogénea de tratamento

Índice de Texto

Agradecimentos.....	II
Resumo.....	IV
Abstract.....	V
Acrónimos.....	VI
1. Introdução.....	6
2. Importância do Golfe como produto turístico.....	9
3. O campo de Golfe.....	11
4. Gestão e manutenção de um campo de Golfe.....	13
4.1. Problemas comuns e práticas culturais inerentes.....	13
4.1.1. <i>Thatch</i>	14
4.1.2. Compactação/pisoteio/tráfego.....	16
4.1.3. Salinidade.....	19
4.2. Gestão da rega.....	21
4.2.1. O sistema de rega.....	22
4.2.2. Relação solo-água-plantas.....	23
4.2.3. Influência topografia.....	27
4.3 Impacto ambiental.....	28
5. Tecnologias de Informação Geográfica (TIG).....	31
5.1. <i>Global Navigation Satellite System</i> (GNSS).....	31
5.2. Sistemas de Informação Geográfica (SIG).....	32
6. Variabilidade espacial.....	33
6.1. Variabilidade espacial e o sistema de rega.....	34
7. Aplicações específicas de mapeamento.....	37
7.1. Teor de água no solo.....	37
7.2. Índice de vegetação – NDVI.....	38
7.2.1. Medição de NDVI.....	38
7.3. Condutividade elétrica aparente.....	40
7.3.1. Fatores que influenciam a CEa.....	40
7.3.2. Indução eletromagnética.....	41
7.3.3. Condutividade elétrica aparente na agricultura.....	42
7.4. Aplicações de campo em relvados desportivos.....	43

8. Material e Métodos.....	45
8.1. Descrição do local de amostragem.....	45
8.1.1. Caracterização edáfica.....	46
8.1.2. Caracterização climatológica.....	47
8.1.3. Caracterização do sistema de rega.....	47
8.2. Colheita de dados.....	48
8.3. Análise e manipulação de dados.....	50
8.4. Colheita e análises de solo.....	52
8.4.1 Tratamento estatístico dos resultados.....	52
9. Resultados e Discussão.....	53
9.1. Colheita de dados e elaboração de cartas.....	53
9.2. Índice de vegetação – NDVI.....	58
9.2.1. Cartas de NDVI.....	58
9.2.2. O NDVI em função do afastamento dos aspersores.....	62
9.3. Condutividade elétrica aparente.....	64
9.3.1. Cartas de CEa.....	64
9.4. Água, planta, solo e doenças.....	69
10. Considerações finais.....	76
11. Bibliografia.....	79
12. Anexos.....	88

Índice de Tabelas

Tabela 1: Tendência para acumulação de <i>thatch</i> de algumas espécies de relva.....	15
Tabela 2: condutividade elétrica dos solos em extrato saturado.....	19
Tabela 3: Tolerância à salinidade de diferentes espécies de relva. Valor a partir do qual as raízes são afetadas.....	21
Tabela 4: Tolerância ao stress hídrico de algumas espécies.....	26
Tabela 5: Variabilidade espacial que influencia a programação de regas e uso eficiente da água.....	35
Tabela 6: Área média dos locais de estudo.....	45
Tabela 7: Espécies de relvas e alturas de corte no local de estudo.....	45
Tabela 8: Parâmetros (efeito pepita, alcance, patamar parcial e patamar) utilizados para descrever os modelos esféricos dos semivariogramas.....	53
Tabela 9: Dados estatísticos estimados pelo processo de validação cruzada para os dados de condutividade elétrica aparente (CEa), que permitem saber o quão bem os modelos gerados preveem os valores desconhecidos.....	56
Tabela 10: Dados estatísticos estimados pelo processo de validação cruzada para os dados de NDVI, que permitem saber o quão bem os modelos gerados preveem os valores desconhecidos.....	56
Tabela 11: dados estatísticos estimados pelo processo de validação cruzada para os dados do teor de água no solo do buraco 8, que permitem saber o quão bem os modelos gerados preveem os valores desconhecidos.....	57
Tabela 12: Valores médios de NDVI em função do afastamento dos aspersores nos buracos 8, 9, 5, desativado e no campo de futebol, ou seja em torno dos aspersores a diferentes intervalos de distância.....	63
Tabela 13: Intervalo de valores médios de resistividade e condutividade elétrica do solo para diferentes tipos de solo.....	64
Tabela 14: Tabela ANOVA do teste estatístico relativamente ao teor de água no solo em torno do aspersor 2 no buraco 5, com um nível de confiança de 95%.....	73
Tabela 15: Tabela ANOVA do teste estatístico relativamente à condutividade elétrica em pasta de saturação em torno do aspersor 2 no buraco 5, com um nível de confiança de 95%.....	75

Índice de Figuras

Figura 1: Distribuição dos campos de golfe no Algarve.....	9
Figura 2: Diferentes componentes de um buraco de golfe. O buraco de golfe é composto por diferentes zonas, os <i>greens</i> , <i>collars</i> , <i>approaches</i> , <i>surrounds</i> , <i>tees</i> , <i>fairways</i> , <i>bunkers</i> e <i>roughs</i>	11
Figura 3: (a) Perfil em profundidade do solo de um <i>green</i> segundo as especificações da USGA. (b) Esquema do sistema de drenagem de um <i>green</i>	12
Figura 4: (a) Camada de <i>thatch</i> num relvado. (b) Á medida que o <i>thatch</i> se acumula, as raízes do relvado tendem a crescer nessa camada, resultando num relvado mais fraco e mais suscetível a injúrias.....	14
Figura 5: Consumos anuais de água para rega de 10 campos de golfe no Algarve.....	30
Figura 6: Espectro de reflectância típico de uma planta em stress e uma saudável.....	39
Figura 7: As três vias de condutância elétrica para medições de condutividade elétrica aparente (CEa). 1) via da fase sólida-líquida, 2) via da fase líquida e 3) via da fase sólida.....	40
Figura 8: Imagem de satélite do local a realizar o estudo. A) buraco 8; B) buraco desativado; C) buraco 9; D) buraco 5; E) campo de futebol.....	46
Figura 9: (a) Utilitário Gator adaptado para o transporte do sensor OptRx, modelo ACS430, sincronizado com um GPS Trimble Geoexplorer 6000 <i>series</i> , GeoXH. (b) sensor de indução eletromagnética DUALEM-1, utilizado nas medições de CEa.....	49
Figura 10: (a) Sensor OptRx, modelo ACS430; (b) conjunto sensor/sonda TDR IMKO TRIME-FM com uma sonda P3-3 rod (160 mm); (c) GPS Trimble Geoexplorer 6000 <i>series</i> , GeoXH.....	50
Figura 11: Semivariograma da condutividade elétrica aparente, incluindo a curva do modelo esférico ajustado do buraco 9.....	54
Figura 12: Relação linear entre os valores previstos e os valores medidos da condutividade elétrica aparente do buraco 8 (a) e do NDVI do buraco 8 (b).....	58
Figura 13: Carta de NDVI do buraco 8.....	59
Figura 14: Carta de NDVI do buraco 9.....	59
Figura 15: Carta de NDVI do buraco 5.....	60
Figura 16: Carta de NDVI do buraco desativado.....	61
Figura 17: Carta de NDVI do campo de futebol.....	61
Figura 18: Carta de condutividade elétrica aparente (CEa) do buraco 9. Zonas homogéneas de tratamento (1, 2, 3, 4 e 5) delineadas com base na CEa.....	65
Figura 19: Carta de condutividade elétrica aparente (CEa) do buraco 8. Zonas homogéneas de tratamento (6, 7, 8 e 9) delineadas com base na CEa.....	66
Figura 20: Carta de condutividade elétrica aparente (CEa) do buraco desativado. Zonas homogéneas de tratamento (10, 11 e 12) delineadas com base na CEa.....	67
Figura 21: Carta de condutividade elétrica aparente (CEa) do campo de futebol. Zonas homogéneas de tratamento (16, 17 e 18) delineadas com base na CEa.....	67

Figura 22: Carta de condutividade elétrica aparente (CEa) do buraco 5. Zonas homogêneas de tratamento (13, 14 e 15) delineadas com base na CEa.....	68
Figura 23: Comportamento do NDVI e CEa em função da distância em redor de cinco aspersores, em zonas distintas dos locais de amostragem.....	69
Figura 24: Carta do teor de humidade no solo, a uma profundidade de 7 a 10 cm, no buraco 8.....	70
Figura 25: Medições da espessura do <i>thatch</i> nos <i>roughs</i> (a), <i>fairway</i> (b) e <i>green</i> (c) do buraco 9. E análise dos diferentes tipos de solo.....	71
Figura 26: Teor de água no solo em função do afastamento do aspersor 2 no buraco 5, ou seja em torno do aspersor a diferentes intervalos de distância.....	72
Figura 27: Condutividade elétrica em pasta de saturação (CEe) em função do afastamento do aspersor 2 no buraco 5, ou seja em torno do aspersor a diferentes intervalos de distância.....	74

1. Introdução

O turismo é uma das atividades económicas com maior relevo na economia portuguesa. A prática de golfe é um dos seus principais produtos, fundamental para a consolidação de um turismo de excelência. Atualmente o número de praticantes desta modalidade excede os 60 milhões em todo o mundo (Wray, 2003), contudo a nível nacional é no Algarve que a prática de golfe é mais representativa. Esta modalidade é fundamental para uma região que se movimenta fortemente em torno do turismo, atraindo anualmente inúmeros turistas, contrariando assim a sazonalidade do mesmo. A prática de golfe é portanto fundamental para o desenvolvimento da economia local e consequentemente para a criação de postos de trabalho.

A manutenção e gestão de relvados desportivos ou ainda a produção de relva, envolvem diversas práticas culturais e ainda a gestão do parque de máquinas, fatores de produção e recursos humanos, em parte muito semelhante à agricultura. É contudo num campo de golfe que podemos encontrar o exemplo mais complexo de manutenção e gestão de relvados. Esta modalidade é composta por diversas áreas distintas, que diferem nas características edáficas, nos tipos de relva, na intensidade de tráfego, nas práticas culturais e na intensidade de manutenção, entre outras.

À semelhança da agricultura, a gestão e manutenção de um campo de golfe representa um grande desafio agronómico e ambiental. Como tal tem associados à sua manutenção inúmeros custos, essenciais para uma manutenção tão específica e direcionada para o cumprimento dos parâmetros mínimos exigidos pelo jogo.

A gestão da rega é uma prática essencial na manutenção de um relvado de excelência. Para uma rega eficiente e precisa devem ser considerados diversos fatores, como o sistema de rega, a relação solo-água-plantas ou ainda a topografia local. A compactação do solo, elevado teor de sais no solo ou ainda a formação de *thatch* (camada intermédia de material vegetal que se desenvolve entre a vegetação verde e a superfície do solo), são problemas comuns num campo de golfe. Devem portanto ser considerados na gestão da rega, uma vez que afetam de forma significativa a distribuição e teor de água no solo disponível para a planta, podendo implicar consequentemente condições nefastas para o relvado.

O golfe consome de forma excessiva diversos recursos naturais, nomeadamente a água. É portanto fundamental uma gestão eficiente dos recursos na manutenção dos campos de golfe. É necessária tornar esta atividade não só economicamente mais

competitiva, mas também mais sustentável, diminuindo os “inputs” (ex.: água, adubos, fitofármacos, eletricidade, combustíveis, entre outros) e, conseqüentemente, a redução do impacto ambiental e dos custos associados.

O desenvolvimento dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e do *Global Navigation Satellite System* (GNSS) permitem atualmente pensar numa parcela agrícola ou numa unidade de gestão, não como uma unidade de tratamento homogéneo mas sim heterogéneo, que varia no espaço e no tempo. A grande variabilidade espacial existente em campos de golfe, a nível das diferentes propriedades/características do solo e na qualidade/stress do relvado pode ser monitorizada e melhor compreendida através do uso da informação georreferenciada, permitindo assim efetuar uma gestão diferenciada dos *inputs*.

O índice de vegetação, em especial o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), tem sido utilizado (Krum, 2008; Carrow et al., 2010) como indicador do stress das plantas, uma vez que se correlaciona com a qualidade da relva. Por outro lado a CEa (Condutividade Eléctrica aparente do solo) tem sido largamente utilizada na identificação da variabilidade espacial de diversas propriedades do solo (Corwin et al., 2003b; Padhi e Misra, 2011) ou ainda na análise da distribuição espacial da água no solo. A CEa correlaciona-se com diversas propriedades físico-químicas do solo, tornando-se assim fundamental para a gestão eficiente de diversos fatores de produção. O teor de água no solo tem também sido largamente utilizado (Krum, 2008; Carrow et al., 2010; Lailhacar e Dukes, 2010) para mapear a variabilidade espacial nas propriedades do solo, quando medido à capacidade de campo.

A combinação destas aplicações específicas de mapeamento com as diversas Tecnologias de Informação Geográfica (TIG) tem mostrado ser uma ferramenta útil no universo da Agricultura de Precisão. A Agricultura de Precisão, e em paralelo a gestão de precisão em relvados desportivos, dependem da tecnologia avançada dos sensores, do uso de GNSS e de aplicações de SIG para analisar e mostrar os inúmeros dados colhidos.

Neste contexto o objetivo geral deste trabalho, foi o de testar a aplicação de diversas Tecnologia de Informação Geográfica (TIG), nomeadamente Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e *Global Navigation Satellite System* (GNSS) na gestão de relvados desportivos por forma a aumentar a sua eficiência agronómica, económica e ambiental. Este estudo teve lugar no prestigiado campo de golfe *Ocean Golf Course*,

construído em Vale do Lobo, Algarve (freguesia de Almancil, concelho de Loulé), um dos mais importantes empreendimentos de luxo da Europa.

Os objetivos específicos do trabalho de Dissertação de mestrado foram:

- Georreferenciação e criação de informação geográfica (cartas) para compreender a variabilidade espacial existente e identificar problemas como: incorreto dimensionamento e/ou gestão da rega, doenças e pragas;
- Delineamento e caracterização de zonas homogéneas de tratamento ou unidades específicas de gestão em função da CEa do solo;
- Perceber como aplicações específicas de mapeamento (CEa, NDVI, teor de água no solo) em relvados desportivos podem ajudar na sua gestão e manutenção.

2. Importância do Golfe como produto turístico

O turismo representa uma das atividades económicas mais importantes na economia portuguesa e um dos seus principais produtos é a prática de golfe (Turismo de Portugal, I.P., 2007). Segundo o Turismo de Portugal, IP (2012), o golfe é fundamental para a consolidação de um turismo de excelência e logo não deve ser considerado apenas um desporto, mas como um produto turístico.

Em 2003 o número mundial de golfistas excedia os 61 milhões (Wray, 2003). O golfe tem tido um crescimento notável, com 25.000 campos em todo o mundo e cerca de 5000 só na Europa (Wheeler e Nauright, 2006). O mercado de golfe em Portugal regista 82 campos de golfe, sendo o Algarve o principal destino de golfe, representando 45,12% da oferta em Portugal (Turismo de Portugal, I.P., 2007). Atualmente existem 37 (Fig. 1) campos de golfe na região do Algarve (ATA – Associação de Turismo do Algarve, 2013).

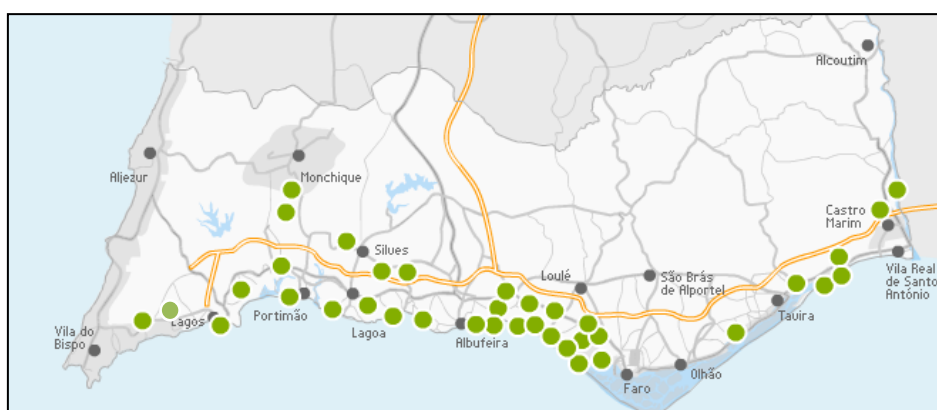


Figura 1: Distribuição dos campos de golfe no Algarve (Adaptado: ERT Algarve).

O produto golfe integra o Plano Estratégico Nacional do Turismo (PENT) como um dos dez produtos estratégicos para o desenvolvimento do sector a nível nacional (Saraiva, 2009). O golfe assume assim uma relevância estratégica para o desenvolvimento da economia portuguesa, representando em 2006 segundo Turismo de Portugal, I.P. (2012), cerca de 1,8 mil milhões de euros de receitas (1,25% do PIB Nacional e 14% do PIB turístico).

Sendo o Algarve um destino turístico de excelência, o desenvolvimento e a economia local dependem e desenvolvem-se principalmente em função do turismo. Atualmente o Algarve é um dos melhores destinos de golfe da Europa e considerado um produto de elite para os praticantes da modalidade (ERT Algarve, 2013). A projeção de

campos de golfe por arquitetos internacionais aliada de uma excelente envolvente paisagística, satisfazem os jogadores mais exigentes e marcam esta região como um destino privilegiado para a prática de golfe. O clima ameno, a oferta de hotelaria e restauração diversa, a proximidade a um aeroporto internacional são condições excelentes para esta prática durante quase todo o ano, permitindo que a época de golfe se estenda por vários meses, fundamental para uma região fortemente dependente do turismo.

O golfe transformou-se numa indústria multimilionária que envolve diversas transações não só associadas ao golfe mas também noutras áreas de negócio como a agricultura, construção, entretenimento, hotelaria, marketing e publicidade (Wheeler e Nauright, 2006). Sem o golfe, sectores como a hotelaria, restauração e imobiliário da região não seriam economicamente viáveis ou até não seria possível manterem-se no mercado durante todo o ano. O golfe atrai para a região turistas com elevado poder económico durante grande parte do ano, importante para contrariar a sazonalidade do turismo (Martins, 2004a).

Na região do Algarve o golfe é responsável por uma percentagem significativa da receita total, representando 8,5% do rendimento turístico da região. Estima-se que o golfe gere receitas diretas na ordem dos 48,6 milhões de euros e receitas indiretas de 350 milhões de euros por ano nesta região (CCDR Algarve, 2007).

3. O campo de Golfe

Um campo de Golfe é constituído por 9 ou 18 buracos, localizados sequencialmente. Cada buraco é constituído por diferentes zonas (Fig. 2), os *greens*, *collars*, *approaches*, *surrounds*, *tees*, *fairways*, *bunkers* e *roughs* (Saraiva, 2009). Cada uma destas zonas difere em diversos aspetos, nomeadamente na área, na preparação do solo durante a fase de construção, tipos de relva utilizados, dotações de rega, manutenção e grau de manutenção segundo a sua importância para o jogo.



Figura 2: Diferentes componentes de um buraco de golfe. O buraco de golfe é composto por diferentes zonas, os *greens*, *collars*, *approaches*, *surrounds*, *tees*, *fairways*, *bunkers* e *roughs*. (fonte: <http://www.captainsgolfcourse.com>)

O *green* é área de jogo mais importante e tem elevado grau de manutenção. Superfície com uma relva mais fina, com uma altura de corte muito baixa (3 a 5 mm) e onde se encontra o buraco, assinalado por uma bandeira. A área de um *green* varia geralmente entre os 300 e os 700 m² (Duncan e Carrow, 1999; Saraiva, 2009).

Os *greens* são construídos de forma distinta das restantes zonas e sobre especificações bastante restritas. Segundo as especificações da USGA (*United States Golf Association*) (Fig. 3) os primeiros 30 cm devem ser constituídos por uma mistura de areia (80 a 90 %) e turfa (10 a 20%). Uma segunda camada de brita (diâmetro de 3 cm) com 6 cm de espessura, seguida de uma camada de gravilha (diâmetro inferior a 1cm) com 10 cm de espessura. Por último, logo abaixo de todas estas camadas encontra-se um sistema de drenagem (Fig. 3), constituído por uma tubagem perfurada, envolvida em brita e manta geotêxtil (USGA e Beard, 1973). Pelo contrário um *green Push-up* é construído modelando o solo existente, sem drenagem ou camadas de gravilha (Beard, 1973).

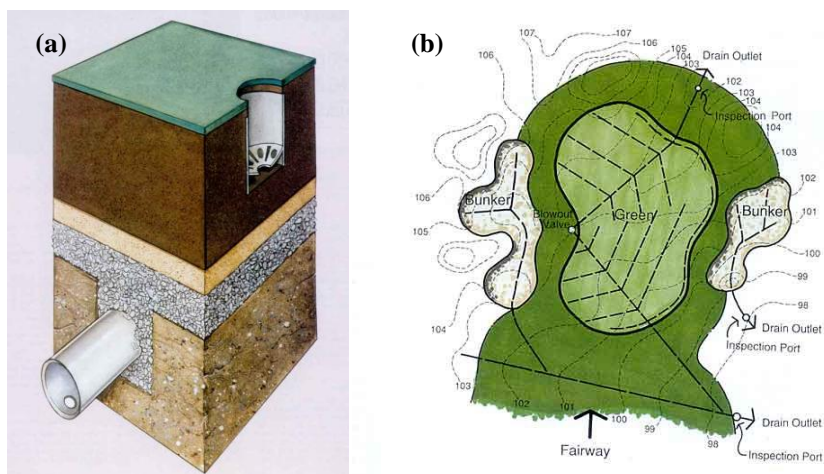


Figura 3: (a) Perfil em profundidade do solo de um *green* segundo as especificações da USGA (fonte Beard, 1973). (b) Esquema do sistema de drenagem de um *green* (fonte: www.turf.uiuc.edu)

O *tee* é o local da primeira tacada, com uma área de cerca de 100 m², relvada e perfeitamente plana. Existem geralmente 4: para profissionais; senhores; senhoras; e crianças (Saraiva, 2009). Tem características de construção semelhantes ao *green* tal como a espécie de relva utilizada. A altura de corte da relva varia entre 6,5 a 20 mm (Duncan e Carrow, 1999).

O *fairway* é o “percurso” entre os *tees* e o *green*, com cerca de 30 a 50 m de largura e uma área média de 15 ha para um campo de 18 buracos. O relvado tem uma altura de corte ótima entre 10 a 20 mm, dependendo da variedade (Duncan e Carrow, 1999; Saraiva, 2009). Na fase de construção, nesta zona de jogo a sementeira pode ser feita sobre o solo existente ou antecedida por uma camada de areia. Logo a seguir ao *green*, é no *fairway* onde o número de práticas culturais é maior bem como a sua intensidade.

Por último os *roughs* constituem a envolvente a cada buraco. A intensidade de manutenção é bastante menor relativamente às restantes componentes de um buraco. A altura de corte é mantida entre 25 e 50 mm (Duncan e Carrow, 1999).

4. Gestão e manutenção de um campo de Golfe

A gestão de um campo de golfe é um termo amplo focado no desenvolvimento de padrões e objetivos conseguidos através do planeamento e direção de mão-de-obra, capital e equipamentos, que contrasta com a gestão de relvados, que envolve diversas práticas culturais agronómicas, crescimento e manutenção do relvado (Beard, 1973).

Um campo de golfe é, do ponto de vista agronómico, uma cultura de relva que quando associada a um jogo, é sujeita a uma manutenção muito específica e direcionada para o cumprimento dos parâmetros exigidos pela modalidade. Pretende-se uma superfície de jogo com as seguintes qualidades: densidade, uniformidade, suavidade, firmeza, elasticidade e cor (Saraiva, 2009).

Tal como na agricultura, a gestão e manutenção de um campo de golfe representa um grande desafio agronómico e ambiental. Os custos associados à manutenção de um campo de golfe englobam inúmeros fatores e condicionantes, por vezes imprevisíveis, que influenciam diretamente esses mesmos custos. Segundo Fernandes (2007) os custos de manutenção de um campo de golfe com 18 buracos podem atingir os €55.000,00 mensais. É fundamental tornar esta atividade mais sustentável e economicamente competitiva.

4.1. Problemas comuns e práticas culturais inerentes

Os relvados são sujeitos a uma grande variedade de stressess que podem diretamente ou indiretamente comprometer a estética, a qualidade funcional, as condições morfológicas ou até mesmo levar à morte da planta (Beard, 1973). O uso, tráfego/pisoteio, as condições edafo-climáticas, a ocorrência de pragas e doenças, podem criar pressão sobre os relvados. Preparar e manter um campo de golfe em condições ideais para a prática do jogo requer uma série de práticas de manutenção intensivas (Saraiva, 2009). Algumas dessas práticas culturais são comuns à agricultura, nomeadamente a aplicação de fertilizantes e fitofármacos, a rega e também a colheita que no golfe passa pelo corte do relvado.

Diversas práticas culturais podem afetar substancialmente a eficiência da água utilizada, especialmente as práticas que maximizam a infiltração da água e o desenvolvimento das raízes. Práticas culturais podem alterar as condições do solo de

modo a reduzir as perdas de água por escoamento, a lixiviação ou o excesso de evaporação, melhorando a retenção de água no solo (Carrow, 2006).

Práticas culturais mais específicas para a manutenção de um relvado desportivo, como o *verticut*, o *topdressing* e a escarificação, vulgarmente designada por aerificação são também importantes para manter um relvado de qualidade. A necessidade de aplicar estas práticas está associada a problemas muito específicos como a formação de *thacht* e a compactação do solo. Problemas de salinidade na superfície foliar e/ou no solo são também frequentes em campos de golfe localizados em zonas costeiras.

