UNIVERSIDADE DE TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO

DEPARTAMENTO DE AGRONOMIA

Agricultura de Precisão

Fernando A. Santos

(fsantos@utad.pt)

Vila Real, Outubro de 2012

ÍNDICE

Capítulo I - A agricultura de precisão
Introdução 1
1- Agricultura tradicional vs agricultura de precisão 1
2- Comparação entre a agricultura tradicional e a de precisão 2
3- Objetivos, benefícios e limitações da AP 3
4- As diferentes fases da agricultura de precisão 4
4.1- Recolha e processamento da informação 5
4.2- Análise da informação 7
4.3- Tomada de decisão 8
4.4- Execução das operações culturais 9

Capítulo II - Sistemas GPS
Introdução 10
1- Constituição 10
1.1- O segmento espacial 10
1.2- O segmento do utilizador 11
1.3- O segmento de controlo 11
2- Funcionamento dos sistemas GPS 11
3- Principais sistemas de posicionamento e suas caraterísticas 14
4- Fatores que interferem na determinação da posição dos GPS 16

Capítulo III - Sistemas de informação geográfica
Introdução 18
1- Funcionamento de um SIG 18
1.1- Introdução e armazenamento dos dados 18
1.1.1- Informação espacial 19
1.1.1.1- Modelo matricial 19
1.1.1.2- Modelo vetorial 20
1.1.2- Comparação entre os modelos matriciais e vetoriais 22
2- Manipulação e análise dos dados 24
2.1- Análise de proximidade 24
2.2- Análise de sobreposição 25
2.3- Análise de redes 25
3- Produção da informação. 25

Capítulo IV- Os sensores.
Introdução 27
1- A energia radiante 27
2- O espetro eletromagnético 29
3- Reação dos objetos à energia radiante 33
3.1- Reação da vegetação à energia radiante. 34
3.2- Reação do solo à energia radiante 37

3.3- Reação da água à energia radiante 38
4- Índices de vegetação 39
5- Tipos de sensores mais utilizados na AP 40
5.1- Sensores óticos 41
5.1.1- Sensores óticos para deteção em proximidade da energia radiante 41
5.1.2- Sensores óticos para deteção remota da energia radiante 43
5.1.2.1- Sensores de radiação da faixa do visível e infravermelho próximo 46
5.1.2.2- Sensores de micro-ondas 48
5.1.2.3- Sensores de deteção remota com RADAR 48
5.1.2.4- Sensores de deteção remota por LIDAR 49
6- Caraterização dos sensores que utilizam o espetro do visível e infravermelho para deteção remota 50
6.1- Resolução espetral 50
6.2- Resolução espacial 51
6.3- Resolução temporal 52
6.4- Resolução radiométrica 53
7- Outros tipos de sensores utilizados na AP 55
7.1- Sensores elétricos para medição da condutividade elétrica do solo 55
7.2- Sensores de produção 57

Capítulo V - Caraterização do meio.
Introdução 58
1- Caraterização das plantas 58
2- Caraterização do solo 61
3- Caraterização da água 64

Capítulo VI - Equipamentos para execução diferenciada de operações culturais e/ou aplicação diferenciada de fatores de produção
Introdução 66
1- Componentes necessários para aplicação localizada dos fatores de produção 66
2- Formas de execução modulada das operações culturais 67
2.1- Modulação baseada na cartografia de predição 68
2.2- Modulação em tempo real 68
3- Utilização de equipamentos VRT na modulação das operações culturais e aplicação de fatores de produção. 70
3.1- Mobilização dos solos 70
3.2- Fertilização do solo 71
3.3- Sementeira e plantação 72
3.4- Aplicação de pesticidas 74
3.5- A rega 76

Capítulo VII - Aplicação dos conceitos e tecnologias da agricultura de precisão a diferentes atividades agronómicas
1- Vinha 77
1.1- A variabilidade nas vinhas 77
1.2- Aplicação de pesticidas na vinha 79
1.2.1- Controlo de pragas e doenças 79
1.2.2- Controlo de infestantes 80
1.3- Monitores de rendimento 80
2- Cereais 81
2.1- Constituição dos sistemas de monitorização 82
2.1.1- Sensores de massa e volume 82
2.1.2- Computador 83
2.1.3- GPS 83
2.1.4- Sensor da altura da barra de corte 84
2.1.5- Sensor de velocidade 84
3- Forragens 84
4- Silvicultura 85
5- Produção pecuária 86

Capítulo VIII - As tecnologias da informação e comunicação na gestão das empresas agrícolas
Introdução 88
1- Sistemas de informação para empresas 88
2- Quantificação dos fatores de produção 89
3- Compatibilidade entre equipamentos 89
4- Sistemas de suporte à decisão utilizados em agricultura de precisão. 90
5- Controlo de frotas de tratores e máquinas agrícolas 90
6- Monitorização das condições atmosféricas 91

Capítulo XI - Sistemas de apoio à condução por GPS
Introdução 92
1- Constituição e funcionamento 92
2- Diferentes tipos de sistemas de apoio à condução 93
2.1- Sistemas de condução assistida por GPS 93
2.2- Sistemas de condução automática por GPS 94
3- Utilização dos sistemas de apoio à condução 96
4- Vantagens dos sistemas de apoio à condução 96

Anexos 98
Bibliografia 105

Anexos

Anexo 1- A agricultura de precisão: objetivos, evolução dos equipamentos e linhas de Investigação..... 98
Anexo 2- Componentes de um sistema de AP 99
Anexo 3- Sensores atualmente disponíveis ou em desenvolvimento 100
Anexo 4- Principais sensores utilizados em AP 101
Anexo 5- Comportamento espetral da vegetação a vários comprimentos de onda VIS- visível; IVP- infravermelho próximo; IM- infravermelho médio 102
Anexo 6- Principais parâmetros e sua forma de obtenção, para as diferentes operações culturais..... 103
Anexo 7- Gestão de dados 104

Capítulo I - A agricultura de precisão

Introdução

A agricultura de precisão (AP), também designada por agricultura localizada (SSF- Site-Specific Farming), é uma técnica baseada na aplicação dos fatores de produção e na execução das operações culturais, de acordo com a variabilidade do meio. Esta técnica permite gerir diferenciadamente áreas com caraterísticas distintas, em vez de as considerar como um todo, evitando-se a aplicação de uma taxa única de fatores e a execução das operações culturais de uma forma uniforme. Com esta metodologia evitam-se as sobre e sub aplicações dos fatores de produção nas diferentes partes homogéneas de uma parcela considerando-se assim o meio de acordo com as suas especificidades.

A gestão de uma cultura a uma escala inferior à da parcela designa-se por gestão específica localizada da cultura (SSM - Site-Specific Crop Management), utilizando a agricultura de precisão as tecnologias de informação para se conseguir essa gestão; pode-se afirmar que a SSM é a gestão da variabilidade sem georeferenciação (sem sistemas GPS) e a AP a gestão da variabilidade georreferenciada (com sistemas GPS).

A gestão diferenciada das parcelas, quer no que se refere à aplicação dos produtos quer à execução das operações culturais, implica a aquisição e análise de informação relativa à variabilidade das caraterísticas do solo, plantas e meio ambiente, para além dos conhecimentos agronómicos para a sua gestão. Cada vez mais a AP é considerada como um sistema de gestão da produção agrícola tendo como objetivo principal a otimização dos sistemas de produção em função da variabilidade espacial da produção.

1- A agricultura tradicional *vs* a agricultura de precisão

Na agricultura tradicional a aplicação de fatores de produção é efetuada de um forma homogénea o que leva à sua sobre ou subaplicação em relação às necessidades das culturas, conduzindo a primeira ao aumento dos custos de produção e à poluição do meio e, a segunda, à diminuição da sua eficiência; da mesma forma a execução não diferenciada das operações culturais na agricultura tradicional faz com que operações sejam executadas com as regulações inicialmente definidas. Só a quantidade correta dos fatores obtida pela implementação de uma agricultura de precisão permite maximizar o desempenho dos fatores e racionalizar as operações culturais, minimizando o impacto ambiental.

Em resumo pode-se afirmar que as parcelas ao apresentarem diferentes tipos de solos, com potenciais de produção diferentes, fazem com que a aplicação de doses médias dos fatores conduza a subestimar as necessidades de parte delas e a sobrestimar outras, pelo que a entidade agronómica não deve ser a parcela, mas subunidades desta, que tenham caraterísticas homogéneas e onde se aplicam a mesma quantidade de fator de produção e em que as operações sejam realizadas tendo em consideração a variabilidade.

A variabilidade intra-parcelar resulta:

- das caraterísticas do solo (propriedades físicas, mecânicas e químicas);
- das plantas cultivadas (estados de desenvolvimento, doenças, etc.) e infestantes;
- do clima.

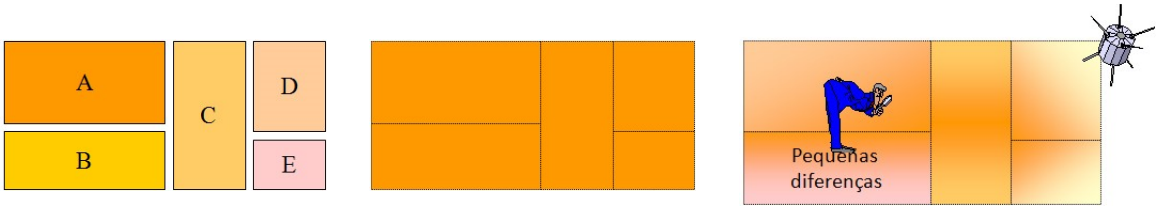


Figura 1- Diferentes formas de agricultura em função da dimensão e homogeneidade das parcelas.
1- Agricultura tradicional, antes da mecanização (parcelas pequenas diferenciadas); 2- Agricultura tradicional, com mecanização intensiva (parcelas grandes, consideradas uniformes); 3- Agricultura de precisão (parcelas grandes com diferenciação)
Fonte: Marquez, L. (2009)

No que se refere ao efeito da variabilidade do meio nas culturas Marçal (2004), considera que:
- a cultura é o melhor sensor do ambiente no qual está inserido;
- os sensores, ao medirem o que a cultura está "a sentir", podem fornecer informações sobre a forma como direcionar as aplicações a taxas variáveis dos fatores de produção e a execução das operações culturais;
- a análise do desenvolvimento das culturas pode ser feita através das suas caraterísticas de refletância espetral (espetroscopia de refletância);
- o mapeamento da variabilidade espacial do stress da cultura torna possível o tratamento diferenciado das doenças, o controlo das deficiências de nutrientes e água no solo, a execução diferenciada de operações culturais, etc.;
- a dificuldade do mapeamento da variabilidade espacial do stress das culturas é identificar quais os fatores responsáveis, uma vez que existem vários que induzem a cloroses foliares identificáveis através das caraterísticas espetrais;
- o mapeamento pode identificar as áreas com stress cabendo aos técnicos identificar a sua causa.

Segundo Berry (2008) entre os principais fatores de variabilidade destacam-se a água, o tempo, a topografia, os nutrientes, as infestantes, as pragas e doenças, os fatores genéticos e a quantidade de sementes, devendo apenas ser considerados quando:
- a sua variabilidade for significativa;
- forem espacialmente mensuráveis;
- a sua variabilidade possa ser explicada e estabelecidas as relações espaciais;
- apresentarem respostas espaciais às práticas culturais;
- se obtiverem resultados positivos de acordo com as práticas implementadas (aumento da produção, redução do impacto ambiental, etc.).

2- Comparação entre a agricultura tradicional e a de precisão

Considerando os aspectos relativos à mecanização agrícola os critérios de decisão, relativamente às tecnologias a utilizar no futuro, quando comparadas com as técnicas atuais, podem ser, de uma forma resumida, as apresentadas no quadro 1.

Quadro 1- Comparação entre a agricultura tradicional e a de precisão

	Critérios de decisão	Tecnologias do futuro	Situação atual
Mobilizações	Escolha em função do tipo de solo e da rotação	Regulação automática das alfaias em função do estado do solo e cultura	Escolha correta do binómio trator-alfaia e racionalização das atuações
Sementeira	Escolha da variedade e dose em função das situações (execução da sementeira e estado do terreno)	Modulação da dose durante a sementeira, em função da variabilidade intraparcelar	Comprovação prévia da dose distribuída, utilização de semente certificada e manutenção do semeador
Fertilização	Racionamento das doses segundo os objetivos de produção; utilização dos balanços de azoto	Modulação intraparcelar das doses segundo as caraterísticas do solo (tipo e profundidade), das zonas identificadas e do estado da cultura.	Comprovação da largura óptima de trabalho, utilização de fertilizantes com caraterísticas adequadas, verificação do caudal distribuído.
Protecção das culturas	Modulação das doses e dos volumes, redução das perdas por deriva, estimativa dos riscos utilizando modelos de previsão	Aplicação selectiva de produtos, utilização de sensores óticos de deteção de infestantes, etc.	Escolha adequada dos parâmetros (velocidade, pressão), escolha dos bicos e sua calibração, adaptação do equipamento às situações.
Agricultura		**Agricultura de precisão**	**Agricultura de formação**

Fonte: Gil, E. (1997)

3- Objetivos, benefícios e limitações da AP

Os principais objetivos da agricultura de precisão podem ser resumidos da seguinte forma:

- intervenções corretas, no momento adequado e no lugar preciso.