4.1.1. *Thatch*

O *thatch*, ou feltro, é definido como uma camada intermédia de estolhos, caules e raízes, vivos e mortos, que se desenvolvem entre a vegetação verde e a superfície do solo. O *thatch* consiste num interlaçado de material vegetal que torna o relvado esponjoso (Trenholm *et al.*, 2001). A acumulação de *thatch* ocorre quando a produção de resíduo orgânico vegetal é superior à percentagem decomposta (Gaussoin e Sherman, 2006). À medida que a acumulação de *thatch* aumenta as raízes e os rizomas tendem a crescer maioritariamente nessa camada e não no solo (Fig. 4b). Resultando num sistema radicular fraco e pobre, mais suscetível a stressess ambientais, requerendo assim também maiores necessidades de manutenção (Gaussoin e Sherman, 2006).

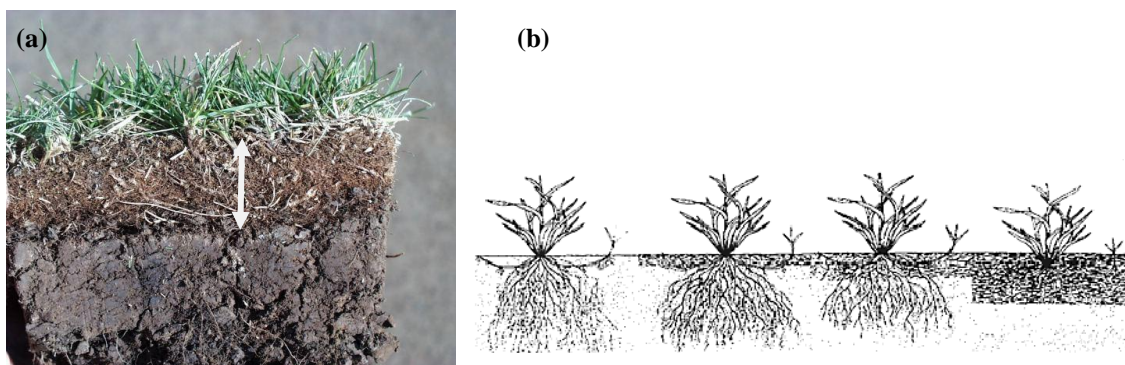


Figura 4: (a) Camada de *thatch* num relvado (fonte: www.whygoodnature.com). (b) À medida que o *thatch* se acumula, as raízes do relvado tendem a crescer nessa camada, resultando num relvado mais fraco e mais suscetível a injúrias (fonte: Gaussoin e Sherman, 2006)

As espécies e cultivares de relvas diferem na tendência para a formação de *thatch* (Tabela 1). Esta diferença ocorre principalmente por diferenças nas taxas de crescimento e devido a diferentes conteúdos das paredes celulares (Gaussoin e Sherman, 2006). As raízes mortas, rizomas, caules e estolhos, são as estruturas que mais

contribuem para a acumulação de *thatch* por conterem um elevado teor de lenhina, portanto com maior resistência à decomposição. Quando esta camada excede os 1,27 cm (Gaussoin e Sherman, 2006) ou segundo Trenholm *et al.* (2001) atinge os 2,54 cm devem ser tomadas medidas de forma a reduzir o *thatch* (Fig. 4a).

Tabela 1: Tendência para acumulação de *thatch* de algumas espécies de relva (adaptado de Gaussoin e Sherman, 2006)

Alto	Medio	Baixo
Zoysiagrass (<i>Zoysia spp.</i>)	Kentucky bluegrass (<i>Poa Pratensis L.</i>)	Perennial ryegrass (<i>Lolium perenne L.</i>)
Bermudagrass (<i>Cynodon dactylon L.</i>)	Creeping bentgrass (<i>Agrostis stolonifera L.</i>)	Tall fescue (<i>Festuca arundinácea</i>)
Creeping red fescue (<i>Festuca rubra L.</i>)	Hard fescue (<i>Festuca longifolia</i>)	Buffalograss (<i>Bouteloua dactyloides</i>)

A formação de *thatch* é prejudicial por diversos motivos. Segundo Trenholm *et al.* (2001) a formação de *thatch* pode:

- **restringir a entrada de água e ar para o solo.** Um *thatch* seco tem tendência a repelir a água e conseqüentemente baixa a infiltração; por sua vez um *thatch* húmido pode levar ao aparecimento de doenças.
- **dificultar o corte do relvado.** Uma vez que se torna uma superfície esponjosa, abatendo sob o peso das máquinas de corte, fazendo com que o mesmo seja mais baixo que o estipulado e escalar o relvado.
- **providenciar um habitat ideal para insetos e doenças.**
- **tornar o relvado mais suscetível a stressess ambientais e danos provocados pelo corte.**
- **Interromper ou restringir a entrada de pesticidas e fertilizantes para o solo.**

A formação de *thatch* pode ser atribuída a diversos fatores. Tais como excessivo crescimento da planta; corte do relvado com pouca frequência; e práticas de manutenção impropriadas, como rega e fertilização excessivas, sendo que estas duas últimas são apontadas como as principais causas. Adicionalmente a não manutenção de um solo favorável para o desenvolvimento de microrganismos, através do controlo do pH, rega adequada e aerificação, pode acarretar um decréscimo na velocidade de decomposição dos resíduos da planta.

As principais práticas culturais mecânicas utilizadas no controlo/remoção de *thatch* são o corte vertical (*verticutting*), as práticas de aerificação e o *topdressing*. O

controle do *thatch* varia segundo as diferentes zonas de um buraco de golfe. É nos *greens* onde estas práticas são realizadas com maior frequência.

O *verticut* é o método mecânico mais comum para remover o *thatch*. Nesta prática as lâminas de corte encontram-se dispostas perpendicularmente à superfície, penetrando dentro do relvado, até ao *thatch*.

A aerificação remove pequenos cilindros de solo e o *thatch*, deixando pequenos orifícios que permitem uma melhor penetração do ar, água, fertilizantes e pesticidas. Adicionalmente providencia um ambiente favorável (oxigenação) ao desenvolvimento de microrganismos responsáveis pela decomposição de material orgânico (Trenholm *et al.*, 2001). Esta prática cultural é portanto importante não só pela melhoria das características físicas do solo, mas também para o controle do *thatch*.

A prática cultural de *topdressing* é utilizada para melhorar as características do solo e conseqüentemente as condições do relvado. Esta prática envolve a distribuição de solo (areia) pela superfície do relvado (Rogers *et al.*, 1998), contribuindo assim para o desenvolvimento de uma superfície suave e consistente, controle do *thatch* e melhoria do solo (Rogers *et al.*, 1998). O *topdressing* aumenta a decomposição do *thatch* pela indução de um ambiente mais húmido e poroso, favorável ao desenvolvimento de microrganismos (Trenholm *et al.*, 2001). O *topdressing* é especialmente importante nos *greens* onde é fundamental ter uma superfície uniforme (Rogers *et al.*, 1998).

O controle da acumulação de *thatch* passa também por um corte do relvado com frequência, aplicação de fertilizantes nunca excedendo as necessidades nutricionais do relvado e de pesticidas apenas quando necessário. A redução do *thatch* contribui assim para um relvado mais saudável e para a redução dos custos de manutenção (Gaussoin e Sherman, 2006).

4.1.2. Compactação/pisoteio/tráfego

O tráfego é apontado como uma das principais causas de stress dos relvados, contribuindo para o seu desgaste e compactação do solo (Carrow e Petrovic, 1992).

A tolerância ao desgaste (ex.: pisoteio/tráfego) varia significativamente segundo as espécies e cultivares, em função das características fisiológicas e morfológicas (Shearman e Beard, 1975; Carrow e Petrovic, 1992). As relvas de estação quente são geralmente mais tolerantes ao desgaste (Krum, 2008). Como por exemplo as bermudagrass (*Cynodon* spp.) são caracterizadas por terem elevada tolerância ao

desgaste, por outro lado as *creeping bentgrass* (*Agrostis palustris* Huds) são mais suscetíveis ao desgaste. Entre relvas de estação fria, Shearman e Beard (1975) aferiram que “*Manhattan*” *perennial ryegrass* (*Lolium perenne* L.) foi a mais tolerante ao desgaste, seguida das “*Kentucky 31*” *tall fescue* (*Festuca arundinacea* Schreb.), “*Merion*” *Kentucky bluegrass*, “*Pennlawn*” *red fescue* (*Festuca rubra* L.) e *Italian regrass* (*Lolium multiflorum* Lam.).

A compactação, uma das causas do stress provocado pelo trafego, envolve a compressão das partículas do solo, que leva a uma redução (do volume) dos poros e aumento da densidade do solo (Carrow e Petrovic, 1992). Num solo arenoso a compactação pode ser considerada insignificante. Contudo solos de textura fina, compostos por mais limo e argila, são mais suscetíveis à compactação. O teor de água no solo, a pressão aplicada e sua frequência, determinam também a magnitude da compactação (Krum, 2008).

A modificação do tamanho e distribuição dos poros do solo ocorre com a compactação, à medida que o número de microporos aumenta e dos macroporos diminuem (Carrow e Petrovic, 1992). A relação ar-água é alterada conduzindo a um aumento da retenção de água. Um estudo onde se pretendia investigar o efeito do trafego sobre a qualidade de *creeping bentgrass*, mostrou que o aumento da frequência de trafego resultou no aumento da densidade aparente do solo e resistência do mesmo (Cuddeback e Petrovic, 1985). Solos com maior densidade aparente teoricamente retêm mais água (Baver *et al.*, 1972). No entanto as características físicas do solo podem ser drasticamente alteradas pela compactação. Com a redução da porosidade e o aumento da densidade aparente, a compactação resulta na perda da estrutura do solo, aumento de gases tóxicos, reduzida percolação/infiltração e aumento do escoamento superficial (Beard, 1973). A compactação pode ainda restringir o crescimento das raízes (Krum, 2008).

Os principais fatores que contribuem para a compactação do solo são o trafego de veículos e o pisoteio. O impacto do trafego de veículos é determinado pelas características dos pneus e pelo tipo de equipamento (Beard, 1973). A maquinaria utilizada nas diferentes práticas culturais difere em algumas características segundo as diferentes zonas de um buraco de golfe. Por regra o *green* deve ser exposto a menor pressão e portanto deve ser utilizada maquinaria específica para esta zona de jogo. À medida que a área de superfície do pneu aumenta, a pressão é distribuída sobre uma maior área do relvado. A pressão por unidade de área pode ser reduzida pela utilização

de pneus de baixa pressão e aumentando o número de pneus. Evitar curvas apertadas, arranques e paragens abruptas podem também contribuir para um menor impacto por parte do equipamento (Krum, 2008). Stafford e Carvalho (1981) notaram que o aumento da velocidade dos veículos de 0,2 para 5 ms⁻¹ reduziu a compactação em 50% nos primeiros 5 cm de profundidade.

O tráfego e consequentemente a compactação podem ser reduzidos ou controlados pela implementação de diversas práticas culturais e estratégias de design (Beard, 1973). Algumas destas estratégias de design passam por restringir determinadas áreas ao tráfego ou até por disponibilizar ou alternar a localização das entradas e saídas para os *fairways*.

Beard (1973), O'Neil e Carrow (1982), observaram que a aerificação pouco profunda pode ser bastante útil nos primeiros 3 cm de profundidade, onde a compactação mais afeta a densidade aparente do solo. A aerificação com bicos ocios ou sólidos (com e sem retirar charutos, respetivamente), são procedimentos comuns utilizados para reduzir a compactação (Beard, 1973).

A compactação do solo é fortemente dependente do teor de água no solo (Beard, 1973). Merkel (1952) provou que a estrutura do solo é mais afetada quando em condições de saturação. Nestas condições uma pequena pressão pode deslocar mais facilmente o solo, uma vez que os poros estão preenchidos de água. O tráfego de veículos deve portanto ser evitado (ou mesmo proibido) durante condições de elevada humidade no solo.

O ar no solo pode tornar-se um fator limitante quando as trocas gasosas entre o solo e a atmosfera se tornam insuficientes. A compactação pode resultar na destruição dos poros, que por sua vez resulta no aumento dos microporos (poros preenchidos por água), na diminuição dos macroporos (poros preenchidos por ar), diminuição da porosidade total e interromper a continuidade dos poros (Krum, 2008). Morgan *et al.* (1966) observou, em *bermudagrass* [*Cynodon dactylon* (L.) Pers.], que a compactação é responsável por um decréscimo da evapotranspiração.

Responsáveis de manutenção aplicam frequentemente maior dotação de rega em relvados sob condições de compactação. Possivelmente para compensar a água inutilizável fora do alcance das raízes, perdas por escorrimento ou para estimular a recuperação do relvado. Contudo quando a compactação é o fator limitante e responsável pelo stress do relvado, especialmente devido à falta de ar no solo, uma maior dotação de rega pode resultar numa maior deterioração da relva.

Num estudo (Jiang *et al.*, 2003) onde os efeitos de compactação e pisoteio/desgaste foram testados em *Paspalum sp.*, revelou um decréscimo da densidade e perda de cor da planta, uma redução significativa da densidade das raízes e uma menor percentagem de área foliar.

4.1.3. Salinidade

Os sais são parte comum e necessária do solo (Tabela 2). Sais como nitratos ou potássio são nutrientes essenciais para as plantas. Contudo podem tornar-se concentrados por processos naturais ou gestão incorreta (Pace e Johnson, 2002).

Nos solos halomórficos, solos que têm teores salinos relativamente elevados na solução do solo ou que possuem um complexo de troca dominado pelo sódio, a percentagem de saturação em bases no complexo de troca é elevada, e o pH do solo é superior a sete (Varenes, 2003).

Tabela 2: condutividade elétrica dos solos em extrato saturado (Varenes, 2003).

Classificação do solo	Condutividade elétrica (dS m ⁻¹ a 25°C)
Não salino	0 - 2
Muito pouco salino	2 - 4
Pouco salino	4 - 8
Moderadamente salino	8 - 12
Fortemente salino	12 - 16
Muito fortemente salino	> 16

Os iões mais comuns em solo salinos são: Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻, NO₃⁻ e CO₃²⁻ (a pH>9,0). Estes iões surgem da dissolução de minerais; sais presentes na água de rega; aplicação de fertilizantes e correções do solo; e sais transportados por capilaridade para a zona radicular devido à presença de um lençol freático pouco profundo (Carrow e Duncan, 1998).

Quando os sais estão presentes no solo numa forma mineral insolúvel não representam qualquer influência para o crescimento da planta, apenas iões na forma solúvel podem causar problemas de crescimento para a planta (Carrow e Duncan, 1998).

Muitos campos de golfe são construídos em zonas costeiras. Sapais e pântanos ao longo da zona costeira contêm altos teores de sais, especialmente Na e Cl, podendo resultar em solos salinos. Neste caso os sais podem surgir pela maresia (ou marés), alagamentos periódicos e por aparecimento de água salina nos aquíferos utilizados para a rega (Carrow e Duncan, 1998).

Carrow e Duncan (1998) enumeram alguns fatores que resultam em problemas de salinidade em campos de golfe, tais como: o uso de águas residuais, a localização costeira, o aparecimento de água salgada nos aquíferos utilizados para a rega, entre outros.

O elevado teor de sais solúveis ou excessiva concentração de Na^+ , em solos salinos, pode resultar em problemas diretos nas raízes e nos tecidos meristemáticos à medida que os sais são absorvidos pela planta, ou indiretamente através da alteração de propriedades físicas do solo. Um stress direto inclui a indução de um deficit hídrico derivado da elevada concentração de sais, toxicidade iónica e desequilíbrio iónico. Valores elevados de Na^+ podem destruir a estrutura do solo e assim indiretamente influenciar o relvado, através de uma baixa taxa de infiltração, drenagem deficiente e pouco oxigénio no solo. Uma drenagem deficiente induz a acumulação de sais à superfície (Pace e Johnson, 2002). A presença de sais e iões específicos na água de rega afetam também o relvado, nomeadamente através do aumento da quantidade de sais no solo mas também diretamente pelo contacto com a folhagem da planta (Carrow e Duncan, 1998). Problemas de salinidade são geralmente mais sérios em solos pesados ou argilosos, quando uma drenagem adequada não existe (Pace e Johnson, 2002).

Os principais problemas relacionados com a salinidade existente no solo ou adicionada pela água de rega são: deficit hídrico induzido por sais; problemas de permeabilidade do solo em função da degradação da estrutura do solo por excesso de Na no complexo de troca; toxicidade iónica; e desequilíbrio iónico que conduz a problemas nutricionais (Carrow e Duncan, 1998; Pace e Johnson, 2002).

O alto teor de sais no solo não influencia a quantidade total de água que o solo retém mas diminui a proporção desta disponível para a planta. Na presença de um lençol freático perto da superfície, os sais tendem a subir por capilaridade e acumularem-se à medida que a água se evapora. À medida que o solo seca os sais concentram-se perto da superfície do solo induzindo assim stress ao relvado (Pace e Johnson, 2002). Uma vez que a água disponível para evapotranspiração é menor, torna-se necessário regar com mais frequência o relvado. Um outro motivo para regas frequentes, é evitar o aumento da concentração de sais na solução do solo à medida que a planta extrai água do solo.

Em relvados com problemas de salinidade é necessário tomar algumas medidas de manutenção tais como (Carrow e Duncan, 1998): reunir informação do local (ex.: características químicas e físicas do solo, qualidade da água de rega) que possam contribuir para o problema; reduzir a adição de sais (ex.: pela água de rega ou aplicação

de fertilizantes); seleção de espécies de relvas adequadas ao local (Tabela 3) e com maior tolerância à salinidade (Tabela 3); e a lixiviação dos sais por aplicação de rega, em caso de a água ser de boa qualidade.

Tabela 3: Tolerância à salinidade de diferentes espécies de relva. Valor a partir do qual as raízes são afectadas (adaptado de Carrow e Duncan, 1998).

Espécie	Tolerância (dS/m)	Classificação
<i>Agrostis stolonifera</i> L. (creeping bentgrass)	1,6 - 3	Moderadamente sensível
<i>Cynodon dactylon</i> L. (Bermudagrass)	3,1 - 6	Moderadamente tolerante
<i>Festuca rubra</i> L. (red Fescue)	3,1 - 6	Moderadamente tolerante
<i>Lolium perenne</i> L. (perennial ryegrass)	6,1 - 10	Tolerante
<i>Poa annua</i> L. (bluegrass)	< 1,5	Muito sensível
<i>Poa pratensis</i> L. (Kentucky bluegrass)	1,6 - 3	Moderadamente sensível

Na sequência da degradação das condições edáficas por excesso de sais no solo, outras medidas podem ser uteis. Carrow (2003) observou que a prática de aerificação com jatos de água de alta pressão (*Hydroject*), normalmente utilizada para redução da compactação, em intervalos de três semanas, conjugada com outras práticas culturais contribui para aliviar situações de acumulação de sais.

4.2. Gestão da rega

O sistema de rega de um campo de golfe é complexo e representa um grande investimento de capital. Deve portanto ser bem projetado, instalado e operado de modo a alcançar o máximo retorno do investimento, através da qualidade do relvado, uniformidade da rega e de uma taxa de aplicação de água ótima (Beard, 1973). Os sistemas de rega são desenhados de modo a realizar uma distribuição o mais eficiente possível da água. Nas últimas décadas, muito dinheiro e horas foram investidas no desenvolvimento de tecnologia avançada para os sistemas de rega em campos de golfe (Huck, 1997). Estes sistemas são constituídos por *software* e estações meteorológicas para gerir a rega de modo eficiente e preciso. Contudo os responsáveis de manutenção podem facilmente ficar frustrados pelo facto do investimento em sistemas de rega milionários, permitirem ainda assim que existam zonas excessivamente molhadas ou secas. Atualmente é possível ajustar individualmente cada aspersor, através do tempo de rega. No entanto este ajustamento pode não ser suficiente. Mesmo dentro de uma zona de alcance do aspersor podem existir microclimas com diferentes necessidades de água (Krum, 2008).

Geralmente os técnicos tendem a regar em demasia, não regando segundo as necessidades da planta. O melhor dimensionamento/design de um sistema de rega não aplicará água eficientemente se não for adequadamente programado. O agendamento ou programação de regas é normalmente realizado segundo a experiência do técnico de manutenção, usando locais específicos ou problemáticas como indicadores à medida que surgem os primeiros sintomas. Muitos campos de golfe têm uma única estação meteorológica, de onde pode ser estimado a ET_0 (evapotranspiração de referência). No entanto o valor de ET_0 teria de ser ajustado para todos os outros locais, que iriam diferir no tipo de relva, solo, radiação, entre outros. O ET_0 não tem em conta as condições do solo (o teor de água atual em profundidade) nem da planta (profundidade das raízes, nível de stress) (Carrow, 2006), nem ainda a topografia variável dentro do mesmo campo de golfe.

A programação das regas do futuro irá envolver informação em tempo real dos locais regados, de maneira a providenciar informação mais localizada (Sudduth *et al.*, 1999). A aplicação precisa da rega para a prevenção de stress causado por excesso ou carência de água bem como no controlo de sais, requer informações precisas das condições atuais do solo em profundidade (Carrow, 2006). Com o surgimento de novas tecnologias, a monitorização do stress da planta para a programação de regas tem vindo a utilizar os conceitos da agricultura de precisão (Frazier *et al.*, 1999).

A gestão da rega de um relvado deve ter em conta diversos fatores que induzem à variabilidade espacial, como o sistema de rega, a relação solo-água-planta e também a influência topográfica.

4.2.1. O sistema de rega

A dotação de rega a aplicar depende do método de rega. Os sistemas de rega por aspersão são os mais utilizados em campos de golfe. A flexibilidade dos equipamentos de rega por aspersão e a sua eficiência relativamente à capacidade de controlo da água aplicada, faz com que a sua aplicabilidade seja quase universal para a maior parte das condições topográficas e climáticas. Contudo, a ocorrência de temperatura e velocidade do vento altas, associadas a humidade relativa baixa, estão associadas a perdas de água por evaporação e de problemas de toxicidade quando a água de rega contém concentrações de sais dissolvidas relativamente altas. Quando o dimensionamento é adequado, a água pode ser aplicada com uniformidade e com pluviometria compatível

com a taxa de infiltração do solo, sendo por isso possível evitar a ocorrência de escoamento, danos ao solo e culturas (Raposo, 1996; Pereira, 2004).

Nos aspersores rotativos de turbina, disponíveis numa larga gama de características, a água entra sob pressão e atua numa pequena turbina instalada no próprio aspersor, a qual aciona a rotação do bocal. Segundo Pereira (2004) o seu uso em agricultura vai sendo raro, ao contrário do que se passa na rega de relvados e campos de golfe. Por outro lado é comum a rega por canhões móveis nos relvados em campos de futebol. Segundo Pereira (2004) designa-se por canhões os grandes aspersores rotativos que funcionam com alta ou muito alta pressão para regar grandes áreas. O termo canhão deriva do grande tamanho do aspersor e da sua capacidade para debitar grandes quantidades de água, com grande alcance, portanto sobre áreas extensas. Os canhões modernos são aspersores de impacto de braço oscilante.

O dimensionamento/design do sistema de rega é uma importante componente na gestão da rega tal como na conservação da água em relvados, de modo a: (a) aplicar água eficientemente e limitar as perdas por escoamento, por lixiviação ou por evaporação da água à superfície; (b) permitir a rega adequada tendo em conta as restrições de tempo impostas por regas em horário noturno, lixiviação de sais, etc.; e (c) fazer rega localizada ou aplicações precisas de água de acordo com as necessidades individuais de cada área (Irrigation Association, 2003).

4.2.2. Relação solo-água-planta

A rega depende diretamente da relação entre como o solo retém a água, como a água se movimenta e como a planta usa essa água (Barrett *et al.*, 2003).

Um solo é constituído por várias quantidades de areia, de limo, de argila, de matéria orgânica, bem como espaço poroso. Este espaço poroso é preenchido por ar e água. A mistura ideal é de 50% solo, 25% água e 25% ar. Nestas condições a relva apenas despende de uma energia mínima para obter água e nutrientes (Barrett *et al.*, 2003). As características físicas do solo determinam a dimensão e volume dos poros do solo em que a água é retida e se move. Estas características variam geralmente de camada para camada ao longo do perfil do solo (Pereira, 2004). As principais características do solo que determinam o seu comportamento como reservatório e como meio poroso onde a água se movimenta são apontadas por Pereira (2004) como sendo: a textura; a estrutura; a matéria orgânica; a densidade aparente e a porosidade total.

O armazenamento e o movimento da água no solo é extremamente importante para uma gestão da rega eficiente e eficaz. À medida que o solo passa de húmido para seco, a relação entre água e solo modifica-se, bem como o tipo de movimento e quantidade de água armazenada (Barrett *et al.*, 2003). O potencial matricial mede a afinidade da matriz do solo para se unir a mais moléculas de água. Num solo saturado todos os poros estão preenchidos com água. Portanto o solo apresenta a capacidade máxima de água e o seu potencial matricial é nulo (Varenes, 2003). O teor de humidade à capacidade de campo, θ_{FC} [$m^3 m^{-3}$], é o teor de humidade quando toda a água livre foi drenada, corresponde assim à água retida pela matriz do solo após um a dois dias de drenagem livre depois de ter sido humedecido por rega ou precipitação. O valor matricial nestas condições varia entre cerca de -10 kPa e -33 kPa. Este teor de humidade depende principalmente da textura mas é também influenciado pelas restantes características físicas do solo, nomeadamente estrutura e matéria orgânica. O teor de humidade ao coeficiente de emurchecimento, θ_{WP} [$m^3 m^{-3}$], caracteriza a humidade do solo quando a maioria das plantas cultivadas, em ausência de salinidade, deixam de ser capazes de extrair água do solo. É portanto o limite inferior da água extraível do solo. Que neste caso corresponde a um potencial matricial da ordem dos -1500 kPa. É influenciado por diversas características do solo, mas varia essencialmente com a textura (Varenes, 2003; Pereira, 2004). É portanto fundamental na gestão da rega considerar os diferentes limites de disponibilidade de água no solo.