As intervenções corretas prendem-se, por exemplo, com a aplicação eficaz da quantidade de N necessária, com a densidade de semente certa e com a aplicação e quantidade de pesticida indicada.
O momento adequado refere-se à possibilidade de fazer variar a quantidade dos fatores a aplicar sempre que necessário e não só no início da operação.
O lugar preciso indica a possibilidade de fazer variar a quantidade dos fatores de produção em função das caraterísticas das parcelas, da variação intra e entre parcelas e entre plantas; exemplo do tratamento aos cachos das videiras.
Para além destes objetivos deve-se ter em consideração a redução dos custos de produção, a proteção do meio ambiente e a melhoria da competitividade dos produtos (qualidade e quantidade).
Para que os objetivos (anexo 1) possam ser atingidos é fundamental fazer variar a quantidade dos fatores e executar diferentemente as operações culturais o que implica conhecer a variabilidade espacial e temporal do meio que condiciona o desenvolvimento das culturas.
A variabilidade espacial permite definir as zonas das parcelas que têm caraterísticas diferentes para que a tomada de decisões seja efetuada em função dessas diferenças. As novas tecnologias utilizam sistemas como o GPS, a análise de imagens, o uso de sensores remotos e de proximidade, etc., para detetar essas diferenças, pois a identificação visual está longe do rigor necessário; os sensores são os dispositivos capazes de detetar e registar a radiação eletromagnética em determinada faixa do espetro, gerando dados que, depois de serem transformados em informação, podem ser apresentada sob a forma de imagem, gráficos ou de tabelas. Radiação eletromagnética (REM) é a

forma de energia que se move na forma de ondas ou partículas eletromagnéticas à velocidade da luz (300 000 km.s^{-1}) e que não necessita de um meio físico para se propagar.
A variabilidade temporal refere-se às variáveis que se alteram rapidamente no decurso do tempo, como, por exemplo, o teor de humidade e concentração de azoto no solo.
Quanto maior for a variabilidade espacial maior é o número de medições a efetuar por unidade de área e, quanto maior for a variabilidade temporal, maior será o número de medições a efetuar por unidade de tempo. A análise da variabilidade espacial e temporal implica a monitorização contínua das caraterísticas do meio.

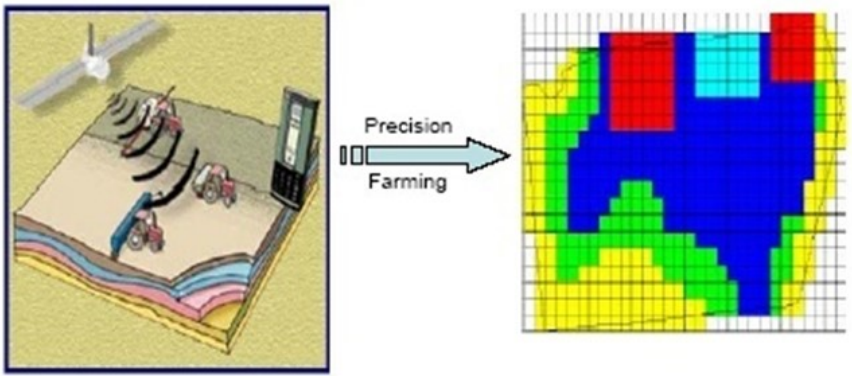


Figura 2- Representação da variabilidade espacial de uma parcela.
Fonte: Dimitrios, D. (2003)

No que se refere aos benefícios da AP (Ramadan, 2007) destacam-se:
- a melhoria na estimativa das reais necessidades das culturas;
- o maior rigor na previsão das produções;
- o aumento dos outputs e/ou redução dos inputs;
- a melhoria no planeamento e gestão do tempo das atividades;
- a aplicação dos meios de produção onde são necessários;
- a maior facilidade na criação de históricos das atividades e seus resultados;
- o apoio às decisões dos agricultores, tornando mais fácil a escolha dos meios necessários e sua traçabilidade.

No que se refere às principais limitações da AP (Ramadan, 2007) elas prendem-se com:
- a dificuldade na obtenção de alguma informação relativa ao solo, cultura e meio ambiente pois, sem sensores que permitam determinar de uma forma precisa, rápida e a baixo custo esta informação, não é possível generalizar-se a agricultura de precisão;
- a dificuldade da transferência de dados entre as várias ferramentas que permitem obter a informação e os sistemas informáticos de apoio às decisões;
- a dificuldade na definição dos procedimentos a aplicar, das estratégias a seguir para determinação das necessidades resultantes da variação das parcelas e da validação dos benefícios gerados.

4- As diferentes fases da AP

O processo da AP inclui as seguintes fases:
- recolha e processamento da informação;
- análise dos dados;
- tomada de decisão em função da análise dos dados;

- execução das operações de acordo com as variações dos dados no tempo e espaço.

Figura 3- As diferentes fases da agricultura de precisão
Fonte: Gil, E. (1997)

4.1- Recolha e processamento da informação

A agricultura de precisão inicia-se com a obtenção dos dados que determinam e põem em evidência a variabilidade do meio, que pode ser obtida diretamente do campo (rendimento da cultura, grau de infestação, etc.) ou indiretamente através de estações meteorológicas, satélites, análise de solos em laboratórios, etc. A maioria da informação é, hoje em dia, obtida por deteção remota utilizando sensores que captam e registam a radiação eletromagnética proveniente dos objetos, que é depois processada (convertida em formato digital) para permitir a sua interpretação e análise (Pires, 2005); radiação eletromagnética é uma combinação de um campo elétrico e de um campo magnético que se propagam através do espaço transportando energia. Os olhos, sendo sensores que recolhem informação que é enviada para o cérebro sob a forma de impulsos elétricos, são uma forma de deteção remota (Neto, 2005); os nossos olhos apenas detetam a radiação da região do visível sendo cada cor identificada correspondente a uma determinada onda eletromagnética, com frequência e comprimento caraterístico.

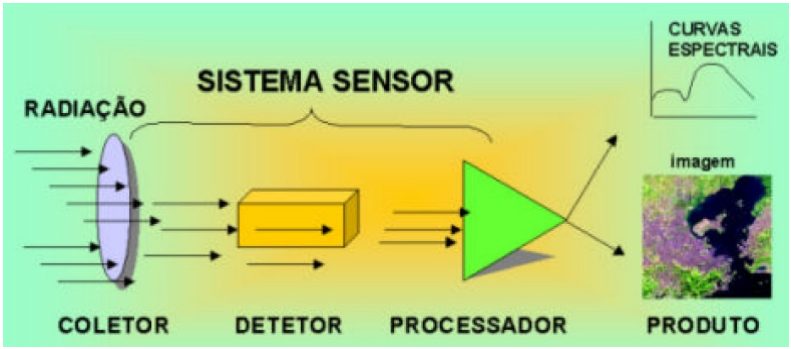


Figura 4- Representação de um sensor de deteção remota
Fonte: Moreira, M. (2001)

O processamento das imagens digitais, que são matrizes de valores, consiste na sua manipulação através de algoritmos implementados em computador de modo a obterem-se outras imagens ou informações extraídas destas. A utilização de imagens na forma digital torna possível o seu processamento computacional e a melhoria da sua qualidade; esta é dada pela sua resolução radiométrica, ou seja, pela capacidade dos pixels (células) armazenarem valores.

Nas imagens digitais de 8 bits obtidas pelo satélite Landsat 5-TM cada pixel é representada por 255 (2^8) níveis de cinza (número digital); a informação radiométrica de um objeto depende de vários fatores, nomeadamente, das caraterísticas físicas e químicas da sua superfície, da temperatura, etc.

Esta fase começa, geralmente, na colheita, pois a utilização de mapas de rendimento permitem identificar as áreas críticas sendo, no entanto, necessário dispor de informação suplementar sobre as propriedades do solo, condições meteorológicas, etc., para se inferir das causas dessa variabilidade espacial e, assim, tomarem-se as decisões relativas à quantidade de fatores a aplicar e/ou à realização diferenciada das práticas culturais; a variável produção é considerada como independente e as restantes como dependentes.

Os mapas são o método mais utilizado para armazenar, analisar e apresentar os dados espaciais que podem ser temáticos, ou seja, descrevem de uma forma qualitativa a distribuição espacial de uma

grandeza geográfica como, por exemplo, a textura do solo, a distribuição de infestantes, etc., ou topográficos, que descrevem a variação contínua da superfície, como os que se referem às elevações, limites, acessos, etc. Os mapas topográficos são obtidos por modelos matemáticos (Modelos Numéricos de Terreno) que reproduzem a superfície real a partir de algoritmos e de um conjunto de pontos (x, y), com atributos definidos por z (Vale, 2008).

Os dados espaciais são considerados como discretos quando se referem a entidades do mundo real como, por exemplo, rios, escolas, etc., ou contínuos quando a informação está presente em todas as posições como, por exemplo, a salinidade, o teor de argila no solo, etc. (Vale, 2008).

A recolha de informação e consequente criação de mapas durante o ciclo das plantas é importante para que a variabilidade no tempo possa ser estimada, para que as áreas que tenham a mesma resposta sejam identificadas reduzindo-se, assim, o número de medições a efetuar.

A informação deve incluir, numa primeira fase, os dados que os agricultores têm das parcelas e que sejam fundamentais para a caraterização e valorização da sua heterogeneidade e, numa segunda fase, a cartografia dos parâmetros que interferem com a operação cultural a realizar. A estrutura dos dados na cartografia digital pode ser gráfica ou não gráfica, sendo nesta situação a informação dada por dados alfanuméricos (Vale, 2008).

A recolha da informação é, hoje em dia, desde que se disponham dos meios necessários, uma etapa tecnicamente simples, mas o volume de dados implica que sejam fáceis de se obter sem, no entanto, perderem rigor; a limitação da recolha de dados é, essencialmente, económica.

No que se refere ao tipo de informação esta é obtida de indicadores espaciais e temporais podendo os primeiros serem permanentes ou temporários e os segundos traduzirem a heterogeneidade da cultura ou a sua evolução.

Os indicadores espaciais permanentes caraterizam as principais variáveis do meio, especialmente as relacionadas com o solo, como a profundidade, tipo, topografia, taxa de MO, etc. O caráter permanente desta informação permite que as medições sejam efetuadas apenas uma vez e utilizadas como uma carta de solos, na racionalização das operações culturais seguintes.

Os indicadores espaciais temporários, que condicionam a heterogeneidade e evolução das culturas, são obtidos por observação ou recolha de amostras e têm, devido à frequência da sua medição e número, uma utilização limitada. Exemplos destes indicadores são algumas das medições efetuadas nas plantas (biomassa) e das caraterísticas do solo (teor de azoto) nas diferentes zonas com caraterísticas espaciais homogéneas.

No que refere aos indicadores temporais da heterogeneidade das culturas eles traduzem as alterações que se verificam nestas como resultado, por exemplo, do aparecimento de doenças, "stress" hídrico ou azotado, estragos provocados por geadas, etc., ou pela avaliação do estado da cultura em diferentes fases. Os indicadores temporais da evolução das culturas permitem acompanhar em contínuo o seu ciclo, para se conhecer o seu desenvolvimento e determinar a sua produtividade.

Considerando os principais fatores que interferem no desenvolvimento das culturas constata-se que estes se relacionam com a água, clima, topografia, nutrientes, infestantes, pragas, doenças e suas caraterísticas genéticas. Apenas os fatores que condicionam significativamente o desenvolvimento das culturas e em que a sua variabilidade espacial e temporal possa ser medida e explicada e que respondam à aplicação modulada ou a diferentes técnicas culturais devem ser considerados; através da análise de correlação dos fatores e da variabilidade espacial da produção é possível definir quais os fatores que mais interferem nesta variação.

A informação obtida dos vários indicadores pode apresentar problemas de compatibilidade ao ser utilizada em diferentes equipamentos pelo que, para simplificar as trocas de informação proveniente de várias fontes, é importante a sua transferência para computadores onde se faça a sua análise enviando-a, depois de tratada, para os equipamentos.
No seio da ISO - Internacional Standard Organisation, o comité técnico "Electrónica em Agricultura" tem vindo a estudar normas que permitam solucionar a falta de compatibilidade entre equipamentos.

4.2- Análise da informação

A análise da informação utiliza um conjunto de ferramentas que permitem integrar as informações recolhidas na fase anterior para que possam ser estudadas. Esta informação deve estar geo-referenciada, ou seja, os dados medidos devem estar associados a um dado local, que é determinado por um Sistema de Posicionamento Global Diferencial - dGPS, sendo a sua análise e gestão efetuadas por Sistemas de Informação Geográficos - SIG (ex. ArcView, IDRISI, Spring, GS+, etc.); alguns destes programas ajustam modelos para estimar a variabilidade espacial da informação e geram mapas interpolados por "krigagem" (Varella, 2005). Os SIGs permitem analisar os dados de um objeto como, por exemplo, uma parcela, como se estes estivessem dispostos em camadas (layers), por forma a fazer-se o diagnóstico das situações e as recomendações (prescrições) para que a gestão dos fatores de produção permitam atingir os objetivos desejados.
Figura 5- Os vários componentes de um SIG
Fonte: Neto (2005)

Um sistema SIG completo é constituído por um computador, que armazena os dados e programas, um digitalizador ou scanner, para converter os dados dos mapas e documentos em informação digital, uma plotter ou impressora a cores, para criar cópias dos resultados ou dados, um dispositivo de armazenamento e transporte de dados (floppy disk, card reader, etc.), um monitor de alta resolução para se obter um "display" dos dados e mapas com boa qualidade gráfica (Hills, 2004).
As técnicas de análise dos dados baseiam-se, basicamente, na interpretação visual, tratamento digital e análise estatística, compreendendo esta última a determinação de correlações, regressões, análises fatoriais e regressões espaciais (Kahabka, 2003).
Os computadores de bordo de alguns equipamentos (ceifeiras - debulhadoras, máquinas de vindimar, etc.) têm instalado SIGs que estão associados a sensores de rendimento e outros e a sistemas GPS, que transformam os dados georeferenciados em mapas, cujos ficheiros são gravados num suporte informático, para posterior utilização nos computadores pessoais. Os mapas dos SIG são constituídos por camadas (layers) correspondendo cada uma a um dado tipo de informação; basicamente os SIGs são ferramentas de gestão de informação geo-referenciada. A interpretação da variabilidade dos mapas, especialmente os de rendimento é, normalmente, bastante complexa, pois existem vários fatores e técnicas culturais que condicionam a produção.
Os mapas de variabilidade são fundamentais para a tomada de decisões pois permitem criar cartas de predição (recomendação) para utilização nos equipamentos VRT para a aplicação modulada dos fatores.

4.3- Tomadas de decisão

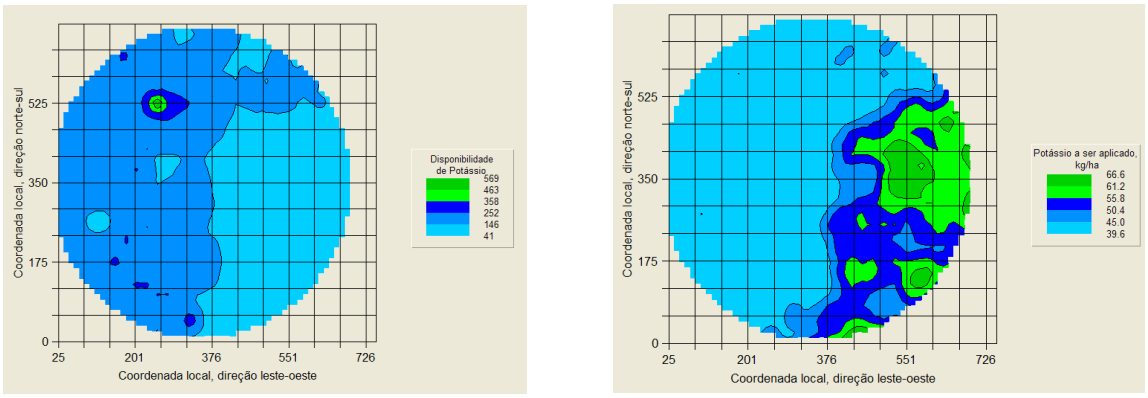
A tomada de decisões pressupõe o conhecimento da origem da variação das caraterísticas intra e entre parcelas, seu impacto na operação cultural a realizar (decisão operacional), fatores de produção a aplicar (decisão económica) e impacto no meio ambiente; esta fase é, sem dúvida, o "ponto fraco" da AP pois o volume de informação que as tecnologias permitem só é possível de ser gerido com Sistemas de Suporte à Decisão que, em muitas situações, não foram desenvolvidos para a condução modulada das parcelas.

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) convertem os dados em mapas de variabilidade que, juntamente com os modelos agronómicos adequados (Sistema de Suporte à Decisão - SSD), vão ajudar à sua interpretação e à tomada de decisões sobre as condições de funcionamento dos equipamentos de aplicação variável (VRT- variable rate technology) para se utilizarem apenas as quantidades de fatores de produção certas, nos locais adequados; os equipamentos atuais, que aplicam a mesma quantidade de produto, designam-se por URT - Uniform Rate Technology).

Os Sistemas de Suporte à Decisão baseiam-se em parâmetros mensuráveis, quantitativa e qualitativamente, que traduzem as caraterísticas mais ou menos estáveis no tempo (exemplo, os parâmetros físicos e mecânicas do solo) e os que evoluem rapidamente (exemplo, a água no solo).

Os dados estáveis ao longo do tempo poderão ser determinados a partir de um estudo sistemático da parcela que permita elaborar cartas de predição, e os dados que evoluem rapidamente poderão ser obtidos por sensores e utilizados para criação de cartas de intervenção; estas permitem atuações pré-programadas, ou ajustados em tempo real, a partir dos sensores, não sendo necessários sistemas de localização (GPS), a não ser que se queiram gravar os dados para posterior análise e interpretação.

Como exemplo de cartas de predição (dados estáveis no tempo) tem-se os mapas de fertilização e, como exemplo de cartas de intervenção (dados instáveis no tempo), a deteção e tratamento das infestantes. A qualidade das cartas de predição depende da qualidade e quantidade da informação recolhida na parcela, do seu tratamento geoestatístico e dos modelos agronómicos utilizados.



A B

Figura 6- Mapa de potássio disponível no solo (A) e respetivo mapa de predição (B)
Fonte: Pinto, F. (2004).

A utilização de soluções mistas, cartas de predição e intervenção, são cada vez mais utilizadas pois permitem corrigir a informação das cartas em tempo real, tendo em consideração o estado de desenvolvimento da cultura ou de acidentes que tenham ocorrido posteriormente à criação das cartas de predição. Um exemplo de uma solução mista é a aplicação de azoto que, no início, pode ser efetuada com base na cartografia e mais tarde, em função dos dados medidos por sensores relativos

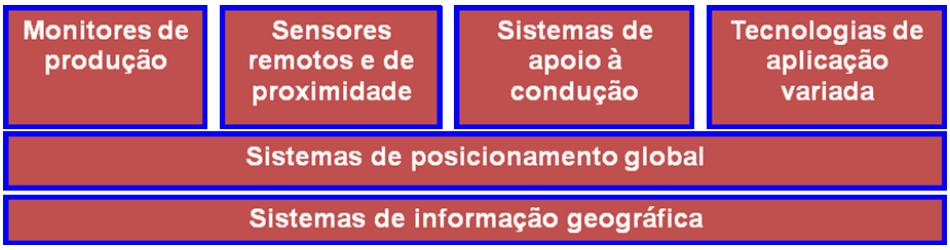
às necessidades reais da cultura, durante o desenvolvimento vegetativo. A utilização de sensores sem fios e ligados em rede (WSNs - wireless sensor networks) tem vindo a ter um forte incremento na monitorização das diferentes atividades agrícolas; estas redes apresentam um conjunto de nós que, para além dos sensores, têm capacidade de processamento, memória e capacidade de transmissão via rádio.

4.4- Execução das operações culturais

A execução das operações culturais consiste na implementação, no terreno, da tomada das decisões, para que os equipamentos apliquem diferentes quantidades de fatores de produção ou se realizem as operações culturais de acordo com as caraterísticas do meio.

A utilização dos dispositivos que permitem variar em contínuo a regulação dos equipamentos, que é da responsabilidade do construtor, está praticamente resolvido para a maioria das situações, não acontecendo o mesmo com a compatibilidade na troca de informação e utilização de programas nas diferentes marcas.

Em resumo, pode-se representar a AP como o somatório das seguintes tecnologias:



Fonte: Manes, G. (2004).

Apresentam-se, no anexo 2, os principais componentes da agricultura de precisão.

Capítulo II - Sistemas GPS

Introdução

Os sistemas GPS (Global Position Systems) permitem conhecer a posição de um ponto, no ar ou em terra, utilizando um conjunto de três satélites. Considerando as "interferências" existentes na transmissão da informação é necessário mais um recetor GPS (recetor de referência), com posição conhecida, e um sinal de correção para se localizar, com precisão, o ponto desejado; com esta correção o sistema designa-se por GPS diferencial (dGPS).

A importância desta tecnologia em AP prende-se com a necessidade de determinar a variabilidade espacial das caraterísticas do meio para que as parcelas não sejam consideradas unidades uniformes, mas sejam "divididas" em subunidades homogéneas, com caraterísticas diferentes.

1- Constituição

O GPS é constituído por um conjunto de satélites (segmento espacial) que enviam sinais de rádio, um recetor (segmento do utilizador) que recebe esses sinais, e um sistema de controlo (segmento de controlo) constituído por uma estação mestre e várias estações de monitorização.

Os satélites não geoestacionários acompanham a Terra no movimento de translação, mas não no de rotação, fazendo com que estes cubram todas as regiões do Globo; é como descascar uma laranja em faixas não contíguas, distanciadas de 3000 km (Figura 2).

As faixas imageadas por um satélite (L), com uma largura inferior à distância entre duas passagens (D) consecutivas do satélite, faz com que este só passe na mesma faixa passado vários dias; o Landsat demora 16 dias.

1.1- O segmento espacial

O segmento espacial é composto por 24 satélites NAVSTAR (Navigation by Satellite Timing and Ranging) que giram em 6 órbitas à volta da terra (4 satélites por órbita), percorrendo 1 órbita a cada 12 horas, e que enviam e recebem ondas rádio. A localização destes satélites permite que, pelo menos, 4 sejam "visíveis" de qualquer ponto da terra.

Figura 3- Segmento espacial. Satélites e suas órbitas
Fonte: Pinto, F. (2004).

1.2- O segmento do utilizador

O segmento do utilizador é constituído pelos recetores GPS que são os dispositivos que gravam os dados georeferenciados que são depois descarregados num computador; a informação dada refere-se às coordenadas geográficas (latitude e longitude) ou cartesianas (x, y,) do ponto onde o recetor se encontra; as cartesianas são coordenadas métricas projectadas (UTM -Universal Transverse Mercator); as primeiras são coordenadas globais e as últimas locais (utilizam a projeção cilíndrica transversa de Mercator em que a Terra é dividida em 60 zonas - fusos).

Figura 4- Recetor GPS e um PDA com GPS incluído
Fonte: Molin, J. (2010).

1.3- O segmento de controlo

O segmento de controlo é constituído por uma estação mestre situada em Colorado Spring (EUA) e várias estações de monitorização espalhadas pelo mundo.

Em Portugal existem duas estações - base, uma em Lisboa e outra no Porto, que disponibilizam as correções diferenciais via Internet; para além das estações - base as correções diferenciais podem ser feitas utilizando satélites ou estações base RTK (Real Time Kinematic).

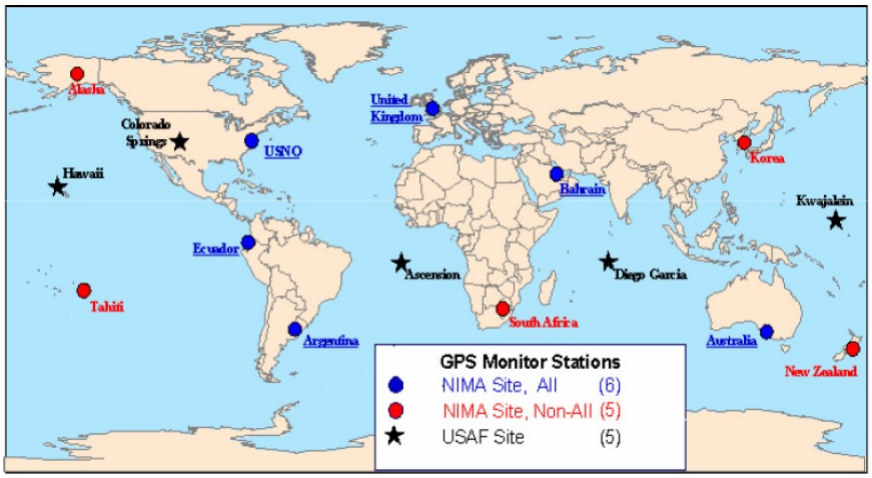


Figura 5- Localização das estações de controlo
Fonte: Molin, J. (2010)

2- Funcionamento dos sistemas GPS

O recetor de sinais possui um recetor rádio, um relógio e o software próprio para efetuar todos os cálculos necessários à determinação da sua localização. As ondas de rádio são transmitidos a uma frequência elevada (1200-1500 MHz) navegando, em vácuo, à velocidade da luz (300 000 km/s) mas,

na atmosfera, devido às interferências, a velocidade é menor; todas as ondas eletromagnéticas propagam-se à velocidade da luz.

Conhecendo-se a localização dos satélites e a hora exata do envio do sinal determina-se, pela diferença da hora da emissão e da receção, a distância ao recetor. Para determinar a posição exata do recetor é necessário conhecer a sua distância a, pelo menos, quatro satélites. No espaço o conjunto de pontos equidistantes de um outro ponto forma uma esfera, a interceção de duas esferas forma uma circunferência, a interceção de três esferas são dois pontos e a interceção de quatro esferas é um ponto. Dos dois pontos resultantes da intercepção de três esferas, um deles fica demasiado longe da superfície da terra, pelo que pode ser eliminado.

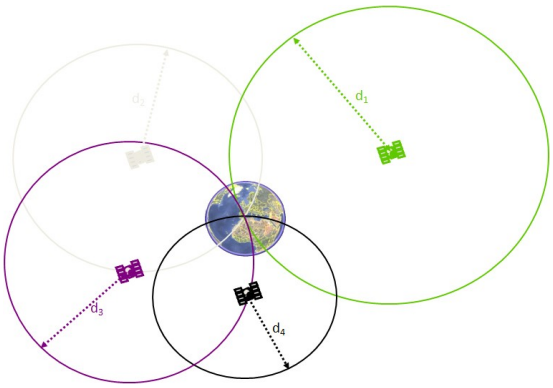


Figura 6- Localização de um ponto pela distância a três satélites
Fonte: Molin, J. (2010).

A localização dos satélites e a hora da emissão do sinal são transmitidos por um sinal rádio emitido pelos seus relógios atómicos, sendo a hora de receção dada pelos relógios dos recetores. Sendo estes menos precisos que os atómicos é necessário utilizar um satélite adicional para os acertar.