A textura diz respeito à proporção de partículas de diferentes dimensões na terra fina. É uma propriedade física que influencia todos os fenómenos de superfície, como a capacidade de retenção de água e nutrientes, bem como a tendência para formar agregados (Varenes, 2003). Quanto maiores são as dimensões das partículas do solo, menor é a retenção de água. Em tais solos, é maior a quantidade de água que pode ser armazenada sob a forma de água gravitacional ou livre, isto é, não retida pelas partículas do solo, enquanto a quantidade total de água armazenável, isto é, retida e livre, é maior nos solos em que dominam as partículas finas. Estes solos são comumente referidos como solos finos ou pesados, enquanto os solos em que dominam as partículas maiores são chamados grosseiros ou ligeiros (Pereira, 2004).

A densidade aparente (ρ_b) relaciona-se com a composição dos materiais do solo e a forma como estes se acondicionam, mais ou menos compactados. Geralmente varia entre 1,9 e 1,1 (Pereira, 2004). A densidade aparente é tanto menor quanto maior o volume de poros (porosidade) ou o teor de matéria orgânica. Os solos de textura fina

têm densidades aparentes mais baixas do que os de textura grosseira, por terem maior tendência para formar agregados, a existência de poros dentro e fora dos mesmos, resulta numa maior porosidade. Pelo contrário, os solos de textura grosseira têm menor tendência para formação de agregados, em parte devido ao facto de normalmente terem baixos teores de matéria orgânica, apresentando assim densidades aparentes mais elevadas (Varenes, 2003).

O aumento da densidade aparente de qualquer solo, devido a compactação, tem como resultado menor infiltração da água, maiores perdas de água e nutrientes por escoamento superficial, e maior erosão hídrica (Varenes, 2003). Quando os solos se encontram fortemente compactados, atingindo valores de densidade aparente de 1,6 a 1,7, o crescimento radicular é afetado, passando a ser inibido para densidades superiores a 1,8. A infiltração e a drenagem tornam-se difíceis para densidades superiores a 1,65 (Pereira, 2004).

Idealmente um sistema de rega nunca deverá aplicar uma quantidade de água superior à que o solo possa reter. Num *green* construído segundo os requisitos da USGA, a taxa de infiltração é significativamente superior à água distribuída pelos aspersores. Pelo contrário num *green push-up* a quantidade de água aplicada pode exceder a taxa de infiltração do solo. A taxa de infiltração do solo deve ser considerada numa gestão da rega eficiente, de modo a prevenir escoamento superficial e aparecimento de poças. A cobertura relvada, compactação e a formação de *thatch* levam a uma diminuição da taxa de infiltração do solo (Barrett *et al.*, 2003).

A frequência de rega permite controlar a água no solo antes que seja atingido o coeficiente de emurchecimento. Sendo que a fração da água do solo extraível sem afetar a produção (p), para relvados, foi apontada por diversos agrónomos como sendo de 50% (Barrett *et al.*, 2003).

A componente chave na determinação das necessidades de rega da planta é a identificação de espécies e cultivares de relvas. Segundo Barrett *et al.* (2003) das mais de 1200 espécies diferentes de relvas disponíveis, apenas 20 a 25 são adequadas para a indústria do golfe. A maioria das espécies não preenche requisitos como: suportar o elevado tráfego, cortes muito baixos, tolerância a doenças, textura da folha, vigor da plântula e tolerância a fitofármacos.

A água tem grande importância em diversas funções da planta. Funciona como veículo de nutrientes, como solução do solo onde as plantas vão absorver nutrientes, revelando-se também importante como regulador de temperatura nas folhas (Barrett *et*

al. 2003; Varennes, 2003). A água é também necessária pelas sementes durante a germinação. De toda a água consumida pela planta, apenas cerca de 2% é utilizada por processos metabólicos. A restante água é utilizada no arrefecimento e respiração (Meyer *et al.*, 1983; Barrett *et al.*, 2003). Por outro lado valores excessivos de humidade podem provocar diversas enfermidades no relvado, tal como deficit de oxigénio e lixiviação de nutrientes juntos às raízes (Meyer *et al.*, 1983). É portanto fundamental que a rega seja gerida de modo que a água se encontre disponível no solo entre a capacidade de campo e a zona de conforto para a planta (p=50%).

As espécies de relvas agrupam-se em dois grupos: relvas de estação quente (C4) e relvas de estação fria (C3). As temperaturas em que cada espécie melhor se desenvolve, segundo a sua época de crescimento, permitem esta classificação em dois grupos. As espécies de relva C4 estão mais ativas em temperaturas entre 27 e 35 °C, entrando em dormência nos meses de inverno, geralmente para temperaturas da ordem ou inferiores a 10 °C. As espécies C3 preferem temperaturas entre os 16 e 24 °C e permanecem verdes durante todo o ano, contudo para temperaturas de 30 °C sofrem stress de calor. Em termos de necessidades hídricas, as relvas de estação fria (C3) tendem a consumir mais água que as relvas de estação quente (C4), em condições climáticas similares (Beard, 1973; Barrett *et al.*, 2003).

Embora exista esta classificação, cada espécie e cultivar pode apresentar comportamentos específicos segundo diversos fatores tais como o tipo de solo, a exposição solar, as temperaturas do ar e do solo, a qualidade da água, as alturas de corte, as práticas culturais, entre outros. Barrett *et al.* (2003) propôs um guia (Tabela 4) segundo as diferentes necessidades hídricas de diversas espécies de relvas.

Tabela 4: Tolerância ao stress hídrico de algumas espécies (adaptado de Barrett *et al.*, 2003)

Espécies	Tolerância
Relvas de estação fria (C3)	
Bluegrass	Baixa a média
Annual bluegrass	Baixa
Fescue	Alta
Ryegrass	Media
Creeping bentgrass	Baixa
Relvas de estação quente (C4)	
Bermudagrass	Alta
Zoysia	Alta
Carpetgrass	Media
St. Augustine grass	Media
Buffalograss	Alta

O conhecimento do balanço hídrico do solo na zona explorada pelas raízes é fundamental para uma boa gestão da água em regadio. A cultura é o alvo de interesse, é portanto através de manifestações fisiológicas das plantas, devido à carência hídrica, que deverão servir como indicadores padrão para determinar quando regar. Por outro lado a utilização de métodos baseados na medição de processos que ocorrem no meio onde a cultura se desenvolve, atmosfera e solo, são necessários. Pereira (2004) listou os seguintes exemplos: a medição do fluxo de seiva para estimar a taxa de transpiração da cultura; a utilização de medições de variáveis meteorológicas para estimar a ET cultural; a absorção da taxa de variação do teor de água no solo por métodos como o gravimétrico, sonda de nêutrons ou o de TDR; e por fim o potencial de água no solo, usando tensiómetros. Em todos estes casos é possível otimizar a gestão de rega, contudo é fundamental que os métodos estejam calibrados ou validados para a cultura e o ambiente em que se desenvolvem.

4.2.3. Influência da topografia

O comportamento da água é afetado pela topografia e pode conseqüentemente influenciar a performance da cultura. Um estudo efetuado por Kravchenko e Bullock (2000) investigou o efeito da topografia e de propriedades do solo na produção de milho (*Zea mays* L.) e soja (*Glycine max* (L.) Merr.). As características topográficas como a elevação, o declive, a curvatura e superfície drenante, são responsáveis por aproximadamente 20% da variabilidade espacial da produção. Contudo as características do solo são responsáveis por aproximadamente 30% da variabilidade na produção. Neste estudo a elevação e o teor de matéria orgânica foram apontados como os fatores com maior influência na produção. Num outro estudo por Silva e Silva (2008) em campos de milho, a produção média mostrou uma forte dependência da topografia, com uma elevada correlação entre a produção, a elevação e o declive. Foi ainda demonstrada uma forte correlação com índices topográficos que refletem a disponibilidade de água, tal como o índice de humidade e a distância de superfícies drenantes (*distance to flow accumulation lines* – DFL). No geral, neste estudo a produção aumentou com o decréscimo do DFL, ou seja com o aumento da disponibilidade de água.

A topografia influencia o teor de água no solo inicial, após rega ou precipitação, através da infiltração e escoamento superficial. Rockström *et al.* (1999) avaliou a taxa

de infiltração numa área com a cultura (milheto ou milho miúdo) *Pennisetum glaucum* (L.) Br. com declive de 1 a 3%. Nessa encosta construíram-se parcelas no topo, no meio e na zona mais baixa da encosta. A maior taxa de infiltração ocorreu no meio da encosta contudo a menor percentagem de infiltração ocorreu nas parcelas do topo da encosta.

As características topográficas afetam também a absorção e reflexão da radiação solar que incide na planta, que pode contribuir para perdas diferenciadas por evapotranspiração segundo a topografia. A radiação solar é um dos fatores climáticos com maior influência na evapotranspiração, principalmente quando o teor de água no solo não é limitado (Krum, 2008).

4.3. Impacto ambiental

O golfe tem vindo a crescer nos últimos quarenta anos, mas recentemente tem vindo a ser objeto de críticas que questionam a sustentabilidade do jogo e o seu grande impacto ambiental e social. Os princípios económicos continuam a competir e a sobrepor-se aos interesses ambientais (Wheeler e Nauright, 2006).

Um campo de golfe parece representar um espaço de lazer com uma boa gestão ambiental, promovendo também um habitat para a fauna local. As relvas utilizadas em campos de golfe contribuem para a redução da erosão, atuando como protetor da camada superior do solo (Ling, 1992)

Por outro lado a construção de um campo de golfe envolve diversas práticas que podem ser extremamente prejudiciais para o ambiente, tais como a remoção da vegetação natural, a destruição da paisagem natural e dos habitats, a desflorestação e as alterações locais da topografia e dos recursos hídricos (Winter *et al.*, 2003). A erosão provocada durante o processo de construção de um campo, pode resultar em prejuízos para a flora e fauna de lagos e riachos, tal como em outros projetos de construção que não o golfe (Esposito, 1998).

O impacto ambiental mais evidente e com implicações graves associado a um campo de golfe, é a aplicação em larga escala de químicos, incluindo fertilizantes, inseticidas, pesticidas e fungicidas. A maioria dos gestores e/ou responsáveis de manutenção aplicam grandes quantidades destes químicos, de modo a manter os campos de golfe o mais verdes e livres de pragas possível (Winter *et al.*, 2003). Há diversos estudos publicados que relatam o escoamento destes químicos para os recursos hídricos (Kunimatsu *et al.*, 1999). Muitos dos campos de golfe não utilizam espécies de

relvas autóctones, requerendo assim doses superiores de químicos em relação a espécies locais (Wheeler e Nauright, 2006) ou até de dotações de rega superiores.

Chatterjee, P. (1993) publicou um estudo onde afirma que em média 1500 kg de agroquímicos, alguns cancerígenos, são aplicados em campos de golfe por ano e cerca de 90% destes químicos acabam dispersos no ar. Um outro estudo afirma que um típico campo de golfe com 18 buracos, usa 22.680 kg de químicos sólidos e líquidos anualmente, aproximadamente 20kg por hectare tratado, o que equivale a sete vezes mais à quantidade aplicada em agricultura intensiva (Chamberlain, 1995). Em simultâneo um outro estudo declara que 750 kg/ano de pesticidas são aplicados num típico campo de golfe, o que representa em média 11 kg/ha (Platt, 1994).

Tem vindo também a ser alvo de interesse a possibilidade das pessoas que permanecem muito tempo num campo de golfe, poderem estar suscetíveis aos perigosos efeitos dos químicos. Estudos da USGA reportaram que os organofosfatos presentes em inseticidas, que possuem elevada toxicidade e volatilidade, podem resultar num ambiente inapropriado.

Um outro impacto ambiental por parte dos campos de golfe é o consumo de água. A atividade com consumos de água mais elevados no Algarve é a agricultura, que é maioritariamente suportada por águas subterrâneas e, adicionalmente, por águas das grandes barragens. Segue-se o consumo doméstico que pode ser dividido em duas partes: (1) as redes de abastecimento público urbano, atualmente suportadas quase exclusivamente por água das grandes barragens e (2) abastecimentos privados, individuais ou coletivos, existentes nas zonas onde não existe rede de distribuição pública, suportados por águas subterrâneas. Finalmente, têm-se ainda os consumos de água associados à atividade do golfe (Fig. 5), igualmente suportados de forma predominante por águas subterrâneas, acessoriamente pelas grandes barragens e, residualmente a partir de efluentes domésticos previamente tratados numa Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) (Martins, 2004b).

O conceito de agricultura sustentável envolve o delicado balanço entre uma gestão económica estável e a maximização da produtividade, minimizando a utilização dos recursos naturais esgotáveis e impacto ambiental associado aos agroquímicos (Corwin e Lesch 2005a). Este conceito faz cada vez mais sentido, não só na agricultura, mas também no contexto da gestão e manutenção de relvados desportivos, nomeadamente os campos de golfe. Para que a atividade do golfe seja efetivamente

sustentável, é necessário que haja um equilíbrio ente os objetivos socioeconómicos e os recursos ambientais.

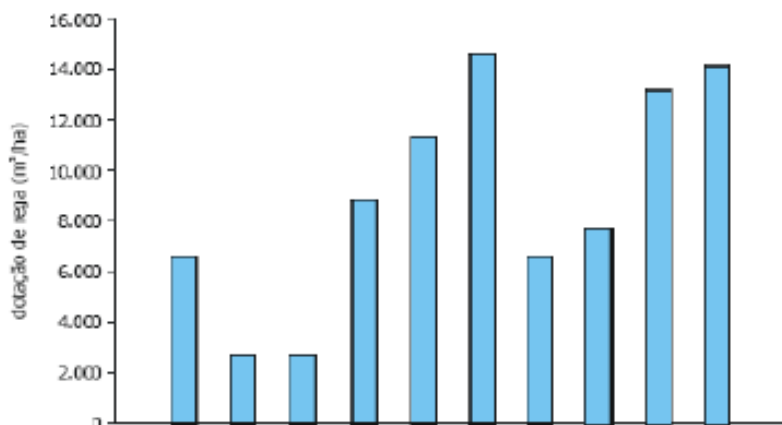


Figura 5: Consumos anuais de água (m³/ha) para rega de 10 campos de golfe no Algarve (fonte: Fernandes, 2007).

5. Tecnologias de Informação Geográfica (TIG)

Atualmente, multiplicam-se as soluções para a manipulação da informação geográfica. A crescente concorrência entre produtos provocou um alargamento das funções oferecidas pelas aplicações. Neste contexto utiliza-se a designação de TIG (tecnologias de informação geográfica) para referenciar o conjunto de instrumentos de gestão da informação geográfica. As TIG são ferramentas centrais para a gestão do território e de todas as atividades com uma componente espacial. Estão em projeto desde a fase de diagnóstico até à implementação, monitorização, modelação e desenhos dos próximos passos (Cosme, 2012). Salientam-se pela sua importância os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), o *Global Positioning Systems* (GPS), o *Computer Aided Design* (CAD) e a Deteção Remota.

A agricultura é uma das atividades que começa a utilizar fortemente as tecnologias de informação geográfica. A agricultura de precisão, e mais recentemente a gestão eficiente de relvados dependem não só da tecnologia avançada de sensores, mas também do uso de GPS (*global positioning systems*) e da aplicação de SIG para analisar e apresentar os inúmeros dados colhidos (Carrow *et al.*, 2010).

5.1. Global Navigation Satellite System (GNSS)

O GPS é um sistema global de posicionamento geográfico que identifica as coordenadas de um ponto à superfície da terra, com base numa constelação de satélites a orbitar em torno da terra (Cosme, 2012). Segundo Prates (2004) é um sistema rádio com um sentido, emitindo duas frequências a partir de uma constelação de 24 satélites, com as quais é mensurável a distância entre as posições conhecidas dos satélites e um recetor. A posição do recetor é dada pela intersecção de três esferas de raios iguais a três distâncias medidas, cada uma com centro na posição de cada satélite. Na verdade quatro distâncias são necessárias para possibilitar igualmente a determinação do tempo (Prates, 2004).

Os diferentes ramos do Departamento de Defesa norte-americano foram desenvolvendo diferentes sistemas de navegação. Com o objetivo de uniformizar os diferentes sistemas resultou o “O Sistema de Posicionamento Global NAVSTAR”. Trata-se de um sistema de posicionamento presente nas mais variadas aplicações. É utilizado hoje em dia na aquisição de informação geográfica com precisão e objetivos

diferentes por particulares, empresas e instituições. A introdução desta tecnologia nos levantamentos topográficos impulsionou a qualidade e a precisão da informação obtida. O sistema é hoje constituído por 24 satélites em órbita terrestre. O funcionamento do sistema garante que em cada instante e para cada ponto do globo possam ser adquiridos dados de pelo menos quatro satélites em simultâneo (Cosmo, 2012).

O GNSS consiste em três tecnologias de satélites principais: GPS NAVSTAR (sistema Americano), GLONASS (sistema Russo) e Galileo (sistema Europeu). Cada um destes consiste principalmente em três segmentos: (a) segmento espaço, (b) segmento controlo e (c) segmento utilizador. Estes segmentos são praticamente similares nas três tecnologias de satélite e todos juntos constituem o GNSS (*Global Navigation Satellite System*). (“Global”, 2006)

5.2. Sistemas de Informação Geográfica (SIG)

O Centro Nacional de Informação Geográfica (CNIG) faz a distinção entre o SIG enquanto tecnologia e o SIG enquanto projeto. Em sentido lato, “um SIG é um conjunto de procedimentos concebidos com o objetivo de armazenar, aceder e manipular informação georreferenciada”. Em sentido restrito. “um SIG é um conjunto de programas residentes num computador, que permite introduzir, aceder, manipular e visualizar informação georreferenciada”. Entende-se por dados georreferenciados como o produto inicial para a constituição de informação geográfica, com atributos de um dado significado, definida por um conjunto de coordenadas que a localiza num determinado espaço, passível ou não de ser associada a um sistema de referência relacionado com um sistema de projeção (Cosmo, 2012).

6. Variabilidade espacial

Desde o início da agricultura que as parcelas agrícolas têm vindo a ser geridas de forma homogénea e uniforme. Contudo só mais recentemente, com a introdução do sistema global de posicionamento (GPS) e de equipamentos de monitorização da produção, foi possível estabelecer documentação/cartas de produção e de variabilidade espacial do terreno (Corwin e Lesch, 2005b).

O crescimento e a produção da planta variam significativamente dentro de uma pequena área, devido a uma interação dinâmica entre clima, planta e propriedades do solo (Taylor *et al.*, 2007). A variabilidade espacial em terrenos agrícolas resulta de uma interação complexa de fatores: biológicos (ex.: pragas e microrganismos); edáficos (ex.: salinidade, matéria orgânica, nutrientes, textura), antropogénicos (ex.: compactação do solo por parte da maquinaria); topográficos (ex.: declive); e clima (ex.: humidade relativa, temperatura, precipitação).

A gestão localizada de uma cultura visa uma gestão dos solos, pragas e da variabilidade. Mais concretamente é a gestão de campos agrícolas a uma escala menor, não considerando o campo agrícola apenas como uma única unidade de gestão, considerando a variabilidade local. O objetivo é de tornar a gestão economicamente rentável, maximizando a produção e fazer um uso eficiente dos fatores químicos de produção (ou *inputs*) e assim também minimizar os impactos ambientais (Corwin e Lesch, 2005a).

A existência de uma grande variabilidade espacial em relvados desportivos foi notada, começando a haver necessidade de adotar algumas das estratégias utilizadas na agricultura de precisão. Carrow *et al.* (2010) não só compara os conceitos de agricultura de precisão e gestão de precisão em relvado, como também aborda diversas aplicações de campo. Em locais complexos relvados, como num *fairway* de um campo de golfe, as movimentações de terra durante a construção bem como a sua modelação e criação de limites podem influenciar as propriedades do solo. Sugerindo assim uma maior necessidade do uso de mapeamento espacial relativamente à agricultura de precisão (Krum *et al.*, 2010).

À semelhança da agricultura, as principais práticas culturais na manutenção de relvados são a rega, aplicação de fertilizantes, corte do relvado e controlo de pragas e doenças. Como tal todos os técnicos de manutenção de relvados desportivos estão interessados em métodos para melhorar a eficiência dos *inputs*, especialmente

relacionados com as principais práticas culturais, e também de modo a minimizar possíveis impactos ambientais (Beard e Kenna 2008; Carrow e Duncan 2008).

A agricultura de precisão (AP) tem como objetivo obter informações detalhadas de um local específico, através do mapeamento da variabilidade de importantes propriedades do solo e planta, de modo a permitir uma melhor gestão localizada (Corwin e Lesch 2005a). Baseia-se numa premissa de melhoramento da eficiência dos *inputs*, através de um gestão localizada onde os *inputs* (ex.: água, fertilizantes, pesticidas, etc.) são aplicados apenas onde, quando e na quantidade necessária para a planta (Bouma *et al.*, 1999; Corwin e Lesch, 2005a; Bullock *et al.*, 2007).

Muitos dos técnicos de manutenção de relvados, como por exemplo em campos de golfe, já praticam de certo modo alguma gestão de precisão, onde os *greens*, *tees*, *fairways* e *roughs* têm necessidades específicas de gestão (Carrow *et al.*, 2010). O conceito de gestão de precisão em relvados, da expressão em inglês “*precision turfgrass management*” (PTM), só recentemente foi apontado, em paralelo à AP, para a gestão de precisão da rega, das pragas, dos fertilizantes e da salinidade (Stowell e Gelernter 2006; Carrow *et al.* 2007; Bell e Xiong 2008; Krum *et al.* 2010). Neste sentido, a AP e PTM têm vindo a evoluir no sentido de tornar a gestão dos *inputs* mais eficiente (Krum *et al.*, 2010).

As componentes fundamentais da agricultura de precisão, ou utilizando um termo mais geral, gestão de precisão, são: o GPS, a monitorização do rendimento/produção e a aplicação variável de fatores de produção, combinados com tecnologias existentes como o SIG, a deteção remota (ex.: indução eletromagnética, fotografia aérea, imagens multiespectral de satélite, entre outras), sensores invasivos de medições rápidas das propriedades do solo (ex.: TDR) (Plant, 2001) e/ou sensores geofísicos de CEa (intrusivos e não intrusivos). Com todos os dados colhidos e inseridos num projeto SIG, o objetivo principal será a elaboração de cartas, que apoiarão e serão fundamentais para o empresário agrícola e/ou técnicos de manutenção nas decisões que tiverem de efetuar no futuro aquando das operações culturais.

6.1. Variabilidade espacial e o sistema de rega

A variabilidade espacial em campos agrícolas é um dos fatores que afeta o desempenho da maioria dos sistemas de rega (Tabela 5). A ineficiente aplicação e/ou distribuição da água de rega pode reduzir o rendimento e a qualidade da cultura

(Sanders *et al.*, 2000). A disponibilidade de água no solo foi apontado como o fator mais importante para a cultura (Mcbride, 2003). É portanto fundamental uma aplicação da água de rega uniforme e conseqüentemente aumentar o seu uso eficiente, através da quantificação da variabilidade espaço/temporal existente nos campos agrícolas (Bullock, 2000).

Tabela 5: Variabilidade espacial que influencia a programação de regas e uso eficiente da água. (adaptado de Carrow, 2006)

Acima do solo – variabilidade ao longo do relvado/paisagem devido a:

Variação climática
 radiação solar (exposição N/S, sombra)
 velocidade do vento
 humidade
 temperatura do ar

Tipo e características de relva/planta (estrutura foliar, altura de corte, taxa de crescimento, etc.)

Variabilidade no solo – horizontal e vertical devido a:

Textura do solo
Teor de matéria orgânica
Profundidade do solo
Declive
Capacidade de retenção de água do solo
Infiltração
Salinidade
pH, fertilidade, etc.

Sistema de rega – quando mal operado ou dimensionado torna-se numa fonte de variabilidade

As VRT (*variable rate technology*) podem ser definidas como o conjunto das tecnologias utilizadas para efetuar aplicações diferenciadas dos fatores de produção tendo em conta a informação colhida para cada unidade de área específica, num determinado instante e numa determinada parcela de terreno. As aplicações diferenciadas estão dependentes de tecnologias para controlar as taxas de aplicação dos fatores de produção, os controladores (microprocessadores) que utilizarão a informação dos sensores, fornecida diretamente ou via SIG (Coelho e Silva, nd). Com o *hardware* e *software* necessários, em locais onde existe uma grande variabilidade topográfica e/ou das características do solo, a VRI (*variable rate irrigation*) pode resultar num boa otimização da aplicação de água de rega. Os gestores podem assim dotar a água de rega segundo zonas individuais e específicas de gestão. Este sistema permite aumentar a qualidade da planta, reduzir o escoamento superficial e claro fazer um uso mais eficiente e sustentável dum fator de produção tão importante como a água (Perry *et al.*, 2008).

O dimensionamento de um sistema de rega e a programação das regas são essenciais para a conservação da água. Um dos maiores desafios no dimensionamento e na programação de regas é lidar com a variabilidade espacial, que pode ser muito complexa em relvados com uma grande diversidade de microclimas, devido à diversidade de solos e plantas (Tabela 5). A variabilidade espacial deve ser determinada, para assim ajustar o dimensionamento e/ou projeto do sistema de rega e aplicação de regas localizadas. Um campo de golfe pode ser muito complexo em termos de variabilidade. Tipos específicos de variabilidade (Tabela 5) devem ser individualmente identificados e quantificados (Carrow, 2006).