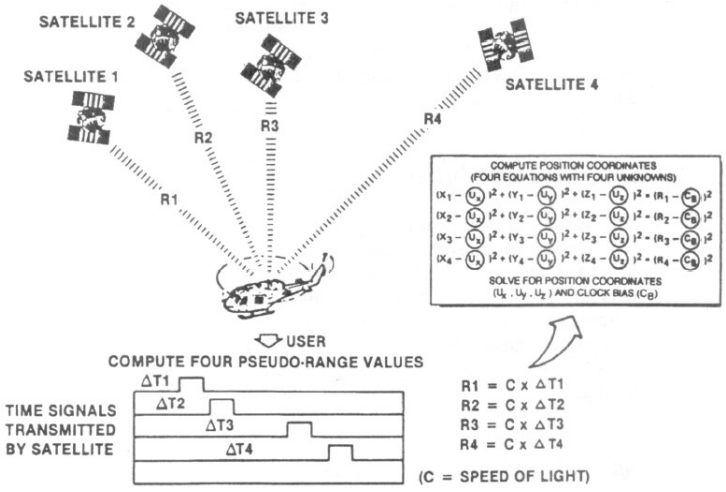


Figura 7- Solução matemática para determinação da posição do recetor.
Fonte: Molin, J. (2010).

A medição do tempo de viagem do sinal rádio do satélite ao recetor implica que os seus relógios estejam perfeitamente sincronizados, pois o tempo, caso o satélite esteja por cima do recetor, é de ± 0.06 s (± 20 000 km / 360 000 km). Devido à distância do satélite tem de se atrasar o relógio do recetor no exato tempo ao que o sinal do satélite demora a chegar o que permite que, ao se multiplicar esse tempo pela velocidade da luz, se obtenha a distância. O sincronismo do relógio do

recetor com o dos satélites faz-se atrasando aquele, ou seja, de uma forma semelhante à que se teria de efetuar caso os satélites e o recetor estivessem a emitir a mesma música, para que esta chegasse aos nossos ouvidos ao mesmo tempo.

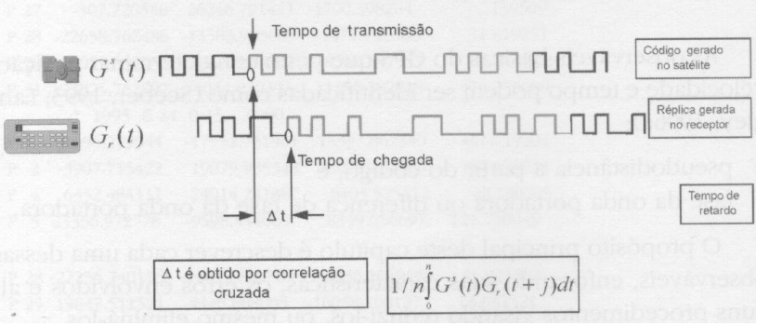


Figura 8- Medição do tempo de viagem do sinal rádio do satélite ao recetor
Fonte: Molin, J. (2010).

Os erros que resultam da transmissão da informação pelos satélites são, para além dos associados à variação da velocidade de transmissão do sinal, devido às variações das condições atmosféricas, os relacionados com os relógios e com as órbitas, que são monitorizados e corrigidos pelo Departamento de Defesa Americano. Nos recetores os erros devem-se a interferências elétricas, imprecisões matemáticas, etc.
Para correção dos erros (correções diferenciais) utiliza-se um recetor GPS estacionário (estação base), colocado numa posição com coordenadas conhecidas para que, sabendo-se a distância exata desta estação aos satélites (distância real) e a medida (distância com erro) se tenha, com esta diferença, o erro a introduzir nas medições efetuadas com os GPS. Estas correções são utilizadas para corrigir os erros associados às medições efetuadas pelos recetores GPS móveis que se encontram na proximidade da estação base, sendo necessário que o recetor e a estação base consigam "ver", em simultâneo, os mesmos satélites. Para que as correções se façam em tempo real é necessário que a estação base transmita a informação relativa às correções diferenciais para o recetor GPS.

Figura 9- Sinais dos satélites e correção diferencial por satélite geoestacionário.
Fonte: Marquez, L. (2009)

Entre os principais métodos de correção diferencial destacam-se o pós-processamento, a utilização de sinal de torres locais via rádio UHF, de torres regionais via rádio AM, de estações aéreas, de redes via rádio FM, de satélites geoestacionário (público ou privado), de telefonias celulares (GSM) e os algoritmos internos.

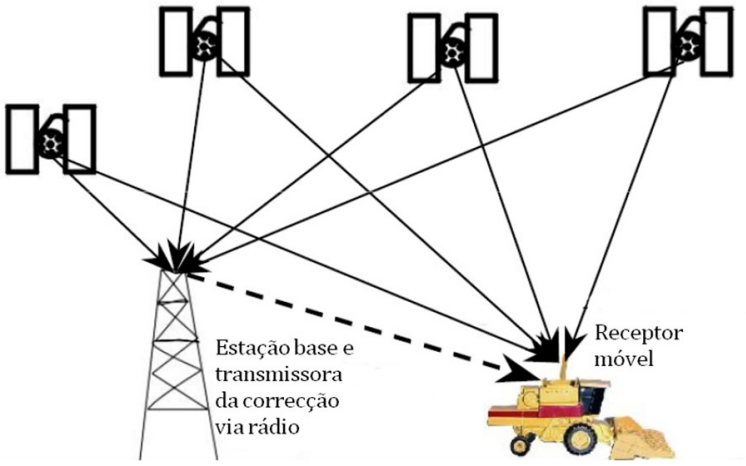


Figura 10- Correção diferencial, via rádio UHF, utilizando uma torre local
Fonte: Molin, J. (2010).

Antena RTK

Precisão: 1-2 cm

Correcção cinemática em tempo real
(RTK-Real Time Kinematic)

Base situada a 3-5 km;

Cálculo do número de ciclos de onda (simples e dupla frequência);

Precisão até 1 cm nas três dimensões

Figura 11- Correção cinemática em tempo real
Fonte: Marquez, L. (2009)

3- Principais sistemas de posicionamento e suas caraterísticas

Os principais sistemas de posicionamento existentes são:

- o sistema GPS- Global Position System (Americano), lançado em 1978, com 24+3 satélites, oito visíveis, posicionados em 6 órbitas, a uma altitude de 20 180 km;
- o sistema GLONASS (*)- Global Navigation Satellite System (Russo), lançados em 1982, com 9+4 satélites posicionados em três planos orbitais, a uma altitude de 19 100 km;
- o sistema GALILEU (Europeu), lançado em 2005, que irá ter 27+3 satélites, doze visíveis, localizados em três órbitas, a uma altitude de 23 200 km;
-uma combinação dos anteriores (GNSS- Gobal Navegation Satelite Systems), que permite ter 48 satélites, dos quais 14 estão visíveis.

(*) Global' Naya Navigatsionnaya Sputnikova Sistema

Quadro 1- Caraterísticas dos Sistemas GPS e GLONASS

Fonte: Inc.

Figura 12- Combinação dos satélites GNSS
Fonte: Marquez, L. (2009)

Para além destes sistemas existem outros públicos como, por exemplo, o EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Servive), precursor do Galileu, o WAAS (Wide Area Augmentation System), o MSAS, etc. O WAAS é constituído por um sistema de satélites e estações base que fornecem correções que aumentam a precisão da localização dos recetores (Crager, 2008).

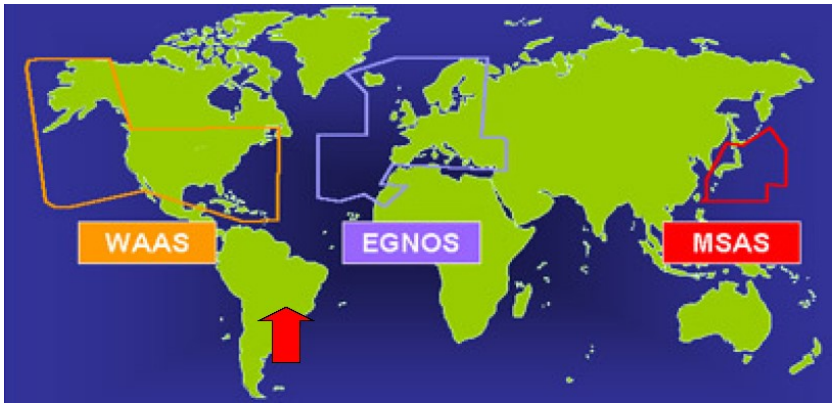


Figura 13- GPS com sinais diferenciais públicos.
Fonte: Molin, J. (2010).

Comparando a precisão e custos de várias opções de funcionamento dos GPSs tem-se:

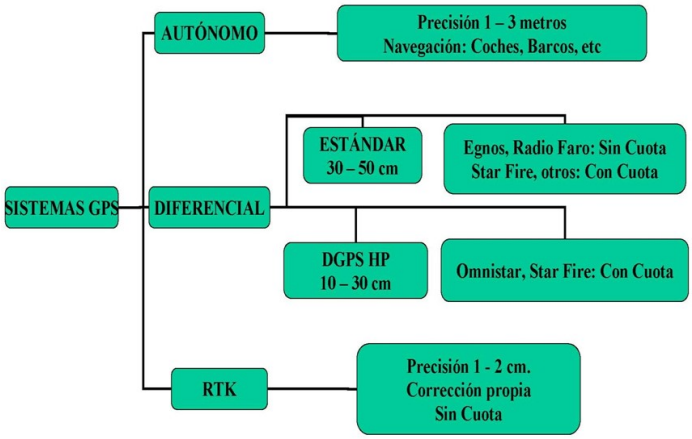


Figura 14- Resolução, precisão e custo do sinal dos sistemas GPS
Fonte: Marquez, L. (2009).

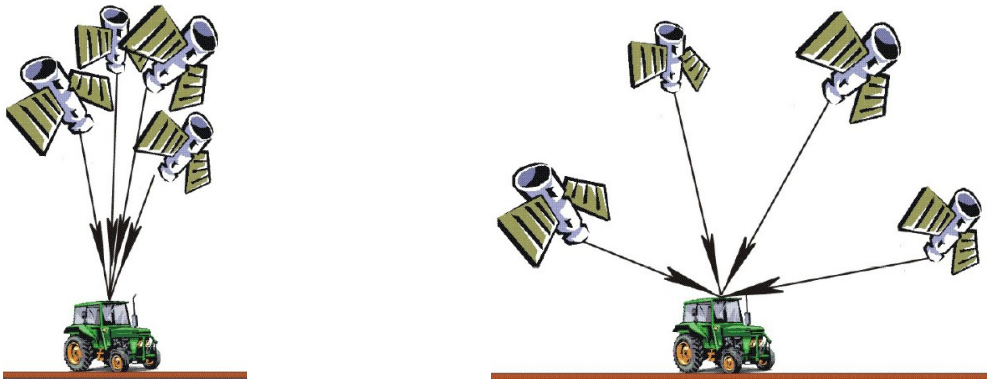
4- Fatores que interferem na determinação da posição dos GPS

A determinação da posição dos recetores GPS é condicionada por fatores intrínsecos aos equipamentos e por os erros de reflexão e refração, provocados pela atividade solar, pelo posicionamento dos satélites, etc.

Quando os satélites estão muito próximos (figura 15- A) verifica-se uma diluição na precisão horizontal (HDOP), que interfere nas coordenadas latitude e longitude, na diluição da precisão vertical (VDOP), que interfere com a altitude, na diluição da precisão na posição (PDOP), que interfere nas três dimensões e na diluição da precisão no tempo (TDOP), ou seja, se os satélites estão muito juntos a área de interceção é grande e a precisão baixa.

Quando os satélites estão afastados (figura 15- B) verificam-se menores diluições nos sinais, os DOPs (diluição na precisão) apresentam valores mais baixos, ou seja, a área de interceção é pequena e a precisão é alta; valores superiores a 4 conduzem a erros significativos.

Os DOP indicam a qualidade da geometria da constelação de satélites "visíveis" pelo recetor num dado intervalo de tempo.



A B

Figura 15- Posicionamento dos satélites *vs* diluição da precisão.
A- Satélites próximos, maior diluição - Poor (high) DOP; B- Satélites afastados, menor diluição - Good (low) DOP.
Fonte: Marquez, L. (2009)

As variáveis que traduzem a posição dos recetores são a exatidão (acurácia), a precisão e a resolução. A primeira é definida pelo grau de aproximação da grandeza medida em relação ao valor verdadeiro, a segunda pela repetição da medição da grandeza e, a terceira, pelo seu menor intervalo de leitura.

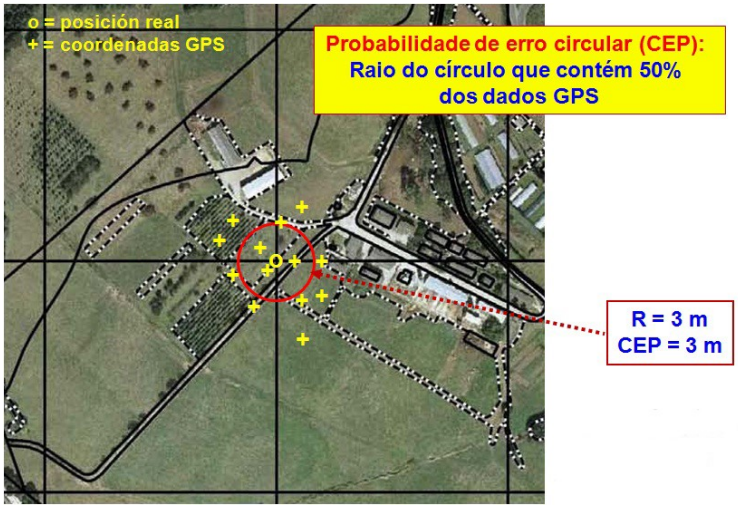


Figura 16- Representação da exatidão de um GPS
Fonte: Marquez, L. (2009)

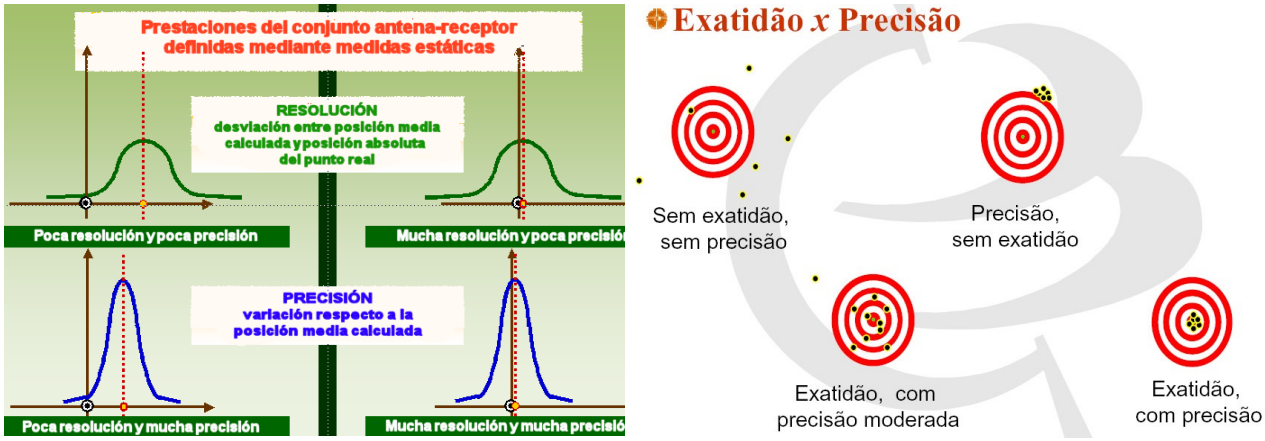


Figura 17- Exatidão *vs* precisão
Fonte: Marquez, L. (2009); LTC

Capítulo III - Sistemas de informação geográfica

Introdução

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são programas informáticos que tratam a informação georeferenciada estabelecendo, de forma ordenada, os dados relativos a um determinado fator, e permitem converter a informação espacial e temporal georeferenciada em dados alfanuméricos, para que possa ser tratada.

Os SIG permitem manipular a informação com base em atributos espaciais que são obtidos através das suas coordenadas determinando-se a variabilidade da sua distribuição; estes programas ligam um atributo (o que é) com a sua localização (onde) na superfície terrestre (Varella, 2005).

No que se refere aos SIGs agrícolas eles permitem integrar e analisar diferentes fontes de informação, incluindo a obtida a partir de imagens de satélites e fotografia aérea, e estabelecer mapas de atuação diferenciada para as várias operações culturais e aplicação de fatores de produção; estes SIGs integram, geralmente, modelos agronómicos de decisão que incluem a informação obtida. Dimitrios (2003) afirma que os SIG são a "mente" e o "coração" da AP.

1- Funcionamento de um SIG

O funcionamento de um SIG pressupõe as seguintes fases:

- introdução e armazenamento de dados;
- manipulação e análise de dados;
- produção de informação.

1.1- Introdução e armazenamento dos dados

A informação a utilizar nos SIG tem de se apresentar sob a forma digital, pelo que a informação analógica terá de ser convertida naquele formato; a conversão da informação analógica em digital, que se designa por digitalização, pode ser efetuada por scanners ou em mesas de digitalização. Os dados recolhidos por deteção remota na forma analógica ou digital podem ser interpretados manualmente ou analisados utilizando técnicas digitais de processamento de imagens (Crager, 2008)

No que se refere à informação digital ela consta de dois componentes:

- a geométrica (coordenadas), que inclui os elementos geográficos e sua localização;
- a alfanumérica (atributos), que traduz as caraterísticas daqueles elementos.

A componente geométrica (dados geocodificados) dá a localização de uma caraterística ou fenómeno, em coordenadas geográficas (latitude, longitude), ou cartesianas (x, y), para se efetuar a sua análise, e a componente alfanumérica dá as propriedades das caraterísticas ou fenómenos identificados pela componente geométrica; os dados geocodificados estão agregados à sua localização geográfica sendo os atributos mantidos em tabelas de dados alfanuméricos (Mariana Vale, 2008). Segundo esta autora o termo geocodificar é diferente do de georeferenciar pois este refere-se ao processo de posicionar ou ajustar à posição correta as feições geográficas; este processo designa-se por registo.

Os componentes (variáveis) de um determinado fator (registo), para os diferentes locais de uma parcela, formam uma "camada" (layers) que traduz a sua variabilidade nessa parcela; cada variável é um campo no registo. Sobrepondo várias camadas (fatores) de um mesmo local é possível estabelecer relações entre a variabilidade dos vários fatores desse lugar.

Exemplo de um registo de um SIG dado em coordenadas geográficas:
- 90º 23’ 65 “(longitude), 24º 54’ 13” (latitude), 34 ppm de azoto, 58 ppm de fósforo, 1.3 (% de mo).

1.1.1- Informação espacial

A informação espacial armazenada nos SIGs apresenta-se segundo dois tipos de modelos (formatos):
- modelo matricial (dados “raster”);
- modelo vetorial (dados vetoriais).

1.1.1.1- Modelo matricial

No modelo matricial os dados são representados por ficheiros de imagens (bitmaps) compostos por uma grelha de células a que se chamam “pixels” (pictures elemets), o que permite a representação contínua de um objeto ou fenómeno; os dados matriciais, geralmente referidos como dados “raster”, são obtidos de fotografias aéreas, imagens de satélites ou por “rasterização” de dados vetoriais ou triangulares (Mariana Vale, 2008).
O modelo matricial utiliza uma grelha em que cada unidade elementar (pixel) tem um valor (nível de cinza), que é um número inteiro, não negativo e finito, que traduz a intensidade da luz refletida ou emitida por uma cena localizada nesse ponto e cuja intensidade é proporcional ao número de fotões emitidos por unidade de tempo. Conhecendo como a radiação interage com as feições da terra, especialmente como é refletida, podem-se obter informações sobre essas feições através da recolha e análise da radiação refletida. A resolução espacial da imagem depende da dimensão dos pixels, expressa em dpi (pixels por polegada), e a intensidade (profundidade) da cor é dada pela quantidade de bits alocados a cada pixel; reduzindo para metade a dimensão da célula aumenta-se em quatro vezes o seu número e quanto maior o número de bits por pixel maior é o número de níveis de cinza disponíveis na imagem; a digitalização da amplitude escalonada destes níveis designa-se quantização.
A representação matricial permite uma análise espacial fácil e pouco dispendiosa, mas torna os ficheiros muito grandes e gera representações gráficas de baixa qualidade. A fotografia aérea digital e as imagens de satélites são exemplos deste modo de representação da informação.

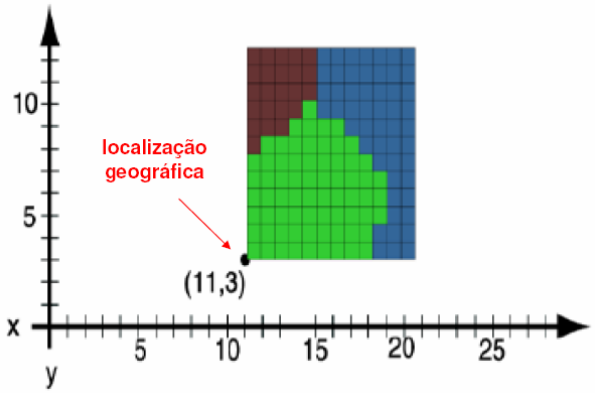


Figura 2- Representação matricial de dados matriciais
Fonte: Vale, M. (2008).
Os modelos matriciais apresentam algumas vantagens, das quais se destacam a facilidade da sua interpretação, o terem um algoritmo de processamento e análise bem estabelecido e as imagens de satélites serem abundantes e muito úteis para estudo do meio; estas imagens são adquiridas já em formato digital pelo que podem ser processadas por computador. Como desvantagens destaca-se o apresentarem uma estrutura rígida, a informação original ser perdida quando “vetorizada”, os dados

lineares e pontuais não serem bem representados (aspecto “dentado”), originarem ficheiros muito pesados, etc.

Os dados nos modelos matriciais podem ser apresentados de uma forma descontínua (discreta, categórica) ou contínua (“floating points”), sendo os primeiros representados por números inteiros em tabelas de atributos e, os segundos, por dados contínuos sem tabela de atributos, ou seja, são classificados usando intervalos (Vale, 2008). Os dados contínuos podem ser agrupados em intervalos numéricos arbitrários, em intervalos iguais, serem divididos entre grupos, serem definidos em função do desvio padrão da distribuição estatística, etc.

Em deteção remota as imagens podem ser registos descontínuos (discretos) ou contínuos de uma perspetiva a duas ou três dimensões; nesta situação, para além do número de linhas e colunas, são quantificados os valores dos pixels das bandas da imagem (matriz L x C x D). Nas imagens obtidas com sensores digitais, em que os registos são discretos, aos objetos (pixels) correspondem valores numéricos designados por níveis radiométricos (NR) ou níveis de cinzento e, na fotografia aérea, que é um exemplo duma imagem contínua, em que o sensor é uma película fotossensível, os objetos são representados por diferentes tonalidades, que permitem a sua interpretação (Baio, 2007). As superfícies discretas não são previsíveis pois há um número finito de localizações que estão associadas a dados e as superfícies contínuas são previsíveis pois há um número infinito de localizações que estão associadas a valores únicos (Kahabka, 2003).

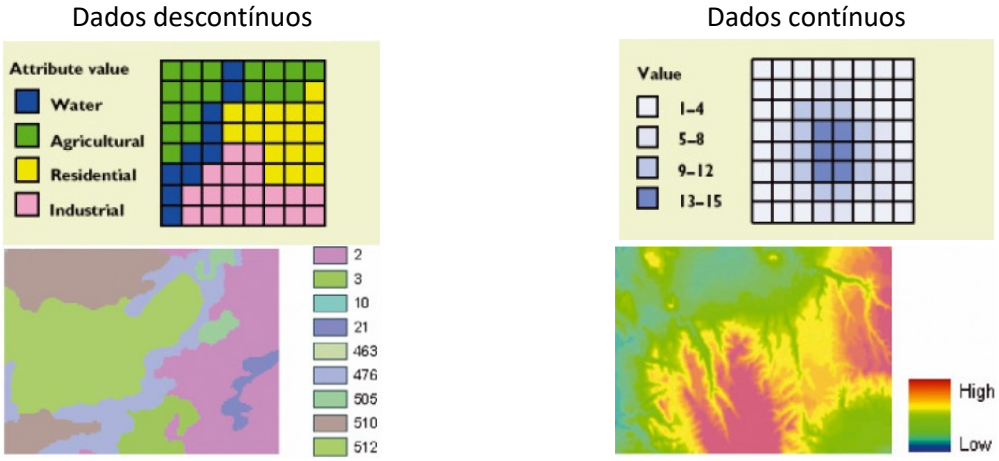


Figura 3- Formas de apresentação dos dados matriciais
Fonte: Vale, M. (2008).

No que se refere à utilização em agricultura destas duas formas de representação, os dados descontínuos são indicados para representar objetos específicos como, por exemplo, o uso e cobertura do solo, as espécies dominantes e tipo de solo e os contínuos para representar intervalos como, por exemplo, os índices de vegetação, a riqueza de espécies e a concentração de adubos.

1.1.1.2- Modelo vetorial

Nos modelos vetoriais os dados são representados por objetos geométricos, ou seja, por pontos, linhas ou polígonos (áreas). A representação da localização e aparência gráfica dos objetos é efetuada por um ou mais pares de coordenadas que podem não preencher necessariamente todo o espaço; os dados são gravados e apresentados como uma série de pontos, que podem estar unidos por linhas abertas ou fechadas (polígonos), sendo a resolução dos objetos teoricamente limitada pelo número de pontos determinados.

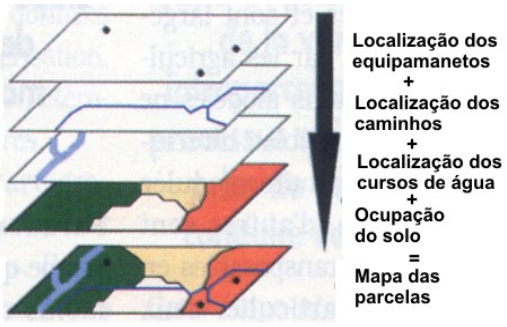


Figura 4- Representação vetorial de pontos, linhas e polígonos (áreas) e de uma parcela.
Fonte: Kahabka, J. (2003).

Os pontos representam localizações discretas de objetos pequenos, em que as caraterísticas geométricas não são consideradas, como, por exemplo, os postes, poços e edifícios. As linhas representam objetos em que o comprimento é muito superior à largura, exemplo das estradas e rios. Os polígonos representam a forma e localização de regiões homogéneas limitadas e fechadas como, por exemplo, as parcelas.

Figura 5- Conversão de imagens vetoriais em matriciais (imagens superiores) e matriciais em vetoriais (imagens inferiores).
Fonte: Vale, M. (2008).