Recentemente a conservação da água tem tomado uma maior importância. Tem havido um aumento na atividade empresarial na melhoria dos sistemas de rega e na programação, através de melhores *hardware* e no desenvolvimento de *software* que permite a comunicação entre controladores e sensores. Sistemas de rega fortemente automatizados serão inicialmente dispendiosos, mas a longo prazo possibilitarão uma poupança significativa de água e dinheiro (Carrow, 2006).

7. Aplicações específicas de mapeamento

Na agricultura de precisão as duas principais componentes para a avaliação de um local específico são: a identificação do desempenho/performance da cultura (ex.: dados de produção ou índices de stress da planta com base em reflectância espectral) e determinação dos fatores espaciais do solo que diretamente ou indiretamente se relacionam com a produção (ex.: textura, humidade e salinidade) (King *et al.*, 2005). Trenholm *et al.* (1999) referiu a utilização de NDVI como indicador do índice de *stress* da planta de modo a avaliar a performance do relvado. No entanto a abordagem mais utilizada na estimativa das propriedades do solo na agricultura de precisão tem sido a condutividade elétrica aparente (CEa), principalmente através de medições por aparelhos de indução eletromagnética (EM – *electromagnetic induction*) (Corwin and Lesch, 2005a, 2005b). A conjugação de informações relativas à performance da planta e das características do solo resultam numa melhor compreensão dos fatores que possam estar a afetar o desempenho da planta (Corwin e Lesch, 2005a).

Starr (2005) e Duffera *et al.* (2007) indicaram ainda as medições diretas do teor de água no solo, obtidos com o solo à capacidade de campo, como informação espacial valiosa para um dimensionamento e gestão eficientes em sistemas de rega. Notaram ainda que o teor de água no solo (θ), à capacidade de campo, reflete a variabilidade espacial de forma relativamente consistente e correlaciona-se fortemente com propriedades estáveis da paisagem, nomeadamente o tamanho das partículas do solo e a topografia.

7.1. Teor de água no solo

A medição do teor de água no solo (θ) “*in situ*”, através de métodos dieléctricos, tem sido usada com mais frequência, uma vez que não são destrutivos, fornecem medições quase instantâneas, requerem pouca ou nenhuma manutenção, podem permanecer no solo durante o inverno, podem fornecer leituras contínuas, não são radioativos e o seu custo tem diminuído substancialmente nos últimos anos.

Algumas das técnicas baseadas em métodos dieléctricos foram classificadas como TDR (*time domain reflectometry*), TDT (*time domain transmissometry*) e FDR (*frequency domain reflectometry*). A maioria destes instrumentos funciona através do envio de um sinal eletromagnético por uma sonda enterrada no solo. Quando o sinal é

refletido de volta (TDR), atinge o fim do ciclo da sonda (TDT), ou altera a sua frequência (FDR) o sinal é então detetado e analisado. O tempo necessário para o sinal (TDT e TDR) ou a frequência da onda refletida (FDR) varia de acordo com as propriedades dielétricas do solo, que são principalmente reguladas pelo teor de água do solo em torno das sondas (Topp, 2003; Blonquist *et al.*, 2005).

7.2. Índice de vegetação - NDVI

Dos diferentes índices de vegetação, o mais largamente utilizado a nível global é o NDVI (*normalized difference vegetation index*). Tem sido bastante utilizado como indicador da performance ou como indicador do stress da planta. Correlaciona-se fortemente com a qualidade do relvado (uma combinação da densidade das raízes, cor e uniformidade) quando afetado por diferenças inerentes a espécies distintas, stress ambiental, fertilizações ou danos provocados por pragas (Trenholm *et al.* 1999; Bell e Xiong, 2008). Foram igualmente registadas em relvados, correlações entre medições de reflectância e a cor, qualidade, densidade das raízes, teor em N nos tecidos e teor de clorofila (Trenholm, 1999; Bell *et al.*, 2002; Keskin *et al.*, 2004; Kruse *et al.*, 2006; Bremer *et al.*, 2011). A reflectância espectral consegue quantificar a resposta da planta ao stress, aplicações de fertilizantes ou pressões causadas por doenças, mas a sua causa apenas pode ser conhecida através de um estudo controlado ou mediante observações de campo. Portanto uma carta espacial de NDVI pode ilustrar diferenças, mas não revelar a causa, uma vez que diversos fatores podem afetar o valor de NDVI do relvado (Carrow *et al.* 2010).

7.2.1. Medição de NDVI

A medição de NDVI pode ser medida a partir do nível do solo ou por deteção remota (satélites ou fotografia aérea) (Krum, 2008). Sensores óticos utilizam diferentes comprimentos de onda de luz para medir o stress da planta (Bell *et al.*, 2002; Morris *et al.*, 2006; Jiang e Carrow, 2007). Estes sensores medem a reflectância espectral da superfície da relva, convertendo as medições num valor de NDVI.

Considerando os diferentes comprimentos de onda do espectro eletromagnético, observa-se que a vegetação absorve fortemente energia nas regiões do azul e do vermelho, pelo que a reflexão é muito baixa nestas regiões. Na região do verde a

reflexão é um pouco maior, tornando-se intensa na região do infravermelho próximo (IGEO, 2013). As bandas do vermelho (Ver) e do infravermelho próximo (IVP) refletidas pelas folhas do relvado são medidas de modo a calcular [1] o NDVI (Major *et al.*, 2003; IGEO, 2013), sendo estas duas bandas as mais afetadas pela absorção da clorofila nas folhas.

$$\text{NDVI} = \frac{(\text{IVP} - \text{Ver})}{(\text{IVP} + \text{Ver})} \quad [1]$$

O NDVI é adimensional e toma valores que podem variar entre 0 e 1 para a vegetação, onde os valores mais altos indicam uma maior densidade e planta mais saudável (Krum, 2008). A densidade é maior quando a absorção na banda do vermelho é maior e quando o infravermelho próximo absorvido é menor (Fig. 6). Portanto, plantas saudáveis absorvem mais no espectro visível e refletem mais no espectro do infravermelho próximo. O grau de absorção por parte da planta é controlado pela quantidade de clorofila nas folhas. Consoante a produção de clorofila nas folhas aumenta, maior luz visível é absorvida. Consequentemente, menos luz visível é refletida pela planta e mais infravermelho é refletido (Krum, 2008; Verhulst e Govaerts, 2010). Existe uma relação inversa entre o teor de água na folha e a luz visível absorvida. Um maior teor em água resulta numa menor quantidade de luz visível refletida, conduzindo a um valor alto de NDVI (Krum, 2008)

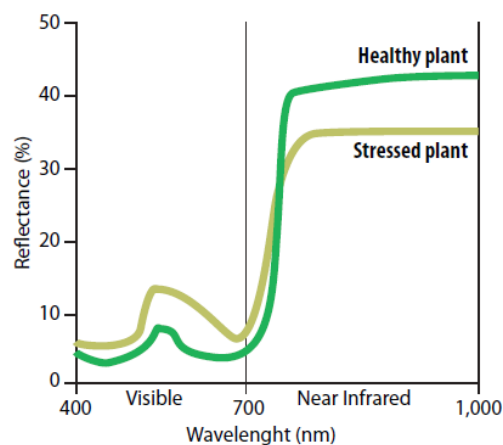


Figura 6: Espectro de reflectância típico de uma planta em stress e uma saudável (adaptado de Verhulst e Govaerts, 2010)

7.3. Condutividade elétrica aparente

As aplicações de campo da condutividade elétrica aparente na agricultura tiveram origem em medições da salinidade do solo. A aplicação de medições de CEa por indução eletromagnética no estudo dos solos apareceu inicialmente no fim dos anos 70 e início dos anos 80, principalmente com o objetivo de medir a salinidade do solo (Corwin e Lesch, 2005a). Atualmente as medições por indução eletromagnética são as mais utilizadas, uma vez que se correlacionam diretamente com diversas propriedades do solo.

7.3.1. Fatores que influenciam a CEa

Existem três vias de fluxo (Fig. 7) de corrente que contribuem para CEa do solo: (a) a via de fase líquida, através dos sólidos dissolvidos na água no solo que ocupa os poros maiores, (b) a via de fase sólida-líquida, principalmente através dos cátions de troca associados com minerais de argila, e (c) a via de fase sólida, através das partículas do solo que se encontram em contacto direto entre si (Rhoades *et al.*, 1999b).

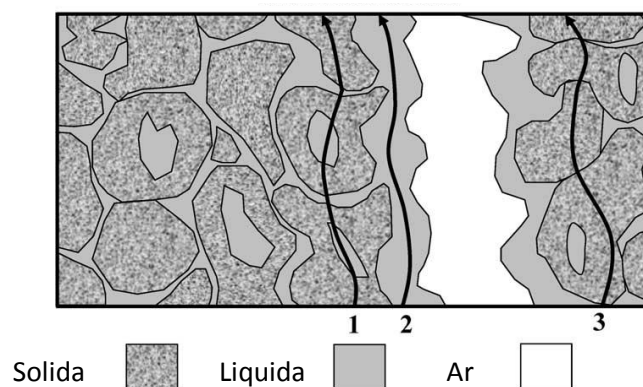


Figura 7: As três vias de condutância elétrica para medições de condutividade elétrica aparente (CEa). 1) via da fase sólida-líquida, 2) via da fase líquida e 3) via da fase sólida (adaptado de Corwin e Lesch, 2005a).

Em consequência das três vias de condutância, as leituras de CEa são influenciadas por diversas propriedades físicas e químicas do solo: (a) a salinidade do solo, (b) percentagem de saturação em bases de troca, (c) teor de água e (d) densidade aparente. Consequentemente o tipo e teor em argila, complexo de troca catiónica e a matéria orgânica foram reconhecidos como fatores adicionais que influenciam as medições de CEa (Corwin e Lesch, 2005a).

Um outro fator indicado como influente na CEa é a temperatura do solo. A condutividade elétrica aumenta aproximadamente 1,9 % por cada aumento de 1 °C (Corwin e Lesch, 2005a).

7.3.2. Indução eletromagnética

Corwin e Lesch (2005a) indicaram cinco métodos que foram desenvolvidos para determinar a salinidade do solo à escala de campo: (a) observações visuais da cultura, (b) condutividade elétrica de extratos de solução do solo, (c) medições *in situ* da resistência elétrica (ER: *electrical resistivity*), (d) medições não invasivas de condutividade elétrica por indução eletromagnética (EM ou EMI: *electromagnetic induction*), e mais recentemente (e) medições *in situ* da condutividade elétrica com TDR (*time domain reflectometry*).

A medição da CEa na agricultura de precisão, especialmente por indução eletromagnética (EM), têm sido o método mais utilizado para o mapeamento espacial do solo, principalmente para estimar a variabilidade espacial de propriedades edáficas como a textura, a humidade e a densidade aparente (Rhoades *et al.*, 1999b; Corwin e Lesch, 2005a, 2005b; Corwin *et al.*, 2008).

A indução eletromagnética é uma técnica não invasiva que permite medir a condutividade elétrica aparente do solo (CEa) por indução de uma corrente elétrica no solo (McNeill, 1980). Uma bobine/transmissor localizada numa extremidade do aparelho de EM, induz uma corrente de Foucault cíclica no solo, sendo que a magnitude desses ciclos é proporcional à condutividade elétrica na proximidade desse ciclo. Cada ciclo de corrente gera um campo eletromagnético secundário proporcional ao valor do fluxo de corrente entre ciclos. Uma fração do campo eletromagnético secundário induzido por cada ciclo é intersectado por um recetor no aparelho, a soma destes sinais é amplificada e forma um *output* (voltagem) que se relaciona com a condutividade elétrica do solo em profundidade, ou seja a CEa (Corwin e Lesch, 2005a). A fase e amplitude do campo secundário vai divergir do campo primário em função das propriedades do solo (ex.: teor em argila, teor de água, salinidade), espaçamento das bobines e orientação, frequência e distância da superfície do solo (Hendricx e Kachanoski, 2002).

O método de indução eletromagnética é normalmente mais seguro que outros métodos de medição, uma vez que não requer uma fonte radioativa como as sondas de

neutrões, é consideravelmente mais rápido que outros métodos, portátil e não invasivo (Reedy e Scanlon, 2003). Os condutivímetros, que operam por indução eletromagnética, mais utilizados no estudo dos solos e agricultura são o EM-31 e EM-38 da Geonics (Corwin e Lesch, 2005a) e o DUALEM-1 (DUALEM, 2013).

7.3.3. Condutividade elétrica aparente na agricultura e manutenção de relvados

A medição da condutividade elétrica aparente do solo tornou-se a mais confiável e frequentemente utilizada na caracterização da variabilidade espacial para aplicações na agricultura de precisão, devido à facilidade e confiança das medições (Rhoades *et al.*, 1999a, 1999b; Corwin e Lesch, 2005a, 2005b).

Padhi e Misra (2011) encontraram boas correspondências entre cartas de CEa e o teor de água no solo. Esta experiência sugere que cartas de CEa podem ser úteis na determinação espacial da água no solo, de modo a fazer uma rega mais eficiente. O potencial das medições espaciais da CEa para prever a produção em função das diferenças de água no solo foi demonstrada por Jaynes *et al.* (1995) e Sudduth *et al.*, (1995). Foi também demonstrado por Kitchen *et al.* (1999) que medições de CEa revelam diferenças no solo associadas a diferentes técnicas de mobilização. Medições espaciais de CEa podem ainda ser utilizadas com indicador do potencial de produção (Sudduth *et al.*, 1995; Kitchen *et al.*, 1999; Corwin *et al.*, 2003b).

Corwin *et al.* (2003b) usaram medições espaciais de CEa para colher amostras de solo, o que permitiu por sua vez o delineamento de unidades específicas de gestão (SSMUs – *site-specific management units*) em função de propriedades edáficas e antropogénicas que influenciam a produção. Esta abordagem permite identificar áreas onde o solo pode ser gerido de forma similar e providenciar recomendações específicas para esses locais de modo otimizar a produção (Corwin e Lesch, 2005a) ou no caso dos relvados desportivos alcançar um relvado mais denso e em condições morfológicas ideais. Uma unidade específica de gestão (SSMUs) é portanto uma subárea com propriedades edáficas idênticas que resultam numa resposta similar por parte da planta, uso eficiente dos *inputs* e impacto ambiental (Duffera *et al.*, 2007; Yan *et al.*, 2007). Contudo em campos de golfe, as medições de CEa têm sido utilizadas na gestão da salinidade, que segundo Duncan *et al.* (2009) se devem ao elevado teor de sais na água de rega.

Taylor *et al.* (2007) reportaram que era necessário desenvolver protocolos uniformes e comprovados para promover a aceitação, confiança e utilização de aplicações de mapeamento na agricultura. Corwin *et al.* (2003a) sugeriram então um conjunto de protocolos com base no mapeamento da CEa para a caracterização da variabilidade espacial e para definição de unidades específicas de gestão (SSMUs), que incluem: desenvolvimento e utilização de plataformas móveis para sensores; definir o objetivo do mapeamento; procedimentos de mapeamento para alcançar o objetivo; protocolos para colheita de amostras de solo; análises laboratoriais para amostras de solo; análises geostatísticas; e apresentação de resultados em SIG.

7.4. Aplicações de campo em relvados desportivos

Carrow *et al.* (2010) nomearam as aplicações de campo base para uma gestão de precisão em relvados, conseguidos tendo em conta o conhecimento e tecnologia atualmente disponível. As seguintes aplicações, através do mapeamento espacial de CEa, NDVI e teor de água no solo à capacidade de campo, foram apontadas pelo autor:

- **Conservação e uso eficiente da água.** Cartas geradas permitem um uso eficiente da água rega, através de melhorias no design do sistema de rega e das dotações aplicadas.
- **Identificação de problemas relacionados com a rega,** associados a funcionamento defeituoso, alinhamento da cabeça, aspersor não operacional, incorreto bocal, dotações de rega em excesso ou em falta. Um carta de NDVI permite identificar áreas secas, que até podem ainda não estar visíveis. Como cartas de CEa é possível observar a distribuição espacial da água de rega e assim analisar a sua distribuição por parte do sistema de rega.
- **Delineamento de unidades específicas de gestão.** Determinação de áreas com características edáficas semelhantes, em função das quais a dotação de rega é aplicada, portanto cada unidade gestão é regada segundo as suas necessidades.
- **Colocação de sensores no solo.** Utilização de um menor número de sensores, colocados segundo a diferentes características edáficas e características topográficas. Cada sensor é colocado num local que reflete diversos outros locais idênticos.

- **Determinação da distribuição espacial da água no solo.** A variabilidade espacial no teor de água no solo deverá refletir uma combinação de características estáveis e variáveis locais como: diferentes características edáficas, topografia, diferentes perdas por ET (evapotranspiração), problemas no sistema de rega que possam estar a impossibilitar um distribuição uniforme da água e de dotações de rega incorretas.
- **Gestão da salinidade do solo.**
- **Aplicação localizada/diferenciada de fertilizantes.** A colheita de amostras de solo pode ser realizada conforme a variabilidade espacial nas características edáficas. Estas aplicações de mapeamento permitem a colheita de um menor número de amostras e posterior aplicação de fertilizantes em função das necessidades de cada local.
- **Sementeiras em locais específicos consoante problemas de compactação.**

Atualmente é também já bastante comum o uso das tecnologias de informação geográfica para gerar informação topográfica com interesse para os jogadores de golfe. Existem inúmeras empresas a prestar este serviço, disponibilizando cartas com diversa informação, nomeadamente relevo, localização de lagos e obstáculos, distâncias, entre outras.

8. Material e métodos

8.1. Descrição do local de amostragem

A colheita de dados deste estudo teve lugar no campo de golfe *Ocean Golf Course* (Latitude: 37° 3'17.72"N; Longitude: 8° 3'51.07"W), construído em Vale do Lobo, no Algarve e inaugurado em 1968, num dos mais importantes empreendimentos de luxo da Europa. Vale do Lobo localiza-se na freguesia de Almancil, concelho de Loulé.

Foram selecionados os buracos 5, 8, 9, um buraco desativado e o campo de futebol (Fig. 8). Os locais de estudo têm áreas distintas (Tabela 6). Estes 5 locais, derivado às suas características topográficas e agronómicas, foram escolhidos de modo a permitirem uma vasta diversidade de situações, ideais para compreender de forma mais vasta e ampla a importância da aplicação destas Tecnologias de Informação Geográfica.

Tabela 6: Área média dos locais de estudo.

Local	Área (ha)
Buraco 8	1,97
Buraco 9	1,70
Buraco 5	0,74
Buraco desativado	0,14 (<i>fairway + green</i>)
Campo de futebol	0,86

Dentro de um mesmo buraco existe uma grande variabilidade espacial, nomeadamente pela existência de diferentes espécies de relvas, alturas de corte do relvado (Tabela 7), práticas culturais e sua frequência/intensidade, dotações de rega, topografia e características edáficas. Entre buracos, características como a sua localização, topografia, tipo de solo, área e data de construção podem ser importantes para uma grande diversidade de situações.

Tabela 7: Espécies de relvas e alturas de corte no local de estudo.

Espécie	Zona do buraco			
	Green	Tee	Fairway	Roughs
	<i>Agrostis stolonifera</i>	<i>Festuca ruba</i> + <i>Poa pratensis</i> + <i>Lolium perene</i>	<i>Festuca ruba</i> + <i>Poa pratensis</i> + <i>Lolium perene</i>	<i>Festuca ruba</i> + <i>Poa pratensis</i> + <i>Lolium perene</i>
Infestantes presentes	+ <i>Poa annua</i>	+ <i>Poa annua</i> + <i>Cynodon dactylon</i>	+ <i>Poa annua</i> + <i>Cynodon dactylon</i>	+ <i>Poa annua</i> + <i>Cynodon dactylon</i>
Altura de corte	3,25 mm	8 mm	11 mm	75 mm



Figura 8: Imagem de satélite do local a realizar o estudo. A) buraco 8; B) buraco desativado; C) buraco 9; D) buraco 5; E) campo de futebol.

8.1.1. Caracterização edáfica

Segundo a classificação de solos de Portugal o buraco 5 foi construído em solos incipientes: Aluviossolos modernos calcários, de textura pesada (Aac), contudo os restantes locais de estudo encontram-se sobre um complexo de solos incipientes: litossolos dos climas de regime xérico, de outros arenitos (Et); solos incipientes: regossolos psamíticos não calcários, normais, não húmidos (Rg); Solos Incipientes: Regossolos Psamíticos, Para-Hidromórficos, húmidos cultivados (Rgc); e solos litólicos não-húmicos pouco insaturados normais, de arenitos grosseiros (Vt) (Kopp, 1989).

O buraco desativado e o campo de futebol foram construídos sobre solo franco-arenoso. Nos buracos 5, 8 e 9 os *fairway* e *roughs* apresentam um solo argiloso. O buraco 5 difere dos restantes por ser resultado da escavação do lago situado junto deste. Foi ainda colocada uma camada de areia com origem num pinhal local. O buraco 9 foi renovado em 2005 onde foi aplicado no *fairway* uma camada de areia importada.

Os buracos utilizados neste estudo têm diferentes datas de construção ou foram alvos de remodelação. O buraco 8 é o mais antigo com 35 anos, o buraco 5 foi construído em 2002 e o buraco 9 renovado em 2005. O buraco desativado foi recentemente reconstruído em 2012.

Os *greens* dos buracos 5, 9 e o desativado foram construídos segundo as especificações da USGA. Por outro lado o buraco 9 é um *green Push-up*, construído com terra nativa de Monchique. Anteriormente à colheita de dados, o *green* do buraco

desativado foi alvo de um estudo, onde em metade do *green* foi incorporada zeólitas e, posteriormente um segundo estudo, onde foi feito um *topdressing* com composto. No buraco 5 são ainda conhecidos problemas de salinidade e compactação.

8.1.2. Caracterização climatológica

Segundo a classificação de Köppen-Geiger, o Algarve classifica-se como sendo um clima temperado húmido com um Verão seco e quente (Csa). Analisando as normais climatológicas (período 1981 – 2010) da estação meteorológica de Faro, a mais próxima de Almancil, a precipitação concentra-se entre os meses de outubro a abril, atingido o valor máximo de precipitação diária em outubro, com 157,9 mm. Em média, dezembro foi o mês com maior precipitação mensal (IPMA).

Relativamente à temperatura os meses de janeiro e fevereiro registam as menores temperaturas mínimas (-1,2 °C). O maior valor de temperatura máxima regista-se no mês de julho (44,3 °C). A temperatura média variou entre 12 °C (janeiro) e 24,2 °C (julho) (IPMA).

No Algarve a humidade relativa média do ar, varia entre 54% e 80%, no entanto nos meses de julho e agosto desce durante o dia até valores muito baixos de cerca de 20%. A insolação, contabiliza na medição da radiação solar global (acima de 120 W/m²), varia entre 6 a 12 horas diárias de sol efetivo. A evapotranspiração potencial (método de Penman-Monteith), varia entre 1,7mm e 7,5mm. A amplitude térmica é baixa, confirmando-se assim a presença de um clima mediterrânico com muita insolação (3339 horas de sol), evapotranspiração, temperatura e humidade relativa medianas. No algarve verifica-se uma predominância da direção do vento Nordeste (entre 270° e 360°) (Oliveira, 2013).

8.1.3. Caracterização do sistema de rega

O sistema de rega é por aspersão, composto por aspersores rotativos de turbina, com um espaçamento de 20 m. O alcance destes aspersores é de aproximadamente 18 m (dependendo da pressão disponível). Segundo medições de campo, em local plano e sem vento, o alcance foi de 12 m. No campo de futebol a rega é feita também por aspersão, mas neste caso por canhões, aspersores de impacto de braço oscilante. Esta

área é regada por seis canhões de rega. A estação de bombagem do campo de *Ocean Golf Course* está instalada junto do buraco 9.

8.2. Colheita de dados

Numa primeira fase foi realizado um levantamento da variabilidade existente nos buracos seleccionados e no campo futebol. Através de aplicações específicas de mapeamento, nomeadamente medições da condutividade elétrica aparente (CEa), índice de vegetação (NDVI) e teor de humidade do solo. Estas aplicações deverão refletir a variabilidade espacial existente ao nível do solo e na qualidade/stress dos relvados.

A importância de protocolos sistemáticos e uniformes para aplicações específicas de mapeamento como a CEa, foi notada por Corwin e Lesch (2005b). Os passos base para um levantamento de campo da CEa são mencionados por Corwin e Lesch (2005b). Carrow *et al.* (2010) descreveu também algumas diretrizes neste sentido.

Para a análise da variabilidade espacial das propriedades do solo, neste caso mais concretamente na análise da água no solo e da sua distribuição, procedeu-se à medição da CEa, realizada por meio do sensor DUALEM-1 (Fig. 9b). O DUALEM é composto por dois recetores que permitem fazer medições a duas profundidades, aos 0,5 m e 1,5 m. Estas profundidades de medição são, segundo o fabricante, ideais para diversas aplicações em agricultura. É um aparelho compacto e facilmente transportável. Este sensor engloba também um recetor GPS WAAS (*Wide Area Augmentation System*) interno, que permite o registo das coordenadas geográficas de cada leitura (DUALEM, 2013).

Este aparelho funciona por indução eletromagnética, não necessitando de qualquer contacto com a superfície do solo, portanto não invasivo. Esta característica confere ao aparelho uma capacidade de mapeamento relativamente rápida e adaptável a diversos tipos de terrenos. O DUALEM é calibrado em fábrica segundo uma técnica patenteada, dispensando qualquer calibração local. O sensor, quando em utilização, deve ser transportado com um arnês, próximo da superfície do solo e a uma velocidade pedonal.

Uma vez que o aparelho funciona por indução eletromagnética e não pode funcionar perto de metal, o seu transporte realizou-se manualmente. Colocado a uma altura 0,1 m do solo, percorreu-se os quatro buracos e campo de futebol de forma uniforme, de modo a colher o maior número de dados e a cobrir toda a área pretendida. O sensor realizou leituras de com intervalos de 1 segundo.

Para a avaliação do stress e/ou medir a qualidade do relvado, foram feitas medições do índice de vegetação (NDVI), utilizando o sensor OptRx, modelo ACS430 (Fig. 10a). Este foi fixado a uma altura de 1,15m do solo num utilitário Gator TS 4x2, da John Deere (Fig. 9a). Realizando medições com um intervalo de 1 segundo, o Gator foi deslocado de forma uniforme ao longo dos buracos, de modo a fazer um levantamento o mais completo possível dos relvados.

O sensor OptRx foi sincronizado com um GPS Trimble Geoexplorer 6000 *series*, GeoXH (Trimble Navigation Unlimited, Sunnyvale, CA) (Fig. 10c). Deste modo a cada leitura do sensor foi atribuída uma referência geográfica.



Figura 9: (a) Utilitário Gator adaptado para o transporte do sensor OptRx, modelo ACS430, sincronizado com um GPS Trimble Geoexplorer 6000 *series*, GeoXH. (b) sensor de indução eletromagnética DUALEM-1, utilizado nas medições de CEa.

As medições do teor de humidade do solo foram realizadas no *fairway* e no *green* do buraco 8. Foi utilizado um sistema TDR IMKO TRIME-FM com a sonda P3-3 rod (160 mm) (Fig. 10b) a uma profundidade de 7 a 10 cm, onde se encontram maioritariamente as raízes. Estabeleceu-se uma malha uniforme com leituras de 2 em 2 m. A informação geográfica de cada leitura foi recolhida por GPS.

Com o sensor TDR foram ainda efetuadas medições em torno de um aspersor localizado no buraco 5, após a rega do local. Foi utilizado o esquema experimental de fonte pontual (*point source*). Neste esquema um único aspersor cria um gradiente hídrico linear desde o aspersor até à bordadura. É utilizada uma área muito menor do que nos esquemas convencionais. Foram feitas 4 medições no intervalo dos 0 aos 2 m, repetindo-se o processo para os 2 aos 4 m, e assim consecutivamente até aos 10 m.

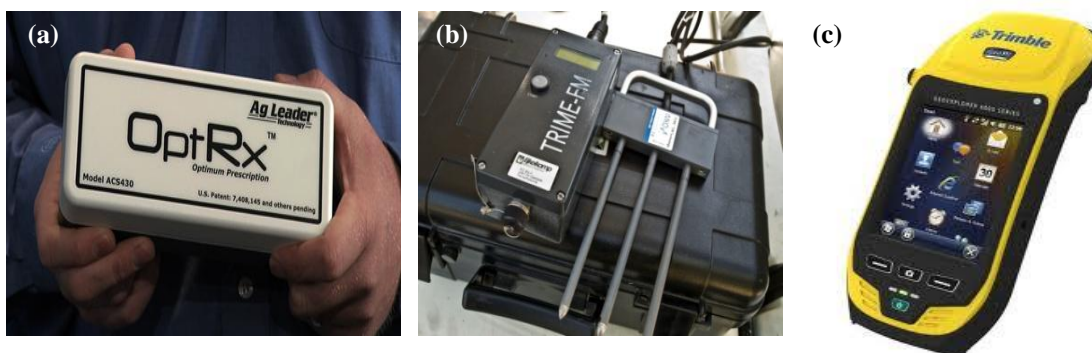


Figura 10: (a) Sensor OptRx, modelo ACS430; (b) conjunto sensor/sonda TDR IMKO TRIME-FM com uma sonda P3-3 rod (160 mm); (c) GPS Trimble Geoexplorer 6000 series, GeoXH.

Uma descrição pormenorizada do local, nomeadamente de parâmetros como os limites dos buracos, levantamento topográfico, georreferenciação dos aspersores e informação acerca do sistema de rega foram necessárias. Toda esta informação já constava dos arquivos da equipa técnica de manutenção, que foi cedida em formato CAD e posteriormente convertida para o *Software ArcGIS 10*.

8.3. Análise e manipulação de dados

Para esta fase o *software* ESRI ArcGIS, versão 10 (ESRI, Redlands, CA), através das extensões *Spatial Analyst* e *Geostatistical Analyst*, foi utilizado para desenvolver, mostrar, analisar e interpretar os dados colhidos.

Corwin e Lesch (2005b) descreve de forma sucinta alguns procedimentos para a elaboração de um projeto SIG e para uma análise geostatística.

Em primeiro lugar foram criados limites para os dados colhidos em cada buraco e respetivo delineamento das diferentes componentes dos buracos, nomeadamente *greens*, *collars*, *tees*, *fairways*, *bunkers* e *roughs*. Para este estudo foi utilizada informação geográfica já existente acerca do campo de golfe. Essa informação foi colhida por uma empresa privada contratada, de onde foi retirada de um ficheiro CAD a localização geográfica dos aspersores e o levantamento topográfico da zona de estudo.

Foi feita uma análise geostatística à distribuição espacial dos valores de CEa, teor de água no solo e NDVI obtidos para cada ponto. É em primeiro lugar criado uma carta *voronoi*, que é no fundo construída por uma série de polígonos formados em redor da localização de um ponto de amostra. Estes polígonos asseguram que qualquer local

está perto do ponto de amostragem desse polígono, mais perto do que de outro ponto de amostragem (ESRI, 2003). Esta ferramenta providencia métodos para atribuir ou calcular valores para os polígonos. Neste caso foi utilizado o *Cluster*, este método coloca todas as células em cinco classes. Permite portanto identificar *outliers* locais considerando os valores dos seus vizinhos. Todos os *outliers* locais com *Cluster* igual a -1 são extraídos da análise. Que normalmente não são mais de 5% dos dados colhidos. De seguida apenas foram selecionadas as células com valores de *Cluster* maior ou igual a 0.

Estudos anteriores onde diferentes métodos de interpolação para o mapeamento de propriedades do solo foram comparados, mostraram resultados diversos. Em alguns casos o método *Kriging* foi considerado o melhor (Laslett *et al.*, 1987; Warrick *et al.*, 1988; Leenaers *et al.*, 1990; Kravchenko e Bullock, 1999). O *Kriging* é no fundo um método de interpolação estatística, que usa dados existentes para prever valores do mesmo tipo em locais sem dados, portanto faz uma previsão espacial por interpolação, usando um modelo de semivariância (ESRI, 2003). Efetuou-se assim de seguida uma interpolação por krigagem normal para a criação de cartas das variáveis CEa e NDVI de cada um dos buracos e do campo de futebol, e no caso do buraco 8 também para o teor de água no solo. Foi gerado um modelo otimizado, utilizando a variável semivariograma do tipo esférico. O semivariograma quantifica a autocorrelação espacial dos dados. É uma função que relaciona a semivariância dos pontos de colheita de dados com a distância que os separa (ESRI, 2003). No processo de Krigagem são disponibilizados alguns parâmetros (alcance, efeito pepita, patamar e o patamar parcial) que dão uma indicação da precisão do modelo gerado para previsão dos valores em falta. Estes parâmetros são usados para descrever os modelos esféricos dos semivariogramas. O alcance, baseado numa autocorrelação espacial dos dados, é a distância (m) na qual o modelo, indica a fração espacialmente dependente do semivariograma, ou seja as distâncias entre os locais de recolha de dados deve ser menor que o alcance se os dados são para ser espacialmente correlacionados por interpolação. É portanto a distância a partir da qual deixa de existir autocorrelação entre as variáveis. Os *outputs* obtidos foram convertidos posteriormente para formato *Raster*.

Para uma análise mais pormenorizada de modo a compreender como a CEa e o índice de vegetação evoluem com o afastamento em relação aos aspersores, através da ferramenta *Euclidean Distance* da extensão *Spatial Analyst*, foram gerados polígonos em redor de cada aspersor. O resultado obtido é um *output* com um tamanho das células

de 1m², que posteriormente foi reclassificado em 10 classes de distâncias lineares dos aspersores, de 2 em 2 metros, deste o aspersor (0 m) até aos 20 metros de distância. Estes polígonos formam portanto uma área, por exemplo dos 0 ao 2 m, dos 2 aos 4 m e assim sucessivamente. Posteriormente pela ferramenta *zonal statistics as table*, da extensão *Spatial Analyst*, foram estimados para cada polígono os valores máximos, mínimos, médios e desvios padrão, para os valores de CEa e NDVI em torno de todos os aspersores.

8.4. Colheita e análises de solo

Em Corwin e Lesch (2005b) são descritos alguns protocolos relativamente à colheita de amostras de solo e respetiva análise das propriedades físico-químicas. As amostras foram tratadas segundo protocolos já implementados no laboratório de solos e resíduos orgânicos da Universidade do Algarve, idênticos aos procedimentos descritos em Corwin e Lesch (2005b).

Procedeu-se à colheita de amostras de solo compostas no buraco 5. A colheita foi feita em torno de um aspersor em local plano até uma distância de 10 m. Foram realizadas 5 amostras compostas de solo. Para cada amostra foram feitos 16 pontos de amostragem. Foram portanto colhidas 16 amostras dos 0 aos 2 m, dos 2 aos 4, dos 4 aos 6m, dos 6 aos 8m e por fim dos 8 aos 10m. Que totalizou 80 pontos de colheita de solo.

No laboratório de solos e resíduos orgânicos da Universidade do Algarve foram realizadas análises de salinidade, nomeadamente pela medição da CEE por condutivimetria em pasta de solo saturada.

8.4.1. Tratamento estatístico dos resultados

A análise dos resultados foi realizada através da análise de variância (ANOVA) e para a comparação de médias, para compreender quais as que diferem significativamente entre si, efetuou-se um teste de Tukey ($p < 0,05$). Os testes estatísticos foram realizados no *software* SPSS versão 17. Foi ainda feita uma análise geoestatística à distribuição espacial dos valores de CEa, teor de água no solo e NDVI, utilizando o *software* ESRI ArcGIS, versão 10.

9. Resultados e Discussão

9.1. Colheita de dados e elaboração de cartas

Recolhidos os dados de campo é necessário inserir os mesmos num projeto SIG, onde o objetivo principal será a elaboração de cartas, fundamentais para compreender espacialmente as variáveis medidas no campo.

Os *kriging* criados para os dados de CEa e NDVI dos quatro buracos e campo de futebol geraram semivariogramas (Fig. 11) que quantificam a autocorrelação espacial dos dados recolhidos (ESRI, 2003). Os parâmetros alcance, efeito pepita, patamar e patamar parcial, são usados para descrever os modelos esféricos (*spherical models*) dos semivariogramas (Tabela 8).

Tabela 8: Parâmetros (efeito pepita, alcance, patamar parcial e patamar) utilizados para descrever os modelos esféricos dos semivariogramas.

CEa					
	Buraco 9	Buraco 8	Buraco 5	Buraco Desativado	Campo de futebol
Efeito pepita	0,3504	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Alcance	8,5461	10,6579	8,5996	7,0263	12,0034
Patamar parcial	38,5728	11,6680	65,7882	3,2411	11,1501
Patamar	38,9232	11,6680	65,7882	3,2411	11,1501
NDVI					
	Buraco 9	Buraco 8	Buraco 5	Buraco Desativado	Campo de futebol
Efeito pepita	0,0007	0,0001	0,0003	0,0000	0,0016
Alcance	4,6075	6,4891	14,7049	6,4707	5,5839
Patamar parcial	0,0031	0,0098	0,0109	0,0006	0,0039
Patamar	0,0039	0,0099	0,0112	0,0006	0,0056
Teor de água no solo					
	Buraco 9	Buraco 8	Buraco 5	Buraco Desativado	Campo de futebol
Efeito pepita	–	1,7444	–	–	–
Alcance	–	19,2568	–	–	–
Patamar parcial	–	367,0785	–	–	–
Patamar	–	368,8229	–	–	–

Neste estudo a distância entre a recolha de dados foi de 3 m, que quando comparada por exemplo com o alcance (8,55 m) do semivariograma da CEa do buraco

9, é significativamente menor. Em geral a distância entre amostras é significativamente menor que os alcances de todos os semivariogramas, portanto para todos os locais do estudo, sugerindo assim que o esquema de recolha de dados foi adequado. Logo distâncias de recolha de dados superiores ao valor de alcance implicam um esquema de recolha desadequado. O menor alcance, de 4,6075 m, foi obtido para o semivariograma de NDVI do buraco 9, ainda assim superior a 3 m.

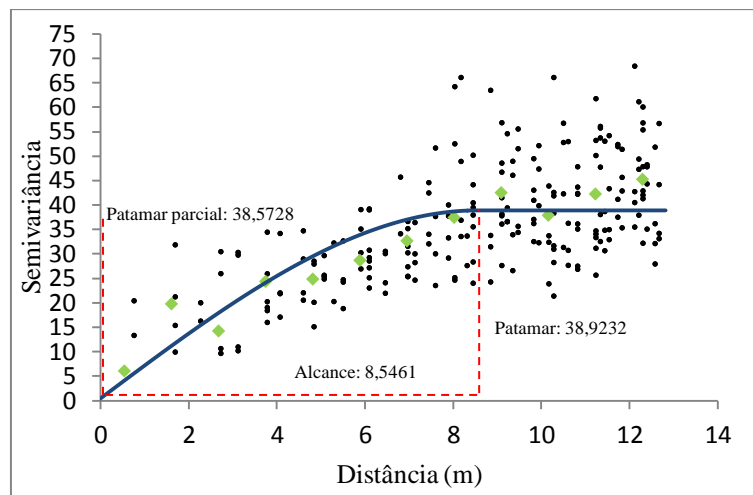


Figura 11: Semivariograma da condutividade elétrica aparente, incluindo a curva do modelo esférico ajustado do buraco 9.

O parâmetro patamar de um modelo semivariograma representa o valor para que o semivariograma tende quando as distâncias ficam demasiado grandes. As distâncias grandes, as variáveis tendem a tornar-se pouco correlacionadas, portanto o patamar de um semivariograma é igual à variabilidade da variável aleatória. O patamar representa então a variabilidade total, enquanto o patamar parcial está associado à variabilidade do processo de autocorrelação espacial sem o efeito pepita.

A variabilidade total, indicada pelo valor patamar, para a CEa foi maior no buraco 5 seguido do buraco 9, buraco 8, campo de futebol e com menor variabilidade o campo desativado. Relativamente ao NDVI o maior valor do patamar ocorreu novamente no buraco 5 seguido do buraco 8, campo de futebol, buraco 9 e por ultimo com uma variabilidade total menor o buraco desativado. Contudo, relativamente à CEa, o buraco 9 apresenta um efeito pepita (0,35) relativamente superior ao buraco 5, o que indica a uma escala menor uma maior variabilidade no buraco 9. O parâmetro efeito pepita representa a variabilidade na origem. Portanto o efeito pepita pode ser atribuído a erros de medição e/ou devido a variações espaciais a distâncias menores que o intervalo de recolha dos dados, ou seja representa a variabilidade a uma escala menor, demasiado

pequena para ser detetada. Logo um valor de efeito pepita mais baixo indica uma menor variabilidade a uma menor escala. Os valores do efeito pepita foram aproximadamente 0, o que indica que houve poucos erros associados às medições realizadas. Contudo registou-se para o buraco 9, relativamente ao semivariograma da CEa, um valor ligeiramente superior aos restantes. Sugere a existência de uma maior variabilidade espacial. A ocorrência de variações bruscas nos valores de CEa, podem dever-se a regas incorretas, avarias ou roturas de condutas de rega ou ainda devido à topografia, nomeadamente o declive acentuado.

Para as medições do teor de água no solo os valores dos parâmetros, nomeadamente o patamar foi significativamente superior aos restantes, indicando a existência de uma grande variabilidade. O efeito pepita neste caso, também ligeiramente superior aos restantes, cerca de 1,7444, poderá estar associado a uma variabilidade espacial a uma escala menor do que a distância de recolha dos dados. As medições do teor de humidade foram realizadas com um espaçamento relativamente grande, portanto com menos medições por área, o que poderá induzir a um modelo menos preciso. Contudo este valor é menor quando comparado com outros estudos como em Krum et al. (2010), onde foram obtidos efeito pepita de 16,2 e 11,6. Poderá sugerir que a recolha de dados por uma plataforma móvel (TMM – Toro Mobile MultiSensor) como a utilizada no referido estudo poderá contribuir para erros de medição ligeiramente superiores.

Para perceber se o modelo providencia as previsões mais precisas é necessário analisar as tabelas 9, 10 e 11. Estes dados permitem saber o quão bem os modelos preveem os valores desconhecidos. O processo que permite gerar esta informação (validação cruzada) omite um ponto do conjunto de dados, prevê o valor desse ponto utilizando os restantes dados, comparando de seguida o valor medido com o previsto. A diferença entre o valor medido e o previsto é conhecido como o erro estimado.

As médias dos erros previstos tomaram valores bastante próximos de 0 ou até iguais 0 para todos os modelos, com exceção do modelo para o teor de água no solo do buraco 9 e ainda os valores de raiz quadrada média normalizada tomaram valores próximos de 1, com exceção do modelo da CEa para campo de futebol (0,556), indicando assim que os modelos fizeram previsões bastante precisas.

Tabela 9: Dados estatísticos estimados pelo processo de validação cruzada para os dados de condutividade elétrica aparente (CEa), que permitem saber o quão bem os modelos gerados preveem os valores desconhecidos

CEa	Buraco 9	Buraco 8	Buraco 5	Buraco Desativado	Campo de futebol
Regressão	0,9123 x + 1,6092	0,8592 x + 1,3111	0,8694 x + 9,2676	0,7760 x + 2,2108	0,8911 x + 1,2235
Erros da estimativa:					
Amostras	861 de 861	725 de 725	412 de 412	139 de 139	325 de 325
Média	-0,017	-0,020	-0,067	0,021	0,021
Raiz quadrada média	3,191	1,535	4,585	1,237	1,223
Média normalizada	-0,002	-0,003	-0,010	0,003	0,005
Raiz quadrada normalizada	0,793	0,660	0,791	0,898	0,556
Erro padrão médio	4,175	2,362	5,864	1,361	2,145

Tabela 10: Dados estatísticos estimados pelo processo de validação cruzada para os dados de NDVI, que permitem saber o quão bem os modelos gerados preveem os valores desconhecidos.

NDVI	Buraco 9	Buraco 8	Buraco 5	Buraco desativado	Campo Futebol
Regressão	0,7639 x + 0,1672	0,9414 x + 0,0431	0,8153 x + 0,1345	0,7892 x + 0,1707	0,5845 x + 0,3096
Erros da estimativa:					
Amostras	1690 de 1690	4590 de 4590	1233 de 1233	329 de 329	982 de 982
Média	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Raiz quadrada média	0,046	0,038	0,048	0,016	0,061
Media normalizada	0,002	0,000	0,001	0,007	0,002
Raiz quadrada media normalizada	0,873	0,857	1,032	1,148	0,897
Erro padrão médio	0,052	0,048	0,044	0,014	0,068

Tabela 11: Dados estatísticos estimados pelo processo de validação cruzada para os dados do teor de água no solo do buraco 8, que permitem saber o quão bem os modelos gerados preveem os valores desconhecidos.

Teor de água no solo	Buraco 9	Buraco 8	Buraco 5	Buraco desativado	Campo Futebol
Regressão	–	$0,1191 x + 45,1860$	–	–	–
Erros da estimativa:	–		–	–	–
Amostras	–	50 de 50	–	–	–
Média	–	1,3446	–	–	–
Raiz quadrada média	–	17,8469	–	–	–
Média normalizada	–	0,0572	–	–	–
Raiz quadrada média normalizada	–	0,8989	–	–	–
Erro padrão médio	–	19,7823	–	–	–

Os valores de raiz quadrada média e erro padrão médio devem tomar valores o mais baixos possível, desta maneira dá-nos uma boa indicação de que os valores previstos não se desviam muito dos valores medidos. Contrariamente aos modelos para a CEa e NDVI, o modelo para o teor de água no solo apresentou valores ligeiramente elevados. São também notórios os valores ligeiramente superiores para os modelos de CEa em relação aos de NDVI. Uma possível explicação passará pelo facto de os dados de CEa recolhidos no campo tomarem uma amplitude de valores relativamente superior quando comparada com os valores de NDVI, que apenas variam entre 0 e 1. Os poucos pontos de recolha ou ainda a grande variabilidade espacial, principalmente a uma escala inferior à de recolha de dados, poderão explicar os valores menos satisfatórios obtidos para o modelo do teor de água no solo. O número de amostras de CEa recolhidas é bastante inferior às amostras de NDVI, em todos os locais de estudo. Neste sentido, um maior número de amostras poderá ter permitido obter modelos mais precisos para a variável de NDVI.

Num sentido geral os modelos mostram ser ideais para gerar cartas e para tomada de decisões. Pela análise da figura 12, é possível visualizar a existência de uma relação quase linear, proporcionalmente direta, entre os valores previstos e os medidos, o que indica que os modelos fizeram previsões bastante eficazes para os locais onde não existia qualquer informação. Estabelecida a precisão das cartas produzidas é agora possível analisar toda a informação criada.

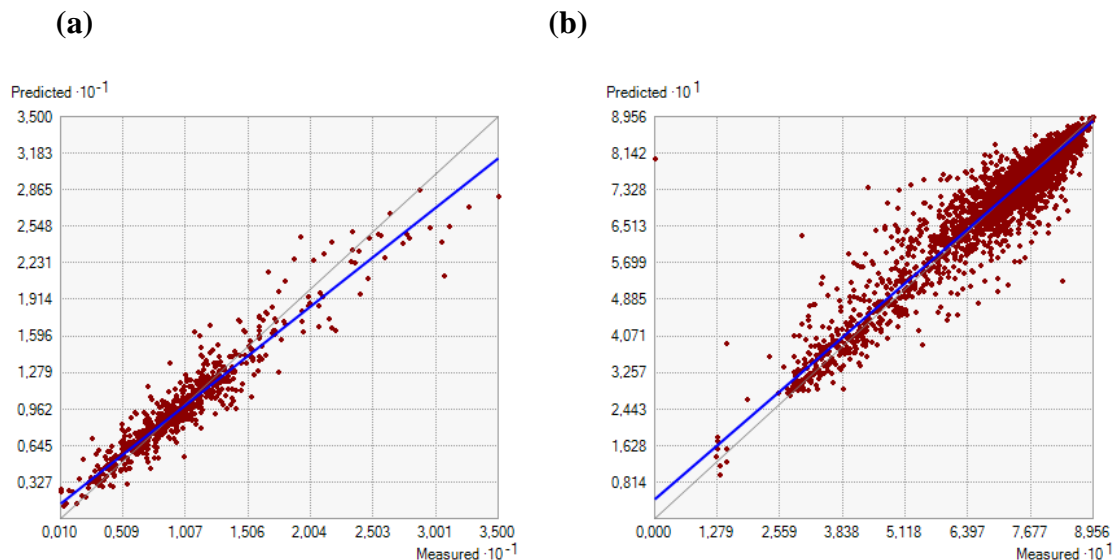


Figura 12: Relação linear entre os valores previstos e os valores medidos da condutividade elétrica aparente do buraco 8 (a) e do NDVI do buraco 8 (b).

9.2. Índice de Vegetação – NDVI

9.2.1. Cartas de NDVI

Cartas de NDVI podem quantificar a resposta do relvado ao stress, aplicação de fertilizantes, pressão causada por doenças e pragas, entre outros. Diversos autores afirmaram que o índice de vegetação correlaciona-se fortemente com a qualidade da relva (uma combinação da densidade das raízes, cor da folha e densidade) quando afetada por diferenças de qualidade inerentes a espécies e cultivares diferentes, stress ambiental, pragas, entre outros. Com as cartas de NDVI é possível caracterizar a variabilidade espacial do estado vegetativo da planta. Desta forma, quando analisado o padrão de variação espacial nas cartas de NDVI consegue-se rapidamente perceber onde se encontram as plantas com maior ou menor grau de stress, seja ele hídrico, nutritivo ou outro.

Plantas saudáveis absorvem mais no espectro visível e refletem mais no espectro do infravermelho próximo. No buraco 8 os valores de NDVI variaram entre 0,93 e 0,12 e grande parte da sua área encontra-se na classe 0,80-0,85. Os valores mais elevados foram registados na zona central do buraco, sobretudo no *fairway* e no *green*, logo com maior reflectância no espectro do infravermelho próximo (Fig. 13). Pelo contrário as bordaduras, ou principalmente nos *roughs*, apresentam os valores mais baixos de NDVI, como no local B (Fig. 13) onde a exposição solar é menor e a aplicação de água de rega é deficiente. A presença de doenças ou pragas como no local A (Fig. 13) são também

causas de stress para o relvado, resultando num relvado menos verde e portanto com um valor de NDVI mais baixo.