No modelo vetorial ao representar em diferentes camadas os objetos feitos a partir de desenhos geométricos é possível, quando da sua sobreposição, "traduzir" a superfície em causa. Com este modelo é possível nos SIG considerar cada um dos tipos de informação determinada, depois de convertida numa carta de rendimento, pH, ou outra, como uma camada que, quando sobreposta com outras cartas (camadas), com outro tipo de informação, permite evidenciar as relações, ou falta delas, dos diferentes fenómenos, para se tomarem as decisões relativas à execução diferenciada das operações culturais e/ou aplicação variada de fatores.

O modelo vetorial permite obter representações gráficas de boa qualidade e ser redimensionado sem perda de qualidade, mas a sua análise espacial é difícil e necessita de tecnologia mais cara e exigente em tempo; os ficheiros com a sua informação são relativamente pequenos.

A conversão da informação entre estes dois modelos é obtida conforme indicada na figura 5.

1.1.2- Comparação entre os modelos matriciais e vetoriais

Comparando os modelos matriciais e vetoriais constata-se que os primeiros são mais ajustados para representações contínuas onde há um número infinito de localizações com valores únicos e, os segundos para representar superfícies discretas (objetos), em que não há transição gradual, ou seja, em que as superfícies se representam por um número finito de localizações, associadas a dados. Os modelos matriciais podem ser designados por modelos de campo, em que o espaço geográfico é representado com uma superfície contínua, e os vetoriais por modelos de objetos, em que o espaço geográfico é representado como um conjunto de entidades distintas e identificáveis (Vale, 2008).

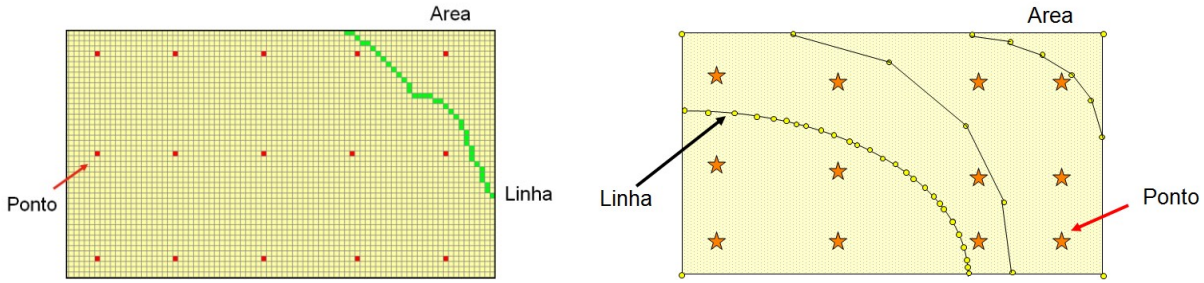


Figura 6- Representação matricial e vetorial de pontos, linhas e áreas
Fonte: AGSM 489

Comparando um mapa de produção representado na forma matricial e vetorial tem-se:

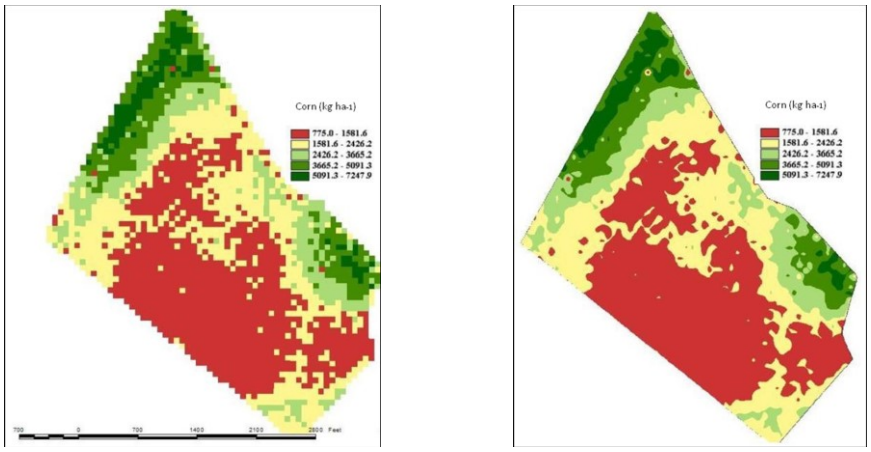


Figura 7- Mapa de produção da cultura de milho na forma matricial (pixels) e vetorial (isolinhas).
Fonte: Molin, J. (2010)

As vantagens do modelo vetorial devem-se principalmente à possibilidade de permitir a representação precisa de pontos, linhas e polígonos e à criação de ficheiros mais pequenos; as suas desvantagens prendem-se com a representação dos polígonos ser discreta e com a maior complexidade nas operações matemáticas.

Para o modelo matricial as vantagens são o permitir maior facilidade de utilização matemática (recortar um tema baseado em outro, intercepção de temas, etc.) e as desvantagens prendem-se com a criação de ficheiros mais pesados e uma resolução mais grosseira; as operações matriciais são, basicamente, o agrupamento de valores em classes, para o que é necessário atribuir manualmente ou por função matemática, novo valor às células (Varella, 2005).

A escolha por um ou outro destes métodos apresenta cada vez menos relevância, pois os SIG mais recentes integram os dois modelos, embora se tenha que optar pela representação gráfica de um deles.

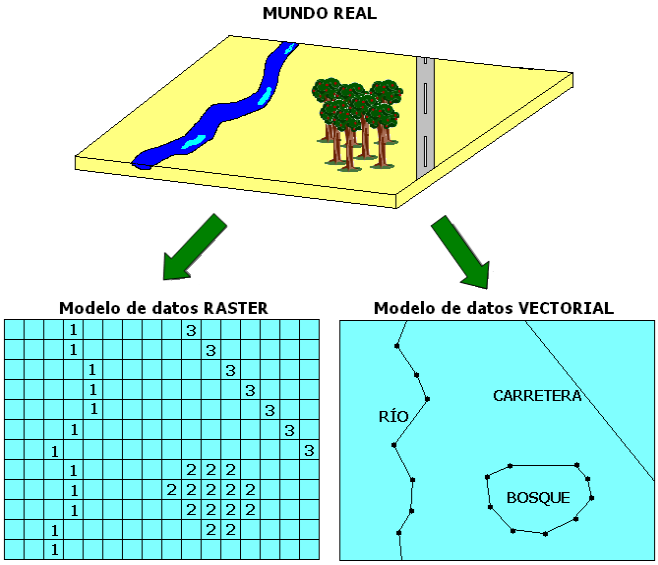


Figura 8- Comparação entre a representação de um modelo matricial e um vetorial.
Fonte: Márquez, L. (2009).

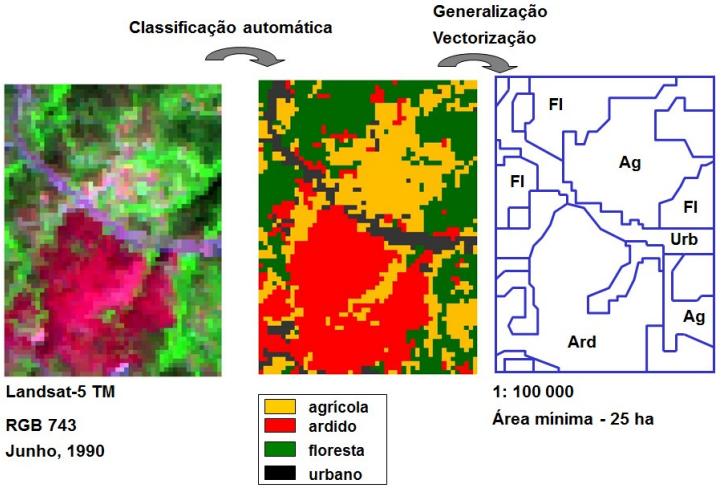


Figura 9- Imagem matricial, sua classificação e vetorização
Fonte: Instituto Geográfico Português

Em resumo comparando os dois modelos tem-se:

Formato matricial ("raster")	Formato vetorial
O espaço é dividido em células (pixels)	Os pontos são representados por pares de coordenadas
As células são referenciadas por linhas e colunas	Representam pontos mas não representam áreas
As áreas são representadas por milhões de células	As coordenadas são ligadas para criar objetos
Os mapas podem ser criados mais rapidamente	Criam sistemas mais precisos

Fonte: Hills, W. (2004)

Do exposto pode-se concluir que os dados "raster" são muito diferentes dos vetoriais, pois enquanto estes representam caraterísticas discretas construídas a partir de vértices, que podem estar ligados por linhas ou áreas, os dados "raster" são como uma imagem onde estão representados vários objetos não separados entre si; estes são representados por pixels com diferentes cores (valores)

Atualmente os SIGs são suficientemente potentes para analisarem um grande volume de dados que podem, inclusivamente, ter resoluções espaciais e temporais diferentes. Assim, por exemplo, a medição do rendimento de uma cultura pode ser efetuada de 10 em 10 m e as análises de solo de 100 em 100, a produção pode ser medida uma vez por ano mas a presença de infestantes, várias vezes, etc.
Em relação ao armazenamento e apresentação dos dados a utilização de dispositivos portáteis, tipo PDAs (personal data assistants), tem vindo a tornar-se muito comum.

2- Manipulação e análise dos dados

O elevado volume de informação que as novas tecnologias permitem obter conduziu à necessidade do desenvolvimento de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e de Sistemas de Suporte à Decisão (SSD) (modelos agronómicos) para ajudar à sua manipulação e análise; os dados das várias camadas ("layers") são manipulados através de fórmulas matemáticas ou lógicas para se agruparem ou originarem novas camadas com combinações de atributos específicos.
Os SIG, juntamente com os GPS, permitem sobrepor informação obtida em diferentes escalas, para que os resultados correspondentes a uma determinada localização, fiquem disponível em camadas sobrepostas que têm relações entre si.
Figura 10- Sobreposição de mapas para relacionar diferentes tipos de informação.
Fonte: Márquez, L. (2009).

A análise de dados é o processo que permite "extrair" significado dos dados espaciais utilizando ferramentas para análises de proximidade (buffer analysis), de sobreposição (overlay) e de redes.

2.1- Análise de proximidade

A análise de proximidade utiliza o processo de "buffering" para determinar relações de proximidade entre dados georeferenciados. Para determinação de superfícies contínuas, a partir de dados discretos, existem vários programas que, por interpolação, permitem obter os dados intermédios, sendo as mais comuns os que utilizam as técnicas do Kriging e o peso inverso da distância (Inverse Distance Weight - IDW).
A interpolação de dados por Kriging, que permite estimar uma superfície a partir de um número relativamente reduzido de valores, é muito utilizada nas cartas de solos, pois considera-se que nestes existe uma correlação espacial entre os dados disponíveis (Hills, 2004).
Na estimativa de dados por IDW considera-se que a influência de um dado ponto em relação a um outro a obter é isotrópica, ou seja, a influência do primeiro em relação ao segundo é função da sua distância. Este método é semelhante ao método das médias locais (LA), mas considera-se que as amostras mais próximas da amostra desejada, têm maior influência na sua estimativa que as mais afastadas; o IDW é particularmente eficaz quando existe um elevado número de pontos de amostragem no local onde se estão a fazer as determinações. Hills, 2004). O método das médias locais permite estimar valores por uma simples média de dados relativos aos pontos que se encontram em redor da localização desejada.

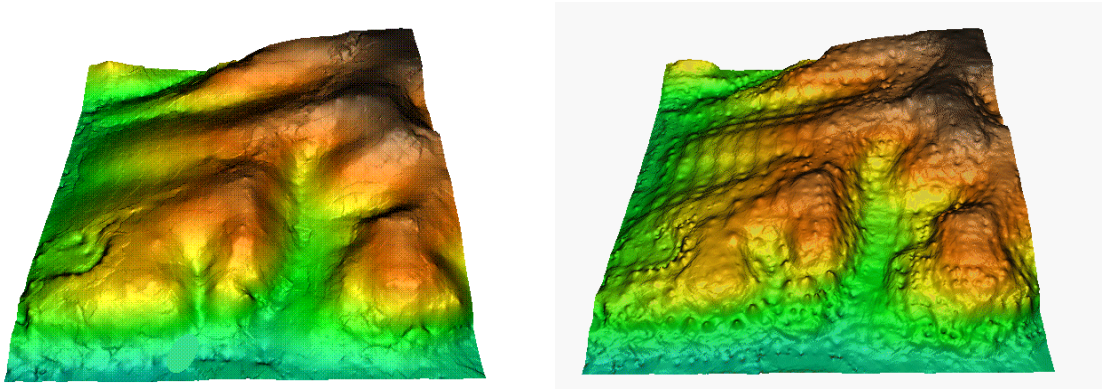


Figura 11- Superfícies obtidas pelos métodos de interpolação por Kriging e por IDW.
Fonte: Kahabka, J. (2003).

Para além dos dois métodos referidos existe um terceiro, designado por "Contouring", que permite definir linhas com pontos de igual valor e que é muito utilizado na definição das curvas de nível, ou seja, na definição de mapas topográficos (Hills, 2004).

2.2- Análise de sobreposição

A análise de sobreposição (overlay) consiste na integração de diferentes camadas de dados como, por exemplo, as que permitem a criação de cartas de potencial agrícola integrando dados do solo, declive, infra-estruturas, etc. Este tipo de análise baseia-se, assim, na sobreposição (merge) de regiões para formar uma que englobe as anteriores. Consiste, basicamente, na sobreposição de diferentes "layers", cada um com um dado tipo de informação, de que resulta um "layer" final cuja informação é o resultado da análise dos "layers" originais.