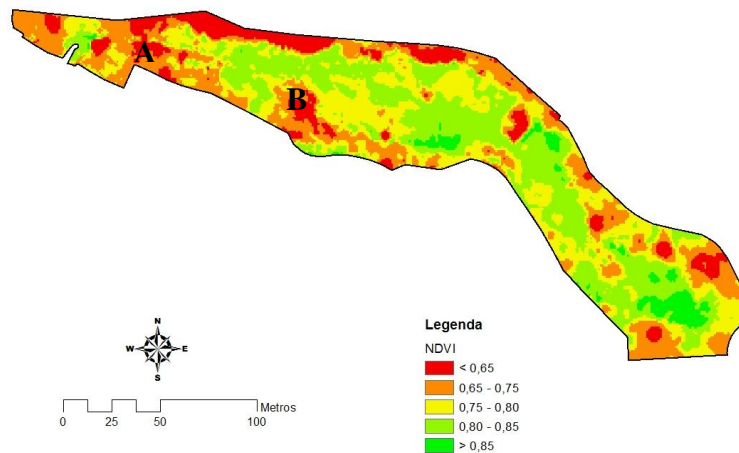


Figura 13: Carta de NDVI do buraco 8.

De todos os locais o buraco 9 é o que apresenta um relvado menos saudável, com valores de NDVI baixos em grande parte da sua área (Fig. 14). Neste buraco o NDVI variou entre 0,86 e 0,36. Manifesta maioritariamente valores de NDVI nas classes dos 0,65 – 0,75 e < 0,65 como no local C (Fig. 14). O green, local D (Fig. 14), apresenta valores mais elevados de NDVI, indicando a presença de um relvado mais saudável e denso. Em todos os buracos o green foi sempre o local com o NDVI mais elevado, com valores a rondar os 0,8.

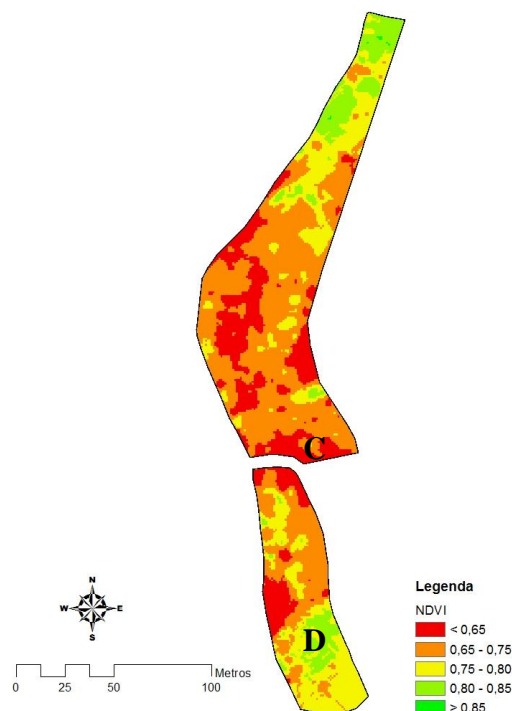


Figura 14: Carta de NDVI do buraco 9.

À semelhança do buraco 8 é nas bordaduras (*roughs*) onde os valores de NDVI são mais baixos no buraco 5 (Fig. 15). Neste local o NDVI tomou valores entre 0,86 e 0,32. Uma área já bastante representativa deste buraco encontra-se nas classes 0,65 – 0,75 e < 0,65, tal como no buraco 9. Este buraco é de todos os locais de amostragem o mais exposto às condições climatéricas por se encontrar muito perto da costa e na sua envolvente a densidade arbórea é reduzida. Neste local a velocidade do vento, humidade do ar, temperatura do ar ou ainda a maresia são importantes fatores de variabilidade espacial na qualidade do relvado. A presença de sais no solo do buraco 5 poderá ainda estar a condicionar fortemente os valores de NDVI registados.

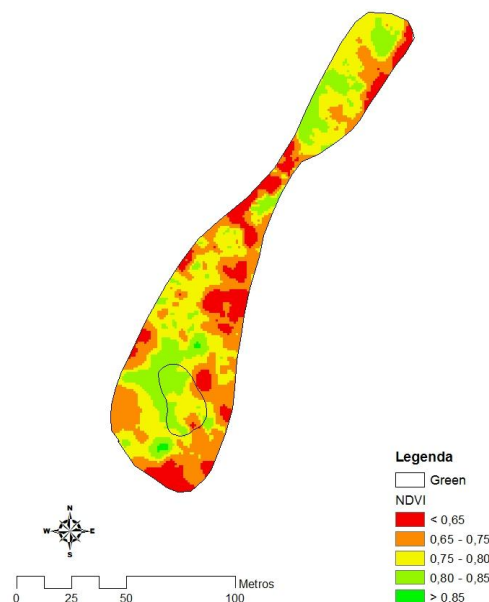


Figura 15: Carta de NDVI do buraco 5.

No buraco desativado os valores de NDVI apenas variaram entre 0,70 e 0,86. Este é um local mais homogêneo e com um relvado mais saudável e denso. Este buraco é de todos os locais o que tem menor variabilidade e um relvado em melhores condições. Contudo grande parte do green encontra-se na classe 0,75-0,80 que poderá indicar que a planta está a sofrer algum tipo de stress, ou pode apenas dever-se ao tipo e as características da relva (estrutura foliar, altura de corte, entre outras) que neste local é diferente (Fig. 16).

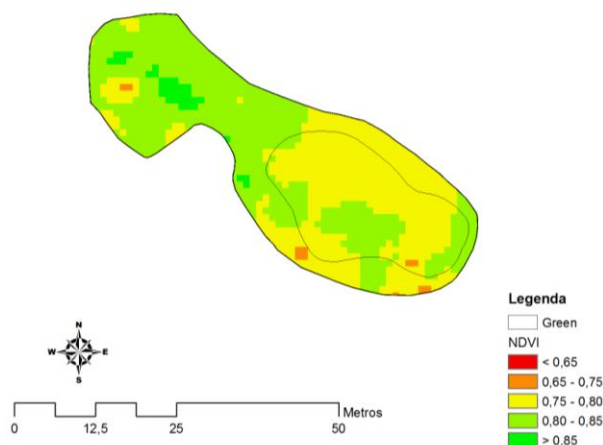


Figura 16: Carta de NDVI do buraco desativado.

Como todos os outros locais, com exceção do buraco desativado, o relvado do campo de futebol mostrou ser um local bastante heterogéneo (Fig. 17). Existe uma grande variabilidade nos valores de NDVI recolhidos. No campo de futebol o NDVI variou de 0,84 a 0,35. Há locais onde o relvado está mais saudável e denso, outros em que a planta está em stress e/ou com uma menor densidade.

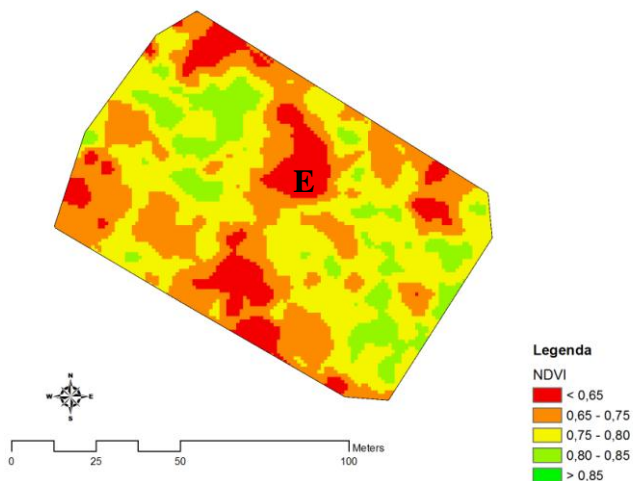


Figura 17: Carta de NDVI do campo de futebol.

Num campo de futebol é frequente haver locais em que o relvado se encontra stressado e menos denso devido ao pisoteio provocado pelo jogo, stressando e desgastando o relvado, dando origem a valores de NDVI menores como no local E (Fig. 17). Problemas de drenagem ou aplicação excessiva de água poderão ainda estar na origem de valores baixos de NDVI, sobretudo por asfixia radicular da planta.

9.2.2. O NDVI em função do afastamento dos aspersores

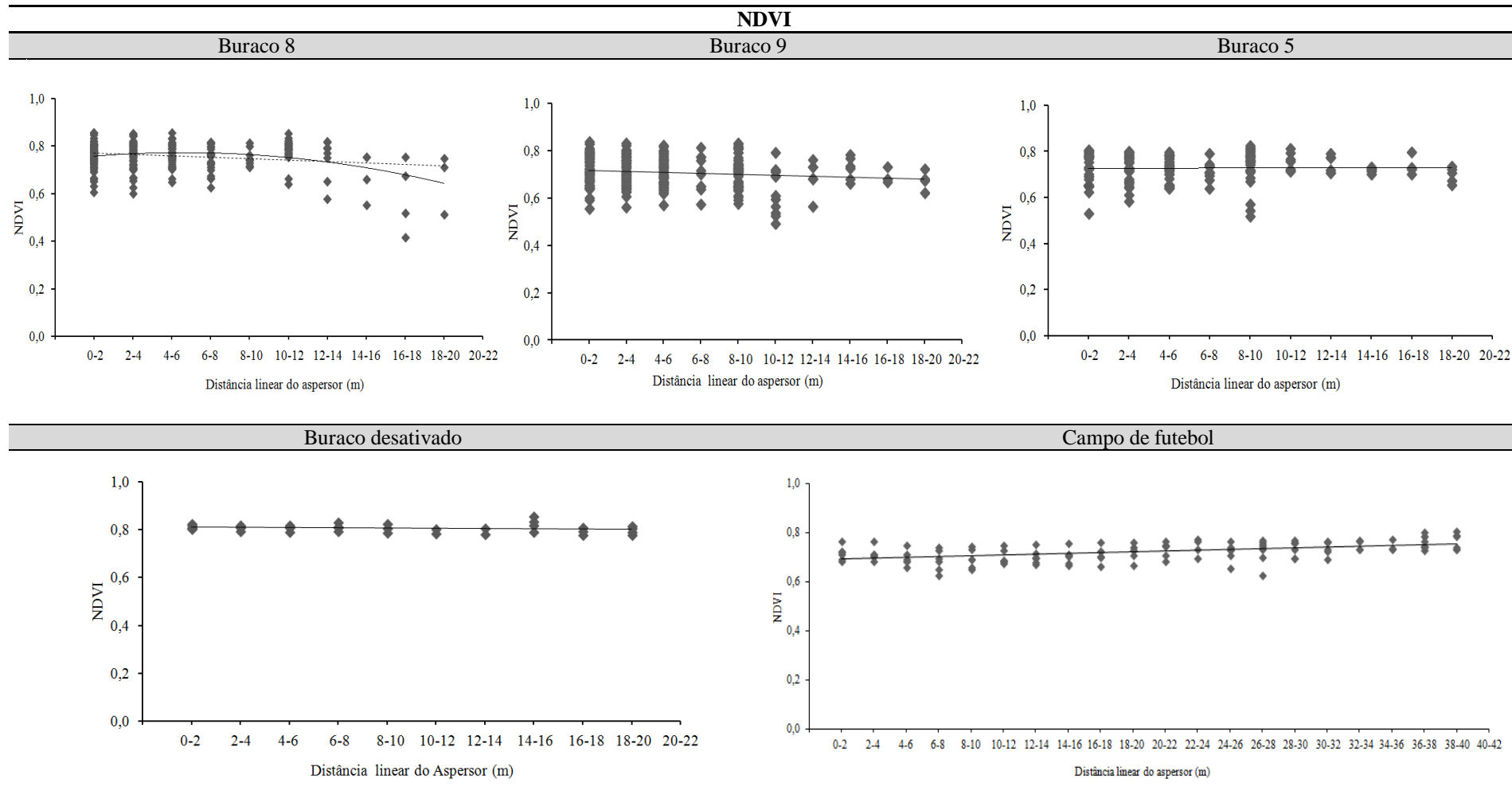
Foram calculados valores médios de NDVI para diversos intervalos de distâncias em redor dos aspersores de todos os locais de estudo, de modo a compreender como esta variável se comporta à medida que nos afastamos do aspersor (Tabela 12).

O buraco desativado e o campo de futebol foram de todos os locais de amostragem, os que apresentaram o NDVI mais estável em função do afastamento dos aspersores, portanto com menor variabilidade para uma mesma distância do aspersor. Estes dois locais são praticamente planos, o que permite uma melhor aplicação da água de rega e um menor escoamento superficial. A homogeneidade do NDVI no buraco desativado poderá ainda dever-se por não estar sujeito à prática do golfe e ainda por ter uma área significativamente inferior aos restantes locais e portanto sujeito a uma menor variabilidade espacial, nomeadamente ao nível edáfico.

Os valores médios de NDVI nos buracos 8, 9 e 5 apresentaram uma grande variabilidade para os diversos intervalos de distâncias, o que indica uma grande heterogeneidade da qualidade do relvado, logo a existência de locais onde o relvado está mais saudável (valores de NDVI próximos de 1) ou menos saudável (valores de NDVI mais próximos de 0).

Nos buracos 9 e 5 existe uma maior amplitude de valores nos primeiros 10 m dos aspersores estabilizando depois até os 20 m, o que poderá indicar que a partir dos 10 m o relvado estará a ser regado mais uniformemente, devido principalmente à sobreposição do perímetro de rega dos aspersores. A variabilidade nos primeiros 10 m dos aspersores pode indicar que na proximidade destes podem estar a ocorrer diversos fenómenos, nomeadamente excesso ou deficit de água no solo. Esta variabilidade em redor dos aspersores pode dever-se a diversos fatores em função da sua localização, como diferentes texturas do solo, profundidade do solo, declive, infiltração, salinidade, fertilidade ou até o próprio sistema de rega.

Tabela 12: Valores médios de NDVI em função do afastamento dos aspersores nos buracos 8, 9, 5, desativado e no campo de futebol, ou seja em torno dos aspersores a diferentes intervalos de distância.



9.3. Condutividade elétrica aparente

As medições de condutividade elétrica aparente (CEa) do solo têm sido vastamente utilizadas na agricultura para o mapeamento dos solos, uma vez que se correlaciona significativamente com diversas propriedades do solo. A condutividade elétrica aparente do solo é uma medição rápida e de confiança, que é frequentemente utilizada na caracterização espacial e temporal de características edáficas (ex.: salinidade, teor de água no solo, textura e densidade aparente).

9.3.1. Cartas de CEa

O mapeamento da CEa do solo permite melhor caracterizar zonas homogêneas de tratamento (ZHT) dos locais de estudo e assim melhorar a tomada de decisão quanto a setores de rega, amostragens de solo de um ponto de vista nutricional, quanto à seleção de espécies de relvas, entre outras. A aplicação de mapeamentos específicos, como a CEa e NDVI permitem otimizar a gestão dos relvados indo ao detalhe e tentando resolver problemas localizados que acabam por ter um impacto global na performance dos relvados.

No buraco 9 os valores de CEa variaram entre 62,21 e 3,99 mS/m. Grande parte deste local encontra-se nas classes <10 mS/m e 10 – 20 mS/m (Fig.18). Que segundo Bevan (1983) (Tabela 13) indicam para a presença de solos arenoso e franco, como nas ZHT 1 e 5, e solos mais argilosos nas ZHT 2, 3 e 4 (Fig. 18).

Tabela 13: Intervalo de valores médios de resistividade e condutividade elétrica do solo para diferentes tipos de solo (Bevan, 1983)

Tipo de solo	Resistividade do solo (Ohm m)	Condutividade do solo (mS/m)
Arenoso (areia grossa)	1000 - 10000	0,1 – 1
Arenoso (areia fina)	200 - 1000	1 – 5
Franco	80 - 200	5 – 25
Limoso	40 - 80	12,5 – 25
Argiloso	10 – 40	25 – 100
Salino	5 -10	100 – 200

Locais com valores de CEa significativamente mais elevados como na ZHT 3 (Fig. 18), pode dever-se à presença de um solo mais pesado, com um maior teor em argila, o que proporciona uma maior retenção de água e nutrientes no solo. Portanto as ZHT 2, 3 e 4 (Fig. 18) são edaficamente semelhantes e onde a aplicação de fertilizantes

e água de rega pode ser feita de forma localizada e idêntica nos três locais. O delineamento de ZHT com base na CEa permite definir zonas edaficamente semelhantes, importante para a gestão da rega, conservação e uso eficiente da água.

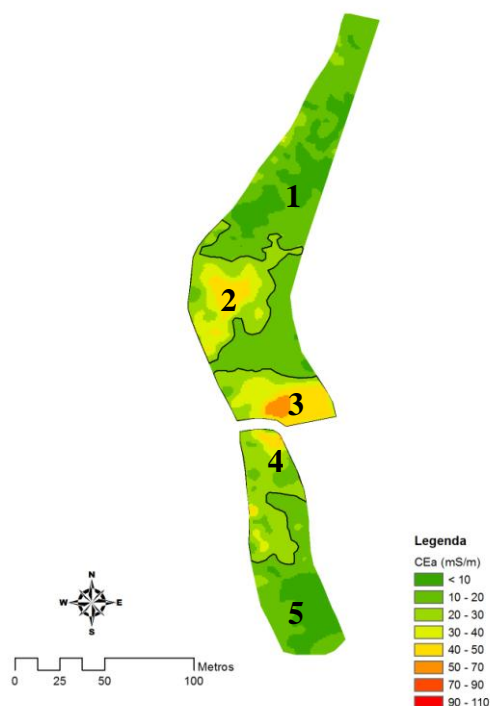


Figura 18: Carta de condutividade elétrica aparente (CEa) do buraco 9. Zonas homogêneas de tratamento (1, 2, 3, 4 e 5) delineadas com base na CEa.

O delineamento de zonas homogêneas de tratamento ou unidades específicas de gestão, permite a colheita de amostras de solo inteligentes em função das cartas de CEa, para validar estas zonas e determinar as características químicas e físicas do solo. As zonas homogêneas de tratamento baseadas na CEa do solo oferecem a possibilidade de uma tomada de decisão mais localizada para os *inputs*, uma vez que reflete diferenças no solo, nomeadamente na textura e matéria orgânica, que se relacionam com o complexo de troca catiónica. Segundo Carrow et al. (2010), num campo de golfe, colher 8 a 10 amostras de solo por ZHT para uma amostra compósita permite obter uma boa informação acerca da variabilidade espacial do solo.

No buraco 8 os valores de CEa variaram de 29,89 a 1,17 mS/m. Encontra-se maioritariamente na classe <10 mS/m, seguido da classe 10 – 20 mS/m (Fig. 19). É um buraco mais homogêneo e com menor variabilidade quando comparado com o buraco 9, apresentado sobretudo solos do tipo arenosos e francos (Tabela 13). O *green push-up* do

buraco 8, englobado na ZHT 8, registou valores de CEa na classe 10 – 20 mS/m, superiores ao green USGA do buraco 9, sobretudo na classe <10 mS/m.

Este buraco tem maiores necessidades de rega por ter um solo mais ligeiro, logo com menor retenção de água. O delineamento de ZHT podem também ser utilizada para a escolha do local ideal para a colocação de sensores *in-situ* de humidade no solo. As ZHT permitem a colocação de um número mínimo de sensores de modo a que cada um destes represente toda a ZHT. Uma colocação cuidada e precisa de um sensor numa ZHT, pode ser utilizada para representar outras ZHT semelhantes. Como no buraco 8, um único sensor de humidade poderia representar a ZHT 7 e 9 (Fig. 19).



Figura 19: Carta de condutividade elétrica aparente (CEa) do buraco 8. Zonas homogêneas de tratamento (6, 7, 8 e 9) delineadas com base na CEa.

O buraco desativado foi de todos os locais o mais homogêneo, apresentando valores de CEa a variar entre 16,93 e 6,26 mS/m. É um local com uma área relativamente pequena o que diminui a probabilidade de englobar locais com solos de propriedades físicas e químicas distintas. À semelhança do buraco 9, o green (ZHT 12) apresentou valores de CEa na classe <10 mS/m (Fig. 20) sobretudo por se tratar de um local com um solo mais arenoso (composto por areia, turfa e brita). Este é um local com maiores necessidades nutricionais e de rega. No green é maior a quantidade de água que pode ser armazenada sob a forma de água gravitacional ou livre, isto é, não retida pelas partículas do solo.

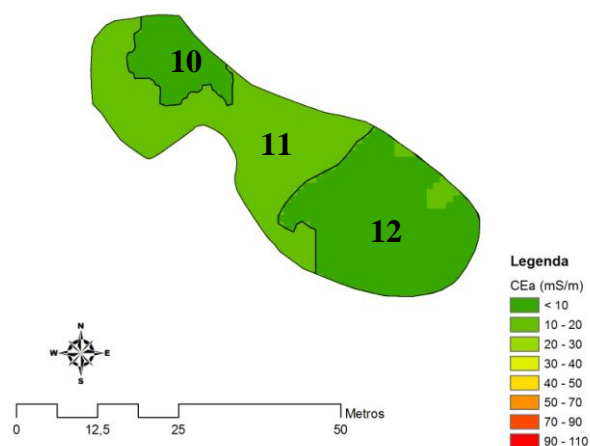


Figura 20: Carta de condutividade elétrica aparente (CEa) do buraco desativado. Zonas homogêneas de tratamento (10, 11 e 12) delineadas com base na CEa.

No campo de futebol os dados de CEa recolhidos variaram de 27,43 a 4,44. Em alguns locais como na ZHT 16 (Fig. 21) registaram-se valores de CEa na classe 20-30 mS/m que indicam para a presença de um solo de textura mais fina (argiloso) (Tabela 13). Contudo o campo de futebol encontra-se principalmente nas classes <10 mS/m e 10 – 20 mS/m (Fig. 21) à semelhança de todos os outros locais de estudo, com exceção do buraco 5 (Fig. 22).

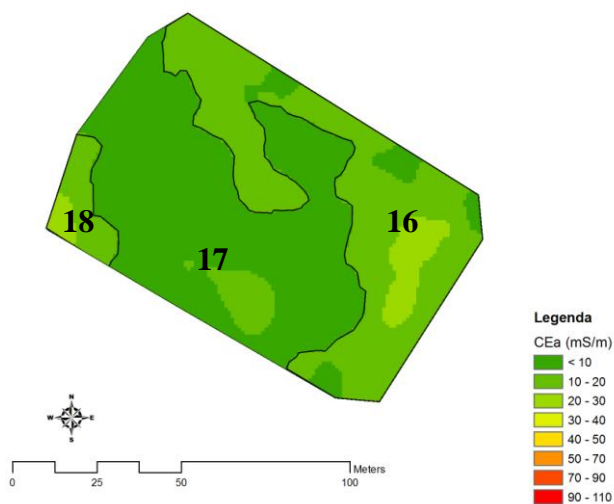


Figura 21: Carta de condutividade elétrica aparente (CEa) do campo de futebol. Zonas homogêneas de tratamento (16, 17 e 18) delineadas com base na CEa.

O buraco 5 destaca-se dos restantes locais de amostragem por apresentar valores de CEa bastante superiores. Neste buraco os valores de CEa variaram entre 106,19 e 50,34 mS/m. As características edáficas deste local, nomeadamente uma textura pesada, ou ainda sobretudo devido à forte presença de sais no solo parecem condicionar a CEa

neste local. Ainda que bastante altos, o green regista valores de CEa relativamente inferiores à restante área do buraco, sobretudo devido às suas características edáficas (green USGA). O *fairway* e *roughs* apresentam maioritariamente valores nas classes dos 70 – 80 mS/m e 80 – 90 mS/m (Fig. 22).

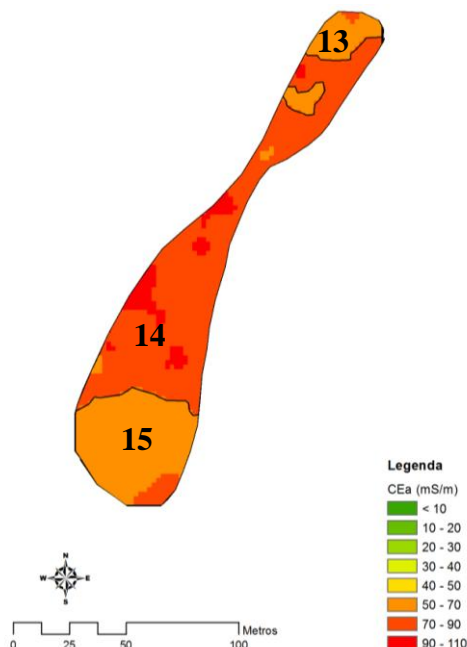


Figura 22: Carta de condutividade elétrica aparente (CEa) do buraco 5. Zonas homogêneas de tratamento (13, 14 e 15) delimitadas com base na CEa.

Ao contrário dos restantes locais de amostragem o buraco 5 foi construído em Aluviossolos, que em regra têm uma toalha freática sujeita a oscilações acentuadas no decurso do ano. Este local tem um historial de problemas relacionados com salinidade e forte compactação do solo. O buraco foi construído modelando o solo retirado da escavação do lago adjacente. A proximidade de solos salinos identificados na proximidade ou ainda a contaminação da toalha freática por águas salinas, tendo em conta a proximidade da costa, poderão ter uma importância significativa no aparecimento de sais neste buraco. Portanto os valores de CEa elevados neste local podem ser explicados pelo facto de o buraco ter sido construído sobre Aluviossolos modernos calcários, de textura pesada (Aac), aliada à forte presença de sais no solo.

Neste buraco, por ter um solo de textura pesada, as necessidades de rega são completamente distintas dos restantes locais de amostragem. Este buraco faz uma maior retenção de água, neste sentido devem ser utilizadas neste local relvas com elevada tolerância ao encharcamento e à salinidade por se tratar de um solo salino. Regas frequentes com o objetivo de lixiviar os sais tende a intensificar os problemas de compactação, causando stress ao relvado.

9.4. Água, planta, solo e doenças

A variabilidade espacial registada nos locais de estudo, mesmo para uma mesma distância do aspersor, pode dever-se a diversos fatores, tais como: edáficos (ex.: textura e compactação), climáticos (ex.: vento e exposição solar), topográficos (ex.: declive), espécies de relva diferentes, formação de *thatch* e/ou ainda o próprio sistema de rega, devido a características de dimensionamento, falhas técnicas ou avarias de aspersores e ainda variabilidade induzida pela sua gestão.

Uma análise combinada do NDVI e da CEa do solo, em redor dos aspersores, permite uma melhor interpretação dos diversos processos que poderão estar a ocorrer junto destes, influenciando a qualidade do relvado (Fig. 23).

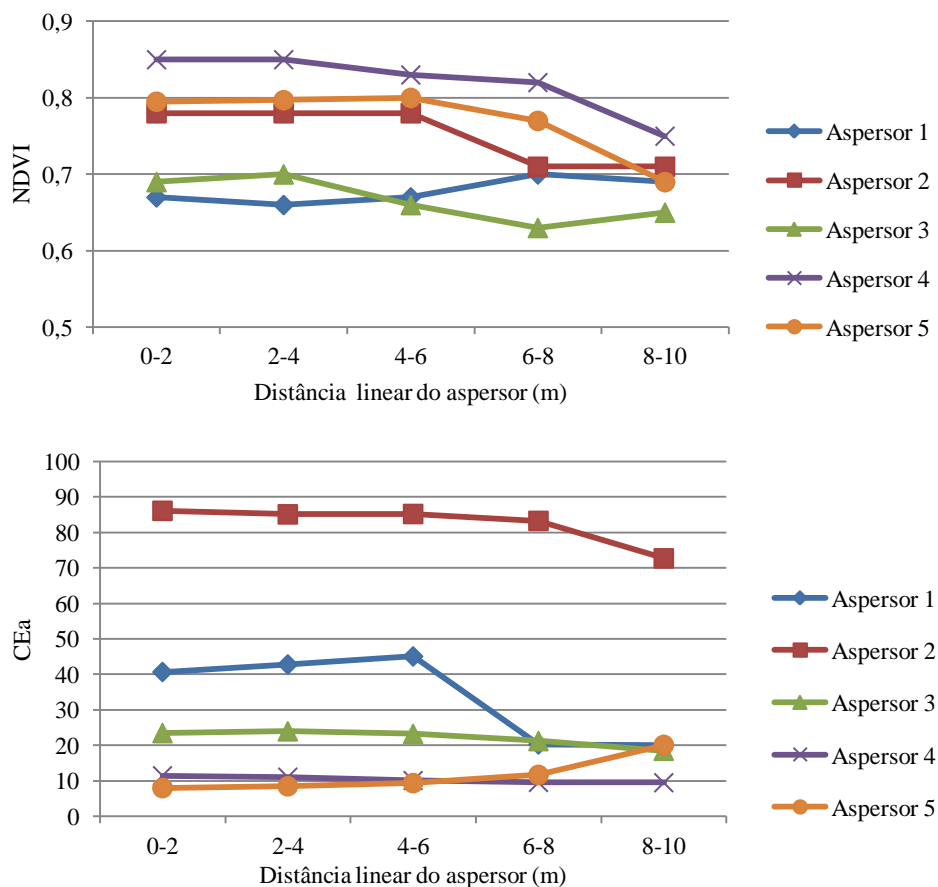


Figura 23: Comportamento do NDVI e CEa em função da distância em redor de cinco aspersores, em zonas distintas dos locais de amostragem.

Foi na zona central do buraco 8, que compreende o *fairway* e o *green*, onde foram obtidos os valores mais elevados de NDVI (Fig. 13). Medições do teor de água no solo neste buraco (Fig. 24) mostram, a uma profundidade de 7 a 10 cm, que existe uma maior acumulação de água na zona central do mesmo. Este buraco apresenta uma

forma côncava e uma inclinação ascendente no sentido Este (Fig. 24). Segundo Bullock (2000) características topográficas como a elevação e o declive são responsáveis por aproximadamente 20% da variabilidade espacial da produção. Neste sentido a topografia do buraco 8 poderá estar a influenciar a distribuição da água de rega. Uma menor acumulação de água e nutrientes nas bordaduras do buraco pode induzir um stress do relvado. Por outro lado na zona central do buraco reúnem-se melhores condições para o desenvolvimento da planta, com uma maior disponibilidade de água e nutrientes.

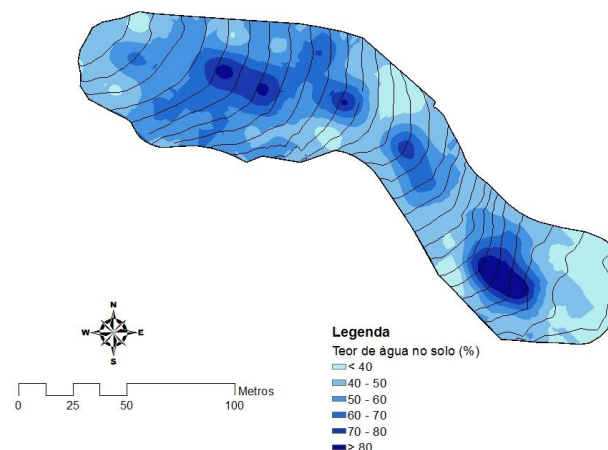


Figura 24: Carta do teor de humidade no solo, a uma profundidade de 7 a 10 cm, no buraco 8.

O aspersor 4 (Fig. 23) localiza-se nesta zona central do buraco. O comportamento da CEa em redor deste aspersor é bastante estável, não variando com o afastamento do aspersor, indicando a presença de um solo homogéneo. Por outro lado o NDVI tende a decrescer em função do afastamento do aspersor, sobretudo a partir dos 6 – 8 m. Neste sentido, e tendo em conta que o solo é homogéneo em redor deste aspersor (CEa estável), uma menor disponibilidade de água no solo na periferia do buraco poderá estar a afetar a qualidade do relvado a uma maior distancia do aspersor, uma vez que a água tende a acumular-se na zona central. Problemas de pressão no sistema de rega, poderão ainda promover um funcionamento incorreto deste aspersor, resultando num menor alcance do mesmo. Uma menor aplicação de água a partir dos 6-8 m pode assim provocar um stress hídrico ao relvado neste local.

A presença de árvores nos *roughs* (como no local B, Fig. 13) podem resultar numa aplicação deficiente de água de rega, numa menor exposição solar pelo sombreamento da copa, e assim também acentuar a diferença dos valores de NDVI obtidos. O grau de manutenção nos *roughs* é ainda relativamente inferior aos restantes locais do buraco, logo a condição do relvado nestes locais será sempre menor.

Observações de campo revelaram que o relvado neste local e em grande parte da bordadura tem uma menor densidade, portanto uma maior percentagem de solo visível, que resulta num NDVI mais baixo.

Outros fatores como pragas ou doenças, como no local A (Fig. 13), presença de espécies e/ou infestantes, que deverão ter uma reflectância espectral distinta e portanto valores de NDVI diferentes, são também importantes causas da variabilidade espacial do NDVI nos locais de estudo. O pisoteio/desgaste provocado pelo jogo é ainda um importante causador de danos no relvado.

O aspersor 5, que rega um green USGA, apresenta valores de CEa estáveis em função da distância, aumentando a partir dos 6 – 8 m de 10 mS/m para 20 mS/m, portanto nos primeiros 8 m o aspersor rega um solo idêntico em toda a distância. Este local, nos primeiros 8 m, tem uma boa drenagem, uma vez que é composto por um solo arenoso (Fig. 25c) e logo com uma textura ligeira. No *fairway* e *roughs* a taxa de infiltração é menor, não só por apresentar um *thatch* (Fig. 25) mais espesso, um solo de textura mais pesada (Fig. 25b), mas também por ser um local topograficamente mais irregular que o *green*, que é um local praticamente plano. Estas características promovem um maior escoamento superficial levando a água a acumular-se em locais mais baixos como no buraco 8 (Fig. 24). Neste sentido a partir dos 6 – 8 m do aspersor 5 pode já haver a presença de um diferente solo que não o do green, resultando num decréscimo significativo do NDVI para 0,7 (Fig. 23).



Figura 25: Medições da espessura do *thatch* nos *roughs* (a), *fairway* (b) e *green* (c) do buraco 9. E análise dos diferentes tipos de solo.

Locais de má drenagem como no local C (Fig. 14) representam um importante fator de variabilidade na qualidade do relvado. O aspersor 1 (Fig. 23) que se encontra neste mesmo local C, apresenta de facto valores de CEa superiores aos restantes aspersores da figura 23. Estes valores podem dever-se à presença de um solo mais

pesado, com maior retenção de água, ou por outro lado devido às suas características topográficas aliada de uma má drenagem, estar a promover uma maior acumulação de água neste local. Nos primeiros 6 m a CEa é elevada e o NDVI é baixo. O que indica que na proximidade do aspersor um maior teor de água no solo estará a causar problemas ao relvado. Depois dos 6 m do aspersor 1 a CEa decresce significativamente de 40 mS/m para 20 mS/m, acompanhada praticamente em simultâneo de um aumento NDVI. Com o afastamento deste local mal drenado, a relva tende a atingir valores de NDVI mais elevados uma vez que o solo não se encontra tão saturado. Já no aspersor 3 o solo parece não ter qualquer influência na qualidade do relvado, pois a CEa mantém-se contante em função do afastamento do aspersor. Contudo existe um decréscimo da qualidade do relvado aos 4 – 6 m voltando a subir ligeiramente aos 8 – 10 m. Um decréscimo do NDVI neste local poderá dever-se a stress hídrico do relvado, provocado por uma falha do sistema de rega, nomeadamente uma falha técnica ou avaria no aspersor ou até mau dimensionamento do sistema de rega, não havendo a sobreposição de perímetros de rega dos aspersores neste local.

Medições do teor de água no solo com uma sonda TDR (Fig. 26) em redor do aspersor 2 (Fig. 23) revelaram o mesmo comportamento da CEa para este mesmo aspersor. A tendência do teor de água no solo é de diminuir com o afastamento do aspersor, assim como a CEa do solo. Contudo a variabilidade dos valores aumenta com o afastamento do aspersor, para uma mesma distância. A variabilidade é menor nos 2 – 4 m, o que indica que é neste local que o aspersor rega mais uniformemente o relvado. Nos intervalos de distância seguintes a variabilidade é maior, variando entre 29,2 e 58,5 % de teor de água no solo.

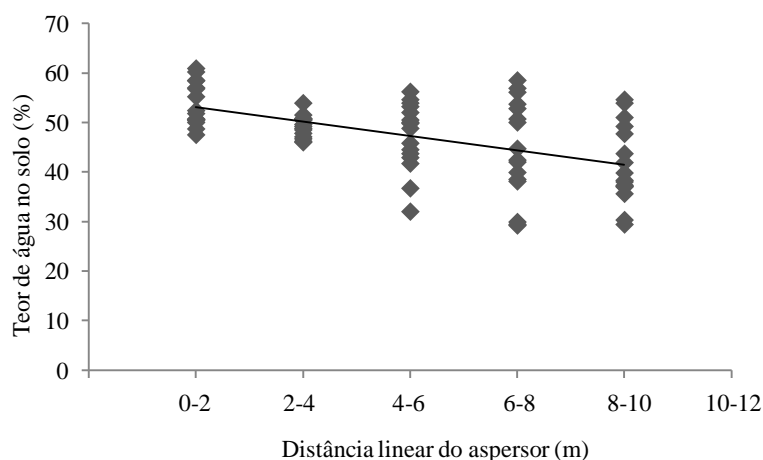


Figura 26: Teor de água no solo em função do afastamento do aspersor 2 no buraco 5, ou seja em torno do aspersor a diferentes intervalos de distância.

Estatisticamente é possível afirmar com um nível de confiança de 95%, que existem diferenças significativas nos teores de água no solo para as diferentes distâncias do aspersor (Tabela 14). O teste de Tukey (Anexo: tabela 1) mostrou com nível de confiança de 95%, que existem diferenças significativas no teor de água no solo nos 0-2m e os 6-8m e 8-10m. Sendo que o teor de água no solo é superior nos 0-2m do que nos restantes. Existe ainda uma diferença significativa dos 2-4m para os 8-10m, onde é possível afirmar estatisticamente que o teor de água é mais elevado nos 2-4m.

Tabela 14: Tabela ANOVA do teste estatístico relativamente ao teor de água no solo em torno do aspersor 2 no buraco 5, com um nível de confiança de 95%.

Teor de água no solo	Soma de quadrados	df	Média dos quadrados	F	Sig.
Entre grupos	1374,552	4	343,638	7,511	0,000
Dentro grupos	3431,253	75	45,750		
Total	4805,805	79			

O aparecimento regular de sais na superfície foliar do relvado do buraco 5 e ainda associados com valores de CEa do solo significativamente superiores às restantes áreas do estudo, parecem indicar que neste buraco a presença de sais no solo poderá estar a influenciar de forma direta as medições de CEa e não o teor de água do solo.

A utilização de água de rega salina, a proximidade de solos salinos, a potencial contaminação da tolha freática por águas salinas e ainda problemas de compactação do solo no buraco 5, podem estar na origem do aparecimento de sais na superfície foliar. Com o aumento da densidade aparente a taxa de infiltração diminui e o escoamento superficial tende a aumentar. Assim à medida que água se evapora começam a surgir os sais sobre o relvado. A má qualidade da água de rega, captada num furo, bastante salina é um problema comum na região do Algarve. Neste sentido a origem dos sais poderá estar ainda na água de rega. Estudos mostraram que apesar de a retenção dos sais ser afetada pelo tipo de solo, em relvados regados com águas salinas, a água é a principal fonte de sais. Quaisquer fatores que afetem a distribuição ou quantidade água aplicada, podem ser tão importantes como o tipo de solo na variabilidade espacial dos sais no solo (Carrow, 2010).

Contudo a análise das amostras de solo recolhidas na periferia deste mesmo aspersor, indicam para um solo não salino. O maior valor de condutividade elétrica em pasta de saturação (CEe), obtido foi de 1,48 dS/m no intervalo dos 6 a 8 m do aspersor. Um solo é apenas considerado moderadamente salino, segundo Varennes (2003) entre 8 e 12 dS/m (Tabela 2). As colheitas de amostras de solo apenas atingiram uma

profundidade de cerca de 10 cm, já o sensor DUALEM faz medições ao longo do perfil de solo até uma profundidade de 1,5m. Nos primeiros 10 cm de profundidade a lixiviação ou diluição dos sais é acentuada devido à frequência das regas, o que justifica os valores de CEe obtidos. A ocorrência de precipitação na data de recolha de amostras de solo, poderá ainda ter influenciado as amostras, promovendo a lixiviação dos sais.

Contrariamente à CEa e ao teor de água no solo, as análises de solo mostraram que o teor de sais no solo (CEe) tende a aumentar com o afastamento do aspersor, diminuindo apenas a partir dos 8 m (Fig. 27). Portanto o teor de sais no solo (CEe) tem um comportamento inverso ao do teor de água no solo, ou seja onde a quantidade de água no solo é maior, o teor de sais é menor. Considerando o alcance dos aspersores de 12 m, segundo medições no local de amostragem, e tendo em conta o espaçamento dos aspersores de 20 m, poderá assim justificar a diminuição dos valores de CEe a partir dos 8 m. Uma sobreposição dos aspersores neste local poderá estar a permitir uma maior lixiviação dos sais presentes no solo. Os valores de CEe tiveram maior variabilidade nos intervalos de distância 2-4 m, 4-6 m e 6-8 m, tomando valores mais estáveis nas distâncias 0-2 m e 8-10 m. Uma maior aplicação de água nestes dois últimos intervalos de distância do aspersor poderá de facto estar a promover uma maior lixiviação dos sais.

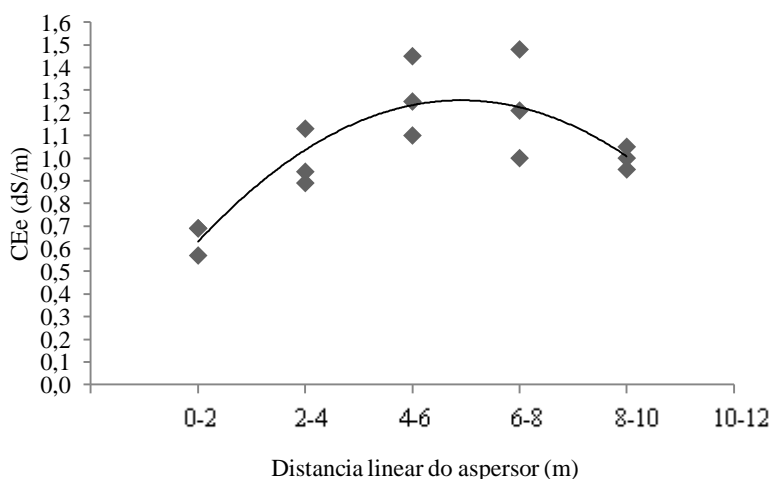


Figura 27: Condutividade elétrica em pasta de saturação (CEe) em função do afastamento do aspersor 2 no buraco 5, ou seja em torno do aspersor a diferentes intervalos de distância.

Pela análise estatística, é possível afirmar com um nível de confiança de 95% que existem diferenças significativas nos valores de condutividade elétrica medidos para as diferentes distâncias do aspersor (Tabela 15). Através de um teste de Tukey (Anexo:

tabela 2) é possível afirmar estatisticamente com um nível de confiança de 95%, que existem diferenças significativas na condutividade elétrica entre os 0-2m e os 4-6m e 6-8m. A condutividade elétrica é menor dos 0 aos 2 m do aspersor.

Tabela 15: Tabela ANOVA do teste estatístico relativamente à condutividade elétrica em pasta de saturação em torno do aspersor 2 no buraco 5, com um nível de confiança de 95%.

CEe	Soma de quadrados	df	Média dos quadrados	F	Sig.
Entre grupos	0,619	4	0,155	4,268	0,029
Dentro grupos	0,363	10	0,036		
Total	0,982	14			

Posto isto a presença de sais (CEe) é menor onde a aplicação de água de rega é superior. Como já visto anteriormente há uma maior aplicação de água dos 0-2m do aspersor, tal como dos 8-10 m derivada à sobreposição de aspersores vizinhos. Uma maior aplicação de água nestes locais poderá assim permitir uma diluição ou maior lixiviação dos sais presentes no solo. Cada aspersor tem segundo jato, com menor alcance, contribuído assim para uma maior aplicação de água na sua proximidade, dos 0 aos 4 m, justificando assim os valores de CEe mais baixos, logo menor presença de sais.

O índice de vegetação (NDVI) no buraco 5 foi semelhante aos restantes locais de estudo. A lixiviação dos sais devido à aplicação de regas frequentes ou ainda a modificação do solo essencialmente na área radicular, pela aplicação de práticas como o *verticut*, *topdressing* ou aerificação, permitem que o relvado não seja muito afetado pela presença de sais no solo.

10. Considerações finais

O primeiro requisito para a aplicação dos princípios da agricultura de precisão a relvados desportivos é a capacidade de obter informação localizada. A caracterização espacial e temporal de um local, nomeadamente através de medições de variáveis como o teor de água no solo, a condutividade elétrica aparente e o índice de vegetação (NDVI), oferece um grande potencial para diversas aplicações que podem melhorar o uso eficiente da água de rega.

O desenvolvimento de sistemas de decisão práticos para aplicações de mapeamento específicas, têm sido um desafio para a agricultura de precisão e um passo essencial é a necessidade de protocolos de mapeamento consistentes. Um dos objetivos deste trabalho era o de testar e definir procedimentos para o mapeamento espacial de diversas variáveis, para a análise geostatística e para a apresentação dos resultados em SIG, de um modo prático mas também com uma base científica para assim contribuir para o desenvolvimento de sistemas de tomada de decisão, como por exemplo para a gestão da rega.

O modelo de interpolação estatística (*kriging*) utilizado gerou modelos bastante precisos para todas as variáveis dos dados colhidos. Os diversos parâmetros dos semivariogramas indicam em geral uma colheita de dados adequada e com poucos erros de medição. Para as medições do teor de água no solo o parâmetro patamar foi significativamente superior às restantes variáveis, o que indica uma maior variabilidade nos dados colhidos. Um maior espaçamento entre colheitas poderá estar na origem de um modelo menos preciso. Num sentido geral os modelos mostraram ser ideais para gerar cartas e para a tomada de decisões.

O mapeamento da condutividade elétrica aparente do solo e do índice de vegetação (NDVI) permitiu gerar cartas que revelaram a variabilidade espacial existente nos locais de estudo. Os relvados desportivos oferecem melhores acessos e condições de mapeamento do que a maioria dos tradicionais locais da agricultura de precisão. Os campos de golfe oferecem um grande desafio para a gestão da rega, embora tenham uma menor área são muito mais complexos que os locais onde geralmente são aplicados conceitos de agricultura de precisão. Diferentes fatores como as propriedades edáficas (ex.: textura, teor de argila, matéria orgânica, etc.) influenciam de forma direta ou indireta a condutividade elétrica aparente do solo e conseqüentemente o teor de água no

solo. Portanto a identificação de áreas que exibem valores baixos ou elevados de CEa são importantes para maximizar o uso eficiente da água de rega.

O buraco desativado e o campo de futebol foram os locais mais homogêneos e com valores de NDVI mais elevados, indicando a presença de um relvado mais saudável e denso. O NDVI apresentou um comportamento estável em função do afastamento dos aspersores e com pouca variabilidade para uma mesma distância do aspersor. Por outro lado os buracos 9, 8 e 5 revelaram uma grande variabilidade espacial na qualidade do relvado, com valores de NDVI bastante heterogêneos e uma grande variabilidade em função do afastamento dos aspersores e para uma mesma distância dos aspersores. Uma menor amplitude no NDVI depois dos 10 m do aspersor, nos buracos 9 e 5, parecem indicar uma rega mais uniforme. Os valores de NDVI mais elevados registaram-se nos greens seguido dos *fairway*, já os *roughs*, sobretudo nos buracos 8 e 5, apresentaram os valores mais baixos de NDVI.

O mapeamento da CEa permitiu identificar, delinear e caracterizar zonas homogêneas de tratamento, e assim melhorar a tomada de decisão quanto a sectores de rega, recolha de amostras de solo inteligentes, entre outras. Cada ZHT tem diferentes necessidades, nomeadamente nutricionais e hídricas. As zonas homogêneas de tratamento oferecem a possibilidade de uma tomada de decisão localizada, permitindo uma aplicação diferenciada, segundo as necessidades de cada local, dos diferentes fatores de produção (ex.: adubos, água, entre outros.). De um modo geral todos os locais apresentaram valores de CEa nas classes <10 mS/m e 10 – 20 mS/m, com exceção do buraco 5 onde foram registadas CEa sobretudo na classe 70 – 90 mS/m. Uma forte presença de sais no solo condicionou a CEa neste local.

No buraco 5 a CEa apresentou um comportamento inverso ao teor de água no solo. Uma maior aplicação de água junto do aspersor e na zona de sobreposição dos perímetros de rega dos aspersores, revelaram um menor teor de sais nestes locais.

Uma análise combinada do NDVI e da CEa do solo, em redor dos aspersores, permitiu uma melhor interpretação e identificação dos diversos processos que poderão estar a ocorrer junto destes, influenciado a performance do relvado. Fatores como a topografia, a textura do solo, problemas de drenagem, ou o próprio sistema de rega (ex.: dimensionamento incorreto ou gestão incorreta, avarias, baixa pressão, etc.) podem afetar de forma direta a qualidade do relvado, refletindo-se no NDVI.

O objetivo de um responsável de manutenção de um campo de golfe é o de evitar diferenças visuais na performance do relvado (ex.: NDVI). Grande parte da

variabilidade espacial na qualidade dos relvados (NDVI) existente nos locais de estudo parece não só relaciona-se com o stress hídrico da planta, mas também sobretudo à presença de diferentes espécies de relva, alturas de corte, infestantes (dicotiledóneas) e também devido a diferentes exposições solares, pragas e doenças.

Fazendo ajustes à gestão da rega segundo as cartas produzidas, e portanto segundo as ZHT, pode levar a um relvado mais saudável (com menor variabilidade espacial) e também a um uso mais eficiente dos *inputs*, nomeadamente a água. O mapeamento espacial destas variáveis permitiu gerar informação útil para a tomada de decisão, nomeadamente na gestão da rega.

11. Bibliografia

ATA – Associação de Turismo do Algarve. Acedido em 25 de Fevereiro de 2013. Disponível em: <http://algarvepromotion.pt/golf/>

Barrett, J., Vinches, B., Dobson, R., Roche, P., Zoldoske, D., 2003. Golf course irrigation – environmental design and management practices. Ed. Jonh Wiley & Sons, Inc. New Jersey. USA.

Baver, L.D., Gardner, W.H., Gardner, W.R., 1972. Soil Physics, 4th ed. John Wiley and Sons, New York. p. 498. Em: Krum, J. 2008. Spatial site assessment of soil moisture and plant stress on golf courses. Master's degree dissertation under the direction of Robert N. Carrow, University of Georgia, USA.

Beard, J. B., e Kenna, M. P., 2008. Water Quality and Quantity Issues for Turfgrasses in Urban Landscapes. CAST Special Publication 27. Ames, IA: Council for Agricultural Science and Technology.

Beard, J.B., 1973. Turfgrass: Science and culture. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.

Bell, G. E., Xiong, X., 2008. The history, role, and potential of optical sensing for practical turf management. Em: Carrow, R.N., Krum, J.M., Flitcroft, I., Cline, V., 2010. Precision turfgrass management: challenges and field applications for mapping turgrass soil and stress. Precision agric. 11: 115 – 134.