Figura 12- Representação gráfica de uma análise de sobreposição.
Fonte: Kahabka, J. (2003).

Na figura 12 uma "camada" com os vários tipos de floresta é sobreposta à "camada" dos proprietários das terras para se saber que tipo de floresta é que cada um tem.

2.3- Análise de redes

A análise de redes permite determinar a distância mais curta entre dois pontos ou o seu melhor percurso, tendo em consideração diferentes locais; integra variáveis espaciais (distâncias), temporais (tempo de deslocação) e económicas (custos de deslocação).
A análise de redes não é considerada uma ferramenta típica da AP mas, à semelhança dos sistemas de suporte à condução tem, por exemplo, em termos de gestão da frota de equipamentos uma importância relevante pelas economias que permite.

3- Produção da informação.

A produção da informação obtém-se com programas que traduzem modelos agronómicos utilizados como ajuda aos sistemas de suporte à decisão (SSD). Aqueles programas permitem, em função das caraterísticas do meio, do desenvolvimento das culturas, da necessidade dos fatores de produção, do rendimento potencial da cultura, dos riscos em função das pragas e doenças, etc., simular com precisão os resultados previsíveis. Para cada operação cultural estes programas permitem, utilizando as caraterísticas agronómicas das culturas, os dados obtidos pelos sensores e os introduzidos pelo

operador, tomar as decisões agronomicamente mais corretas. O elevado volume de informação em causa torna impossível, mesmo para o agricultor mais experiente, a sua gestão adequada devendo a decisão final ser sua.

Os sistemas de gestão da informação, apresentados sob a forma de bases de dados (SGBD) são, geralmente, modelos relacionais em que os dados são armazenados em tabelas com campos comuns que permitem a ligação entre elas (exemplo do Microsoft Access).

A apresentação final da informação é feita sob a forma de "Views", ou seja, pela apresentação gráfica dos dados espaciais, sob a forma de tabelas (base de dados, ficheiros com as extensões xls ou dbf) ou sob a forma de "layout", ou seja, num "view" e respetiva informação para impressão.

As diferentes fases apresentadas são consideradas como fazendo parte de uma ciência a que se designou "Geomática" que pode ser definida como "Ciência e tecnologia para obtenção, análise, interpretação, distribuição e uso da informação espacial"; este conceito distingue-se da Geotecnologia pois esta refere-se ao grupo das tecnologias que tratam informação geograficamente referenciadas como os GPS, deteção remota, etc. (Vale, 2008).

Capítulo IV - Os sensores.

Introdução

A caraterização do meio, que é um dos aspetos fundamentais para a implementação da agricultura de precisão, que tem como base o estudo da variabilidade espacial e temporal daquele, pressupõe a determinação dos fatores que caraterizam as parcelas e que interferem no desenvolvimento das culturas, pelo que só as tecnologias que permitam a sua identificação e quantificação, em tempo útil, são indicadas.

Sendo variável a resposta dos diferentes objetos (plantas, solo, etc.) e seu estado, à radiação (energia eletromagnética) proveniente de uma fonte de energia, exemplo do sol, a quantificação da resposta, através de sensores de medição rápida, colocados em proximidade ou afastados, permite o estudo da variabilidade do meio. A energia radiante é a quantidade de energia transportada pela radiação eletromagnética e a radiância é o fluxo radiante por unidade de ângulo sólido que deixa uma fonte de radiação, numa dada direção, por unidade de área, projetada nessa direção. A radiação é uma forma de energia que se move à velocidade da luz (300 000 km/s), seja em forma de ondas ou de partículas eletromagnéticas e que não necessita de um meio material para se propagar; é esta energia que quando transmitida de um objeto a um sensor permite gerar informação para a sua caraterização (Pires, 2005). O sensor é o dispositivo que deteta um estímulo físico (calor, luz, som, pressão, campo magnético, movimento, etc.) e transmite um impulso (mensurável ou operante) como resultado desse estímulo; os sensores são sistemas fotográficos ou eletrónicos capazes de registar a energia proveniente dos objetos e convertê-la num sinal passível de ser medido, apresentando-o de forma a poder ser utilizado para extração de informação.

Neste capítulo, são apresentados alguns tipos de sensores utilizados na AP, especialmente os que utilizam o espetro da banda do visível e infravermelho próximo (CIR) da energia solar, ou seja, os que quantificam a resposta dos objetos à incidência da energia dessa parte do espetro; cada faixa espetral tem um sensor que gera matrizes de pontos aos quais atribui níveis de intensidade (brilho) originando imagens; a palavra espetro, do latim *spectrum*, significa fantasma ou aparição. Apresenta-se no anexo 3 e 4 os sensores atualmente disponíveis ou em desenvolvimento para a AP.

1- A energia radiante

O Sol, como fonte primária de energia, emite esta sob a forma de energia (radiação) eletromagnética - EEM (REM) que, depois de atravessar a atmosfera, interage com qualquer corpo provocando, da parte deste uma reação sob a forma de reflexão, absorção e transmissão. A REM que atinge as folhas é refletida, transmitida ou absorvida em função do comprimento de onda e seu ângulo de incidência e da textura e propriedades óticas e bioquímicas daquelas (Pinto, F. 2010); os maiores absorvedores de radiação são o vapor de água, dióxido de carbono e o ozono.

A radiação é uma combinação de um campo elétrico e de um campo magnético que se propagam através do espaço transportando energia e o espetro eletromagnético é o conjunto de todas as ondas eletromagnéticas ordenadas segundo a sua frequência e identificadas em grupos ou regiões com caraterísticas semelhantes, desde a radiação gama às ondas de rádio.

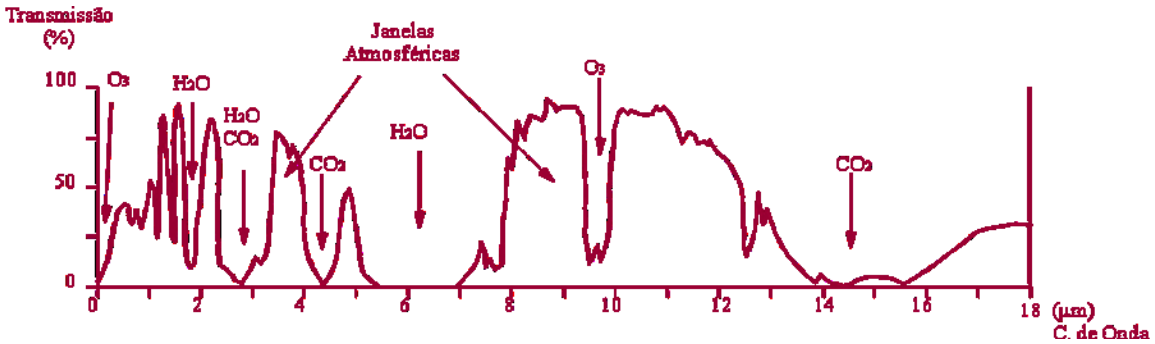


Figura 1- Transmissão da radiação em diferentes comprimentos de onda (cdo)
Fonte: Baio, M. (2007)

Da energia radiante emitida pelo Sol apenas parte atinge a superfície terrestre, designando-se as zonas do espetro em que a radiação atravessa a atmosfera por janelas atmosféricas; estas correspondem às zonas do espetro eletromagnético permissivas à energia radiante solar.
A reflexão consiste na mudança da direção da propagação da energia incidente, em direção à região de onde provém, após entrar em contato com uma superfície refletora, a absorção traduz a quantidade de energia que, após incidência, persiste num corpo e, a transmissão, refere-se à energia incidente que não é absorvida nem refletida.

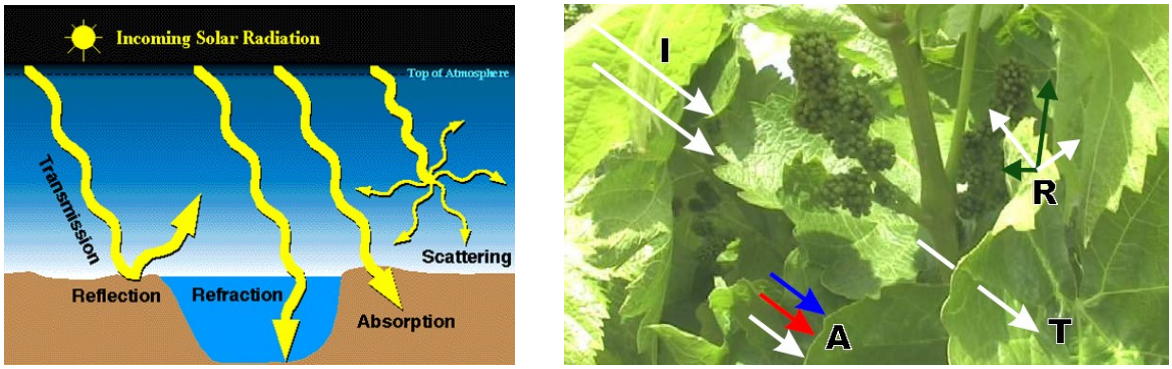


Figura 2- Interação da radiação solar com a superfície terrestre e com a vegetação
I- Radiação incidente; R- Energia refletida A- Energia absorvida T- Energia transmitida
Fonte: West Hills College (2004); Delenne, D. (2006).

A interpretação da reação de um corpo, função da sua natureza, nível energético, ângulo de incidência da radiação, etc., permite, pela quantificação da reflexão, absorção e transmissão a sua caraterização.
No que se refere à propagação da energia radiante considera-se que esta se faz através de ondas eletromagnéticas que são caraterizadas pelo seu campo elétrico (E), perpendicular ao campo magnético (M), e que viajam, no vácuo, à velocidade da luz ($3x10^8$ ms^{-1}). O comprimento de onda (λ) representa a distância de um pico de onda ao seguinte, a frequência (f), dada em s^{-1} ou Hz, corresponde ao número de picos que passam num ponto fixo do espaço por unidade de tempo, a velocidade (v), dada em m/s, será $v = f * \lambda$ (f e λ são inversamente proporcionais). Esta velocidade, que é constante, é igual à velocidade da luz sendo a energia da radiação diretamente proporcional à sua frequência, ou seja, $E = h * f$, em que E é a energia, h a constante de Planck e f a frequência.
O conceito de comprimento e frequência das ondas é muito importante para se perceber o efeito Doppler, que explica como é que as ondas do som e da luz são comprimidas ou expandidas à medida

que os objetos que as produzem se aproximam ou afastam dos sensores. Por exemplo, à medida que um comboio se aproxima os nossos ouvidos tendem progressivamente a ouvir os sons mais altos (menores comprimentos de onda, que se traduzem em mais energia) até que ele chega até nós, verificando-se depois, à medida que o comboio se afasta, situação em que as frequências originais diminuem (maiores comprimentos de onda, que se traduzem em menos energia), que o som se torna cada vez mais baixo.

Uma carga em repouso cria à sua volta um campo radial e uniforme que se estende até ao infinito; se esta carga for acelerada haverá uma variação do campo elétrico no tempo, que induzirá também à variação de um campo magnético, perpendicular ao primeiro. Estes campos, constituídos por ondas eletromagnéticas que têm uma direção de propagação perpendicular às direções de vibração daqueles, propagam-se mesmo no vácuo. Estas ondas são compostas por duas ondas independentes e transversais, uma de campo elétrico e outra de campo magnético, não podendo existir separadamente.

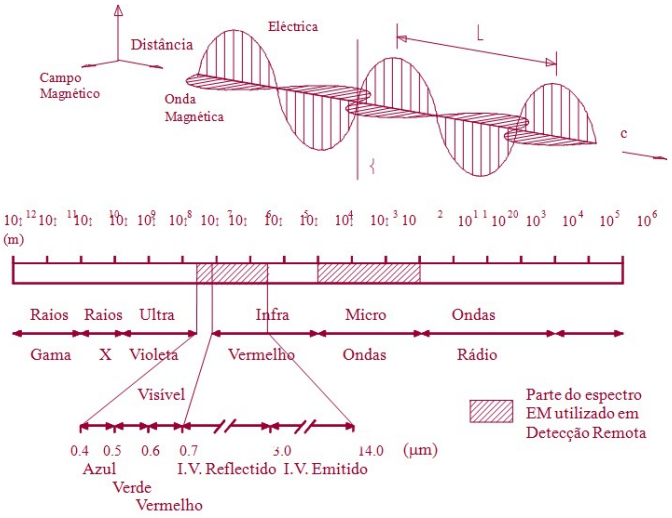


Figura 3- Representação do movimento sinusoidal / harmónico de uma onda eletromagnética e do espetro eletromagnético

c- Direção da onda, λ- Comprimento da onda, v- Velocidade da luz.

Fonte: Baio, M. (2007).

2- O espetro eletromagnético

O espetro eletromagnético resulta da decomposição da energia radiante emitida pelo sol ou outra fonte, nos diferentes comprimentos de onda das frequências do espetro dessa fonte.

O Sol, a maior fonte de energia, emite radiações de comprimentos de onda menores que 0.1 nm (nanómetros) até às centenas de metros, sendo ± 99% dessa energia emitida entre 0.15 - 4 μm (150 - 400 nm); a parte absorvida pela Terra é emitida entre 4 - 14 μm.