Bell, G.E., Martin, D.L., Wiese, S.G., Dobson, D.D., Smith, M.W., Stone, M.L., e Solie, J.B., 2002. Vehicle-mounted optical sensing: an objective means for evaluating turf quality. Crop Science 42:197-201.

Bevan, B., 1983. Electrom a gnetics for Mapping Buried Earth Features. Journal of Field Archaeology 10:47-54.

Blonquist, J.M., Jones, S.B., Robinson, D.A., 2005. A time domain transmission sensor with TDR performance characteristics. J. Hydrol. 314: 235–245.

Bouma, J., Stoorvogel, J., Van Alphen, B. J., Booltink, H. W. G., 1999. Pedology, precision agriculture, and the changing paradigm of agricultural research. Soil Science, 63: 1763–1768.

Bremer, D.J., Lee, H., Su, K., Keeley, S.J., 2011. Relationships between normalized difference vegetation index and visual quality in cool-season turfgrass: II factors affecting NDVI and its component reflectances. Crop Sci. 51: 2219–2227.

Bullock, D.S., N. Kitchen, D.G. Bullock., 2007. Multidisciplinary teams: A necessity for research in precision agriculture systems. Crop Science. 47:1765–1769.

Bullock, D.S., Bullock, D.G., 2000. From agronomic research to farm management guidelines: a primer on the economics of information and precision technology. Precision. Agric 2: 71–101

Carrow, R.N., Krum, J.M., Flitcroft, I., Cline, V., 2010. Precision turfgrass management: challenges and field applications for mapping turfgrass soil and stress. *Precision agric* 11: 115 – 134.

Carrow, R. N., Duncan, R. R., 2008. Turfgrass BMPs for water resources: Holistic-systems approach. Em: Carrow, R.N., Krum, J.M., Flitcroft, I., Cline, V., 2010. Precision turfgrass management: challenges and field applications for mapping turfgrass soil and stress. *Precision agric* 11: 115 – 134.

Carrow, R. N., Cline, V., Krum, J., 2007. Monitoring spatial variability in soil properties and turfgrass stress: Applications and protocols. Em Carrow, R.N., Krum, J.M., Flitcroft, I., Cline, V., 2010. Precision turfgrass management: challenges and field applications for mapping turfgrass soil and stress. *Precision agric* 11: 115 – 134.

Carrow, R.N., 2006. Can we maintain turf to customers satisfaction with less water?. *Agricultural Water Management* 80: 117 – 131.

Carrow, R.N. 2003. Surface organic matter in bentgrass *greens*. *USGA Turfgrass and Environmental Research Online*. 2(17):1-12

Carrow, R. N., Duncan, R. R., 1998. Salt-affected turfgrass sites-assessment and management. Michigan. An Arbor Press.

Carrow, R.N., Petrovic, A.M., 1992. Effects of traffic on turfgrass. *Agron. Monogr.* 32. ASACSSA-SSSA, Madison, WI. USA.

CCDR ALGARVE., 2007. Plano Regional de Ordenamento do Território do Algarve (PROTAL), Volume II - Economia e Desenvolvimento. Faro: Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Desenvolvimento Regional, Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Algarve. Portugal.

Chamberlain, S., ‘Golf Endangers Hawaiian Ecology and Culture’. *Earth Island Journal*, Summer 1995. Em: Wheeler, K., Nauright, J., 2006. A global perspective on the environmental impact of golf. USA. *Sport in society*. Vol. 9, No. 3: 427 – 443.

Chatterjee, P., ‘Clubbing Southeast Asia: The Impacts of Golf Course Development’. *Multinational Monitor* 14 (November 1993). Em: Wheeler, K., Nauright, J., 2006. A global perspective on the environmental impact of golf. USA. *Sport in society*. Vol. 9, No. 3: 427 – 443.

Coelho, J., Silva, J. (n.d.). Agricultura de precisão. Acedido em 15 de Novembro de 2012. Disponível em:
http://agrinov.ajap.pt/diapositos/aprecisao_final/Agricultura/Diapositivos_Agricultura_de_Precisao.pdf

Corwin, D.L., Lesch, S.M., Shouse, P.J., Soppe, R., Ayars, J.E., 2008. Delineating site-specific management units using geospatial ECa measurements. p. 247-254. Em Krum, J. H., Carrow, R. N., Karnok, K. (2010). Spatial mapping of complex turfgrass sites: Site-specific management units and protocols. *Crop Science*, 50.

Corwin, D.L., Lesch, S.M., 2005a. Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. *Computers and electronics in Agriculture*, 46:11 – 43.

Corwin, D. L., Lesch, S. M., 2005b. Characterizing soil spatial variability with apparent soil electrical conductivity I. survey protocols. *Computers and Electronics in Agriculture*, 46: 103–134.

Corwin, D.L., Kaffka, S.R., Hopmans, J.W., Mori, Y., Lesch, S.M., Oster, J.D., 2003a. Assessment and field-scale mapping of soil quality properties of a saline-sodic soil. *Geoderma* 114 (3–4): 231–259.

Corwin, D.L., Lesch, S.M., Shouse, P.J., Soppe, R., Ayars, J.E., 2003b. Identifying soil properties that influence cotton yield using soil sampling directed by apparent soil electrical conductivity. *Agron. J.* 95 (2): 352–364.

Cosme, A., 2012. Projecto em sistemas de informação geográfica. Editora LIDEL. Lisboa, Portugal. Pp 5- 30

Cuddeback, S., Petrovic, A.M., 1985. Traffic effects on the growth and quality of *Agrostis palustris* Huds. p. 411-416. Em Krum, J. 2008. Spatial site assessment of soil moisture and plant stress on golf courses. Master's degree dissertation under the direction of Robert N. Carrow, University of Georgia, USA.

DUALEM - *Electromagnetic (EM) geophysical instruments*. Acedido em 2 de Março de 2013. Disponível em: <http://www.dualem.com/>

Duffera, M., White, J.G., Weisz, R., 2007. Spatial variability of Southeastern U.S. Coastal Plain soil physical properties: Implications for site-specific management. *Geoderma* 137:327–339.

Duncan, R. R., Carrow, R. N., Huck, M., 2009. Turfgrass and landscape irrigation water quality: Assessment and management (p. 464). Boca Raton, FL: CRC Press. Em: Carrow, R.N., Krum, J.M., Flitcroft, I., Cline, V., 2010. Precision turfgrass management: challenges and field applications for mapping turfgrass soil and stress. *Precision agric* 11: 115 – 134.

Duncan, R., Carrow, R., 1999. Seashore Paspalum – The environmental turfgrass. Editado por Jonh & Sons, inc. USA.

ERT Algarve - Entidade Regional de Turismo do algarve. Acedido em 23 de Novembro de 2012. Disponível em: <http://www.visitalgarve.pt/visitalgarve/vPT/VivaOAlgarve/70/Golfe/>.

Esposito, K. “Fairways in the Rough.” *Wisconsin Natural Resources Magazine*, August 1998. Em: Wheeler, K., Nauright, J., 2006. A global perspective on the environmental impact of golf. USA. *Sport in society*. Vol. 9, No. 3, pp. 427 – 443.

ESRI, 2003. ArcGIS 9: Using ArcGIS geostatistical analyst. USA.

Fernandes, S., 2007. Sistemas de informação geografia na gestão de campos de golfe – enquadramento teórico e caso de estudo do campo de golfe da Quinta do Lago. Grau de mestre, no Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação da Universidade Nova de Lisboa. Portugal.

Frazier, B.E., Walters, C.S., Perry, E.M., 1999. Role of remote sensing in site-specific management. Em Carrow, R.N. 2005. Can we maintain turf to customers satisfaction with less water?. *Agricultural Water Management* 80 (2006): 117 – 131.

Gaussoin, R., Shearman, R., 2006. Thatch prevention and control. *NebGuide*. Publicado por University of Nebraska – Lincoln Extension, Institute of Agriculture and Natural Resources. G1618.

Global Navigation Satellite System (GNSS). 2006. Acedido em 21 de Setembro de 2013. Disponível em : <http://www.princeton.edu/~alaink/Orf467F07/GNSS.pdf>

Huck, M., 1997. Irrigation design, rocket science, and the SPACE program. U.S. Golf Assoc. *Green Section Record*. 35(1):1-7.

IGEO - Instituto Geográfico Português. Acedido em 20 de Janeiro de 2013. Disponível em:

http://www.igeo.pt/gdr/index.php?princ=PROJECTOS/AGRO130&sessao=m_projectos

IPMA. Acedido em 10 de Julho de 2013. Disponível em:

<http://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/1981-2010/008/>

Irrigation Association, 2003. Landscape irrigation scheduling and water management. Em: Carrow, R.N., Krum, J.M., Flitcroft, I., Cline, V., 2010. Precision turfgrass management: challenges and field applications for mapping turfgrass soil and stress. *Precision agric* 11: 115 – 134.

Jaynes, D.B., Colvin, T.S., Ambuel, J., 1995. Yield mapping by electromagnetic induction. Em Corwin, D.L., Lesch, S.M., 2005a. Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. *Computers and electronics in Agriculture*, 46:11 – 43.

Jiang, Y., Carrow, R.N., 2007. Broadband spectral reflectance models of turfgrass species and cultivars to drought stress. *Crop Sci*. 47:1611-1618.

Jiang, Y., Carrow, R.N., Duncan, R.R., 2003. Correlation analysis procedures for canopy spectral reflectance data of seashore paspalum under traffic stress. *HortScience*. 128(3):343-348.

Keskin, M., Dodd, R.B., Han, Y.J., Khalilian, A., 2004. Assessing nitrogen content of golf course turfgrass clippings using spectral reflectance. *Appl. Eng. Agric*. 20: 851–860.

King, J.A., Dampney, P.M.R., Lark, R.M., Wheeler, H.C., Bradley, R.I., Mayr, T.R., 2005. Mapping potential crop management zones within fields: Use of yield-map series

and patterns of soil physical properties identified by electromagnetic induction sensing. *Precis. Agric.* 6:167–181.

Kitchen, N.R., Sudduth, K.A., Drummond, S.T., 1999. Soil electrical conductivity as a crop productivity measure for claypan soils. *J. Prod. Agric.* 12: 607–617.

Kopp, E., Sobral, M., Soares, T., Woerner, M., 1989. Os solos do Algarve e as suas características. Min. da Agricultura, pescas e alimentação – DGHEA. Direcção Regional de Agricultura do Algarve, DRAA. Sociedade Alemã de Cooperação técnica. Faro, Portugal.

Kravchenko, A.N., Bullock, D.G., 2000. Correlation of corn and soybean grain yield with topography and soil properties. *Agron. J.* 92:75-83.

Krum, J. H., Carrow, R. N., Karnok, K., 2010. Spatial mapping of complex turfgrass sites: Site-specific management units and protocols. *Crop Science*, 50.

Krum, J., 2008. Spatial site assessment of soil moisture and plant stress on golf courses. Master's degree dissertation under the direction of Robert N. Carrow, University of Georgia, USA.

Kruse, J.K., Christians, N.E., Chaplin, M.H., 2006. Remote sensing of nitrogen stress in creeping bentgrass. *Agron. J.* 98: 1640–1645.

Kunimatsu, T., M. Sudo, T. Kawachi., 1999. “Loading Rates of Nutrients Discharging from a Golf Course and a Neighboring Forested Basin.” *Water Science and Technology* 39.

Lailhacar, B., Dukes, M., 2010. Precision of soil moisture sensor irrigation controllers under field conditions. *Agricultural Water Management* 97 (2010): 666-672.

Laslett, G.M., McBratney, A.B., Pahl, P.J., Hutchinson, M.F., 1987. Comparison of several spatial prediction methods for soil pH. *J. Soil Sci.* 38: 325–341.

Leenaers, H., Okx, J.P., Burrough, P.A., 1990. Comparison of spatial prediction methods for mapping floodplain soil pollution. *Catena* 17, 535–550. Em: Corwin, D. L. e Lesch, S. M. 2005b. Characterizing soil spatial variability with apparent soil electrical conductivity I. survey protocols. *Computers and Electronics in Agriculture*, 46: 103–134.

Ling, C.Y. “Golf Gulf Divides Rich and Poor.” *Earth Island Journal* 7, no. 4 (Fall 1992), accessed 9 Nov. 2004 from GALILEO (Academic Search Premier database). Em: Wheeler, K., Nauright, J., 2006. A global perspective on the environmental impact of golf. *USA. Sport in society*. Vol. 9, No. 3: 427 – 443.

Major, D.J., R. Baumeister, A. Touré, S.L. Zhao., 2003. Methods of measuring and characterizing the effects of stresses on leaf and canopy signatures. p. 81-92. ASACSSA-SSSA., Madison, WI. Em: Krum, J. 2008. Spatial site assessment of soil moisture and plant stress on golf courses. Master's degree dissertation under the direction of Robert N. Carrow, University of Georgia, USA.

Martins, V., 2004a. *Estudo sobre o Golfe no Algarve - Estudo Específico sobre a Procura de Golfe no Algarve*. Universidade do Algarve. Portugal.

Martins, M. V., 2004b. Estudo sobre o golfe no Algarve. Estudo específico sobre o impacto do desenvolvimento da actividade do golfe nos recursos hídricos do Algarve. Universidade do Algarve. Portugal. Pp. 13 e 14.

Mcbride, R.G., 2003. Relationships between soil properties and yield variability and the potential for establishing management zones for site-specific management in North Carolina. PhD Thesis. North Carolina State University, USA.

McNeill, J.D., 1980. Electrical conductivity of soil and rocks. Technical Note TN-5. Geonics Ltd., Mississauga, Ontario, Canada.

Merkel, E.J., 1952. The effect of aerification on water absorption and runoff. Pennsylvania State College 21st Annual Turf Conference. p. 1-2. Em Krum, J. 2008. Spatial site assessment of soil moisture and plant stress on golf courses. Master's degree dissertation under the direction of Robert N. Carrow, University of Georgia, USA.

Meyer, B., Anderson, D., Bohning, R., 1983. *Introdução a fisiologia vegetal*. Editora Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa, Portugal.

Morgan, W.C., Letey, J., Richards, S.J., Valora, N., 1966. Physical soil amendments, soil compaction, irrigation, and wetting agents in turfgrass management I. Effects on compactability, water infiltration rates, evapotranspiration, and numbers of irrigations. *Agron. J.* 58:525-535.

Morris, K.B., Martin, K.L., Freeman, K.W., Teal, R.K., Girma, K., Arnall, D.B., Hodgen, P.J., Mosali, J., Raun, W.R., e Solie, J.B., 2006. Mid-season recovery from nitrogen stress in winter wheat. *J. Plant Nutr.* 29:727-745. Em: Krum, J. 2008. Spatial site assessment of soil moisture and plant stress on golf courses. Master's degree dissertation under the direction of Robert N. Carrow, University of Georgia, USA.

Oliveira, P., 2013. Acedido em 10 de Julho de 2013. Disponvel em: <http://www.drapalg.min-agricultura.pt/ema/images/artigos/DRAPALG%20EMAs%20-%20clima%20no%20Algarve.pdf>

O'Neil, K.J., Carrow, R.N., 1982. Kentucky bluegrass growth and water-use under different soil compaction and irrigation regimes. *Agron. J.* 74:933-936.

Pace, M., Johnson, P., 2002. Growing turf on salt-affect sites. Utah State University Extension. Electronic publishing.

Padhi, J., Misra, R.K., 2011. Sensitivity of EM38 in determining soil water distribution in an irrigated wheat field. *Soil & Tillage research* 117: 93 – 102. Australia

Pereira, L., 2004. *Necessidades de água e métodos de rega*. Publicações Europa-América. Lisboa, Portugal.

Perry, C., Milton, A., Heard, R., 2008. Acedido em 22 de Maio de 2013. Disponível em: <http://nespal.org/vri.html>

Plant, R.E., 2001. Site-specific management: the application of information technology to crop production. *Comp. Electron. Agric.* 30: 9–29.

Platt, Anne E. “Toxic *Green*: The Trouble with Golf.” *World Watch*. 7 May–June 1994.

Prates, G., 2004. NAVSTAR GPS – Sistema de Posicionamento Global. Universidade do Algarve, Faro. Portugal.

Raposo, R., J., 1996. A rega – Dos primitivos regadios às modernas técnicas de rega. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa

Rhoades, J.D., Corwin, D.L., Lesch, S.M., 1999a. Geospatial measurements of soil electrical conductivity to assess soil salinity and diffuse salt loading from irrigation. Em Corwin, D.L., Lesch, S.M., 2005a. Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. *Computers and electronics in Agriculture*, 46: 11 – 43.

Rhoades, J.D., Chanduvi, F., Lesch, S., 1999b. Soil salinity assessment: methods and interpretation of electrical conductivity measurements. *FAO Irrigation and Drainage Paper #57*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, pp. 1–150.

Rockström, Barron, J. J., Brouwer, J., Galle, S., de Rouw, A., 1999. On-farm spatial and temporal variability of soil and water in pearl millet cultivation. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 63:1308-1319.

Rogers, J.N. III, Vanini, J.T., Crum, J.R., 1998. Simulated traffic on turfgrass topdressed with crumb rubber. *Agron. J.* 90:215-221.

Sanders, J., Jim, H., Kvien, C., Stuart, P., 2000. Analysis of the Benefits of Precision Irrigation in South Georgia. Em: Padhi, J., Misra, R.K., 2011. Sensitivity of EM38 in determining soil water distribution in an irrigated wheat field. *Soil & Tillage research* 117: 93 – 102.

Saraiva, M., 2009. Manual de boas práticas ambientais para campos de Golfe: Normas para Planeamento, Projecto, Obra e Exploração de Campos de Golfe numa perspectiva de Sustentabilidade Ambiental. Editora agência portuguesa do ambiente. Portugal.

Shearman R.C., Beard, J.B., 1975. Turfgrass wear tolerance mechanisms: I. Wear tolerance of seven turfgrass species and quantitative methods for determining turfgrass wear injury. 1975. *Agron. J.* 67:208-211.

Silva, J.R., Silva, L.L., 2008. Evaluation of the relationship between maize yield spatial and temporal variability and different topographic attributes. *Biosystems Engineering* 101(2): 183-190.

Stafford, J.V, Mattos, P., 1981. The effect of forward speed on tractor wheel-induced soil compaction: Laboratory simulation and field experiments. *J. Agric. Eng. Res.* 26:333-347.

Starr, G.C., 2005. Assessing temporal stability and spatial variability of soil water patterns with implications for precision water management. *Agric. Water Manage.* 72:223–243.

Stowell, L., e Gelernter, W., 2006. Sensing the future. *Golf Course Management*, 74: 107–110.

Sudduth, K.A., Hummel, J.W., Birrell, S.J., 1999. Sensors for site-specific management. Em Corwin, D.L., Lesch, S.M., 2005a. Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. *Computers and electronics in Agriculture*, 46: 11 – 43.

Sudduth, K.A., Kitchen, N.R., Hughes, D.F., Drummond, S.T., 1995. Electromagnetic induction sensing as an indicator of productivity on claypan soils. Em: Corwin, D.L., Lesch, S.M., 2005a. Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. *Computers and electronics in Agriculture*, 46:11 – 43.

Taylor, J.A., McBratney, A.B., Whelan, B.M., 2007. Establishing management classes for broadacre agricultural productions. *Agron. J.* 99:1366–1376.

Topp, G.C., 2003. State of the art of measuring soil water content. *Hydrol. Process.* 17: 2993–2996.

Trenholm, L. E., Unruh, J. B., Cisar, J. L. 2001. Thatch and its control in Florida lawns. Florida. USA. University of Florida IFAS extension.

Trenholm, L.E., Carrow, R.N., Duncan, R.R., 1999. Relationship of multispectral radiometry data to qualitative data in turfgrass research. *Crop Science.* 39:763–769.

Turismo de Portugal. Acedido em 23 de Novembro de 2012. Disponível em: http://www.turismodeportugal.pt/Portugu%C3%AAs/AreasAtividade/ProdutoseDestinos/Documents/Doc2_Caracteriza%C3%A7%C3%A3oGolfePortugal.pdf

Turismo de Portugal. 2007. *PENT - Plano Estratégico Nacional do Turismo*. Obtido em 17 de 02 de 2010, de Turismo de Portugal: http://www.turismodeportugal.pt/Português/Proturismo1/politicadoturismo/estrategiadoturismo/Anexos/PENT_VERSAO_REVISTA_PT.pdf

USGA – *United States Golf Association*. Acedido em 23 de Fevereiro de 2013. Disponível em: <http://www.usga.org>

Warrick, A.W., Zhang, R., El-Harris, M.K., Myers, D.E., 1988. Direct comparisons between kriging and other interpolators. Em: Corwin, D. L. e Lesch, S. M. 2005b. Characterizing soil spatial variability with apparent soil electrical conductivity I. survey protocols. *Computers and Electronics in Agriculture*, 46: 103–134.

Wheeler, K., Nauright, J., 2006. A global perspective on the environmental impact of golf. USA. *Sport in society*. Vol. 9, No. 3: 427 – 443.

Winter, J.G., Dillon, P.J., Paterson, C., Reid, R.A., Somers, K.M., 2003. “Impacts of Golf Course Construction and Operation on Headwater Streams: Bioassessment Using Benthic Algae.” *Canadian Journal of Botany* 81, no. 8.

Wray, Q., ‘Jozi Whiz Kid Has Golfing Success Right Down to a Tee’, *Business Report*, 28 Sept. 2003, citing sport marketing reports on golf participation. Em: Wheeler, K., Nauright, J., 2006. A global perspective on the environmental impact of golf. USA. *Sport in society*. Vol. 9, No. 3: 427 – 443.

Varenes, A., 2003. *Produtividade dos solos e ambiente*. Escolar editora. Lisboa, Portugal.

Verhulst, N., Govaerts, B., 2010. The normalized difference vegetation index (NDVI) *GreenSeeker*TM handheld sensor: Toward the integrated evaluation of crop management. Part A: Concepts and case studies. Mexico, D.F.; CIMMYT.

Yan, L., S. Zhou, L. Feng, L. Hong-Yi., 2007. Delineation of site-specific management zones using fuzzy clustering analysis in a coastal saline land. *Comput. Electron. Agric.* 56:174–186.

12. Anexos

Tabela 1: Comparações múltiplas (teste de Tukey) dos valores do teor de água no solo nos diferentes intervalos de distância do aspersor.

Comparações Múltiplas

Teor de água no solo
Tukey HSD

(I) distância	(J) distância	Diferença média (I-J)	Erro padrão	Sig.	Intervalo de confiança 95%	
					Limite inferior	Limite superior
0-2	2-4	4,45000	2,39139	,347	-2,2345	11,1345
	4-6	6,46250	2,39139	,063	-,2220	13,1470
	6-8	9,18125*	2,39139	,002	2,4967	15,8658
	8-10	12,18125*	2,39139	,000	5,4967	18,8658
2-4	0-2	-4,45000	2,39139	,347	-11,1345	2,2345
	4-6	2,01250	2,39139	,917	-4,6720	8,6970
	6-8	4,73125	2,39139	,286	-1,9533	11,4158
	8-10	7,73125*	2,39139	,015	1,0467	14,4158
4-6	0-2	-6,46250	2,39139	,063	-13,1470	-,2220
	2-4	-2,01250	2,39139	,917	-8,6970	4,6720
	6-8	2,71875	2,39139	,786	-3,9658	9,4033
	8-10	5,71875	2,39139	,129	-,9658	12,4033
6-8	0-2	-9,18125*	2,39139	,002	-15,8658	-2,4967
	2-4	-4,73125	2,39139	,286	-11,4158	1,9533
	4-6	-2,71875	2,39139	,786	-9,4033	3,9658
	8-10	3,00000	2,39139	,720	-3,6845	9,6845
8-10	0-2	-12,18125*	2,39139	,000	-18,8658	-5,4967
	2-4	-7,73125*	2,39139	,015	-14,4158	-1,0467
	4-6	-5,71875	2,39139	,129	-12,4033	-,9658
	6-8	-3,00000	2,39139	,720	-9,6845	3,6845

*. A diferença média é significativa no nível 0,05.

Tabela 2: Comparações múltiplas (teste de Tukey) dos valores do teor de condutividade elétrica em pasta de saturação (CEe) nos diferentes intervalos de distância do aspersor.

Comparações Múltiplas

Condutividade elétrica
Tukey HSD

(I) distância	(J) distância	Diferença média (I-J)	Erro padrão	Sig.	Intervalo de confiança 95%	
					Limite inferior	Limite superior
0-2	2-4	-,33667	,15551	,267	-,8485	,1751
	4-6	-,52667*	,15551	,043	-1,0385	-,0149
	6-8	-,58000*	,15551	,025	-1,0918	-,0682
	8-10	-,35000	,15551	,237	-,8618	,1618
2-4	0-2	,33667	,15551	,267	-,1751	,8485
	4-6	-,19000	,15551	,740	-,7018	,3218
	6-8	-,24333	,15551	,548	-,7551	,2685
	8-10	-,01333	,15551	1,000	-,5251	,4985
4-6	0-2	,52667*	,15551	,043	,0149	1,0385
	2-4	,19000	,15551	,740	-,3218	,7018
	6-8	-,05333	,15551	,997	-,5651	,4585
	8-10	,17667	,15551	,785	-,3351	,6885
6-8	0-2	,58000*	,15551	,025	,0682	1,0918
	2-4	,24333	,15551	,548	-,2685	,7551
	4-6	,05333	,15551	,997	-,4585	,5651
	8-10	,23000	,15551	,596	-,2818	,7418
8-10	0-2	,35000	,15551	,237	-,1618	,8618
	2-4	,01333	,15551	1,000	-,4985	,5251
	4-6	-,17667	,15551	,785	-,6885	,3351
	6-8	-,23000	,15551	,596	-,7418	,2818

*. A diferença média é significativa no nível 0,05.