Segundo José Coelho (2004) as principais bandas espetrais utilizadas na caraterização dos objetos são:

- banda espetral do visível (0.4 μm - 0.7 μm). As três componentes mais usadas são o azul (0.4 a 0.5 μm), o verde (0.5 a 0.6 μm) e o vermelho (0.6 a 0.7 μm). A junção destas três cores básicas resulta na cor branca e a falta de cor representa o negro, que se traduz pela ausência de reflexão. O espetro do visível inclui o violeta, anil, azul, verde, amarelo, alaranjado e vermelho;

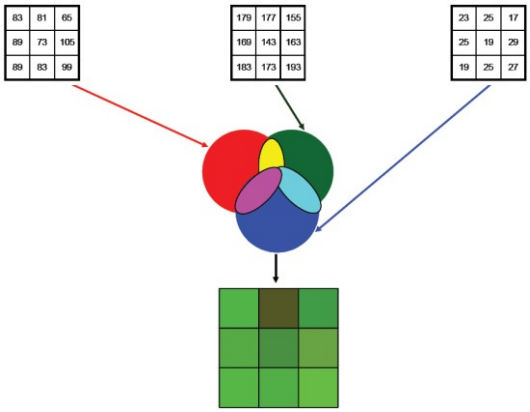


Figura 4- As cores básicas (espetro do visível) e sua interação.
Fonte: Ferreira, L. (2005).

- banda espetral do infravermelho (IV), (0.7 µm - 14 µm). Esta banda pode ser "dividida" em IV próximo (0.7 a 1.3 µm), IV médio (1.3 a 3 µm) e IV longo (3 a 14 µm) ou em IV refletido (0.7 a 3 µm) e emitido ou termal (0 a 14 µm). O IV abrange grande parte da energia solar que atinge a terra nos comprimentos de onda até aos 4 µm e a quase totalidade da energia absorvida e depois emitida pela superfície da terra, especialmente junto dos 10 µm. A radiação IV é facilmente absorvida pela maioria das substâncias (efeito de aquecimento), sendo muito utilizada nas câmaras de vidiovigilância, na deteção das pessoas durante a noite, nas resistências elétricas para cozedura dos alimentos, etc.

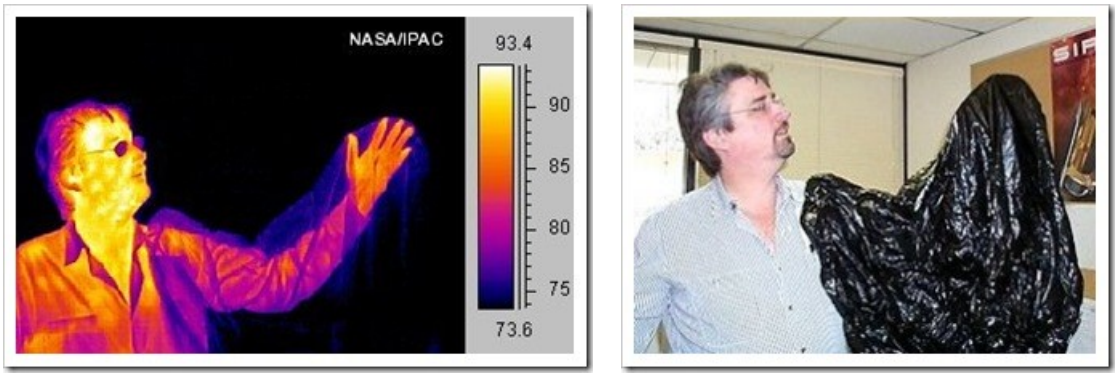


Figura 5- Utilização de infravermelhos para "ver" através de um saco de plástico negro
Fonte: ES D. Sancho II

- banda espetral das micro-ondas, correspondente à faixa de 1.4 mm a 30 cm (3×10^{11} a 3×10^{9} Hz). Esta banda permite gerar feixes de radiação eletromagnética altamente concentrados, chamados radares. Por serem pouco atenuados pela atmosfera e nuvens os sensores de micro-ondas podem ser usados em qualquer condição de tempo.

Para além das bandas apresentadas o espetro eletromagnético inclui ainda:

- os raios GAMA, que são os raios mais penetrantes resultantes das emissões de substâncias radioativas que, por destruirem células vivas, são utilizados na medicina no tratamento de tumores malignos e na esterilização de materiais. Não existe, em princípio, limite superior para a frequência das radiações gama, embora ainda seja encontrada uma faixa superior de frequência para a radiação conhecida como raios cósmicos;

- os raios X, que englobam a faixa de 1 A° (angstrom) a 10 nm (1 A° = 10^{-10} m), são gerados por electrões de alta energia. Por se constituirem de fotões de alta energia são altamente penetrantes, sendo uma poderosa ferramenta em pesquisas sobre a estrutura da matéria e muito utilizados em medicina, em radiografias e TACs;
- os raios ultravioleta, que englobam a extensa faixa do espetro (10 nm a 400 nm), são emitidos pelo Sol, mas poucos chegam à Terra pois são absorvidas nas camadas superiores da atmosfera. São utilizados como desinfetante da água da rede pública, na deteção de minerais por luminescência, poluição marinha, etc.;
- as ondas de rádio, que são caraterizadas pela baixa frequência e grandes comprimentos de onda, são utilizadas para comunicação a longa distância.

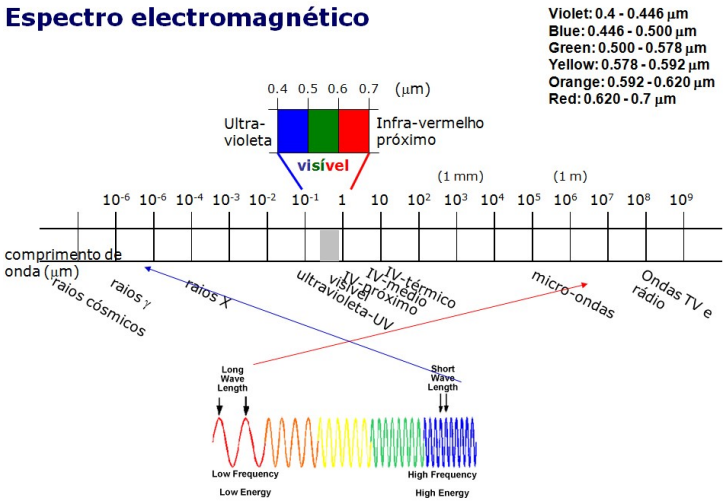


Figura 6- Espetro eletromagnético da energia radiante emitida pelo Sol.
Fonte: Seixas, J. (2007).

No que se refere à energia radiante refletida/emitida pela superfície terrestre ela é, segundo Dennis Francis (2004), determinada por sensores remotos, especialmente na faixa do visível e infravermelho próximo (400 a 1000 nm); as plantas absorvem energia na banda do vermelho e refletem-na na banda do infravermelho, que é o contrário do que acontece com o solo e a vegetação morta. Um sensor remoto é um dispositivo que capta determinadas partes do espetro da energia radiante refletida ou emitida pelos objetos situados à superfície da terra e a refletida ou difundida pelas partículas em suspensão na atmosfera, convertendo-a num sinal numérico; estes sensores são as máquinas fotográficas dos satélites pois captam a REM da superfície terrestre transformando a energia transportada pela onda em impulsos eletrónicos ou valores digitais proporcionais à intensidade dessa energia.

A deteção remota é, assim, um conjunto de técnicas utilizadas na recolha de informação de um objeto ou área, sem estar em contato com eles, e que utiliza, para o efeito, a fotografia aérea e as imagens de satélites; as ondas eletromagnéticas (radiação eletromagnética - REM) podem ser consideradas como "termómetros mensageiros" da deteção remota (Figueiredo, 2005).

A fotografia aérea é obtida com câmaras fotogramétricas a um nível suborbital, sendo a energia registada por sensores eletro-óticos que captam uma área cuja informação é dada pelas diferenças de cor no interior da imagem. As imagens de satélites são obtidas a um nível orbital (400 - 920 km) com sensores imageadores instalados em plataformas de satélites artificiais (Pires, 2005). Estes sensores fornecem, como resultado, uma imagem da superfície observada, ou seja, fornecem

informações sobre a variação espacial da resposta espetral daquela. Os sensores não imageadores fornecem informação sob a forma de dígitos ou gráficos, exemplo dos radiómetros, ou de uma assinatura espetral, exemplo dos espetroradiómetros.

Os sensores imageadores podem ser de sistema de quadro, ou seja, adquirem a imagem da cena na sua totalidade num mesmo instante (RBV), de sistema de varrimento (TM, MSS, SPOT) e de sistema fotográfico, em que as câmaras métricas são aerotransportadas. Os filmes das câmaras fotográficas apenas permitem captar a resposta espetral desde o espetro do ultravioleta próximo até ao infravermelho distante, o que não acontece com os sistemas de varrimento.

As diferentes fases da deteção remota são as indicadas no esquema da figura 8.

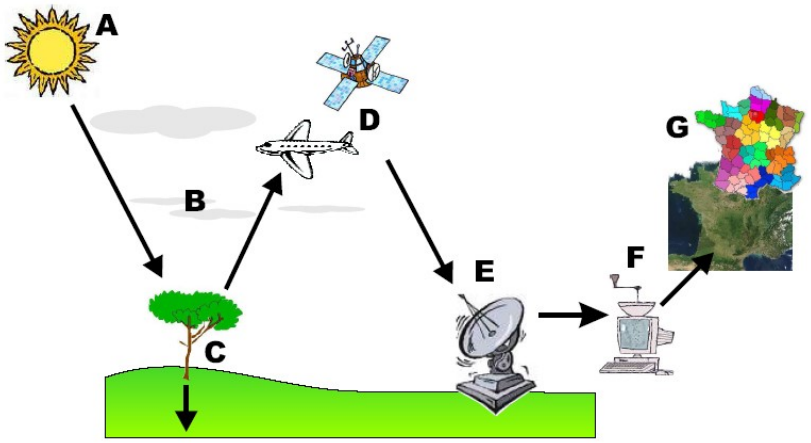


Figura 8- O processo passivo de deteção remota (teledeteção)
A- Fonte de energia B- Atmosfera C- Objeto D- Captador E- Transmissão/Receção/Processamento F- Interpretação e análise G- Aplicação
Fonte: Delenne, C. (2006).

Como se pode observar o processo de deteção remota utiliza:

- uma fonte de energia ou iluminação (A), que ilumina o objeto embora, por exemplo, na radiação por infravermelhos térmicos, o próprio objeto emita energia. A fonte de energia e o sensor podem, por exemplo, no caso dos radares, serem confundidos, pois estes enviam um sinal e captam a sua reflexão. Estes sensores designam-se por ativos;
- a atmosfera (B), que interfere no percurso entre a fonte de energia e o objeto e no trajeto de retorno entre este e o sensor;
- o objeto (C), que recebe a energia e interage com ela de acordo com as propriedades da sua superfície e das caraterísticas da radiação. Por exemplo, uma superfície de água, sem ondulação, transmite praticamente na totalidade as ondas radar pelo que nenhuma informação é retransmitida ao sensor aparecendo assim as imagens como uma sombra
- o registo da energia pelo sensor remoto (D), como resultado da reflexão/emissão da radiação pelo objeto;
- a transmissão, receção e tratamento (E) da energia, transformada em sinais elétricos, enviada pelo sensor para a estação de receção, equipada com antenas parabólicas, onde a informação é transformada em imagens. Estas, compostas por uma ou mais bandas espetrais, correspondem aos comprimentos de onda captados. As imagens a cores naturais são obtidas das três bandas espetrais correspondentes aos comprimentos de onda do azul, verde e vermelho. Para se visualizar a reflexão emitida nos comprimentos de onda não visíveis ao olho podem-se utilizar imagens em falsas cores como, por exemplo, as imagens de infravermelhos-coloridos (CIR- colour

infrared) em que os infravermelhos são representados pela cor vermelha (cor primária), sendo esta codificada em verde e esta em azul;
- a interpretação e análise (F) das imagens que permite caraterizar visual ou numericamente a imagem tratada para se poder extrair a informação desejada sobre o objeto;
- a aplicação (G) que consiste na utilização da informação extraída da imagem para se identificar e caraterizar objeto.

A deteção remota é, geralmente, a primeira informação (primeiro "layer") dos Sistemas de Informação Geográfica, pois permite observar um campo sem nos deslocarmos lá.
Representando esquematicamente a "posição" da deteção remota na AP tem-se:

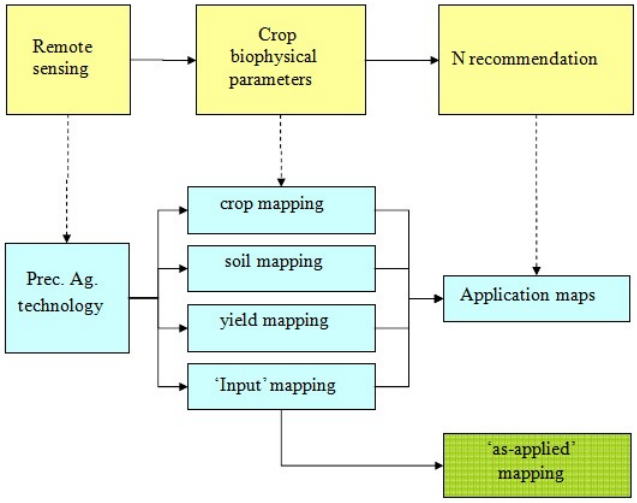


Figura 9- A deteção remota na agricultura de precisão
Fonte: Wood, G. (2006).

3- Reação dos objetos à energia radiante

A reação dos objetos à energia eletromagnética (REM) faz-se pela reflexão, absorção e transmissão, dependendo os seus valores da natureza do corpo, seu nível energético e do ângulo de incidência da radiação; a interação da REM com a matéria é explicada pela teoria quântica de Max Planck.

Figura 10- Interação da REM com um objeto.
Fonte: Delenne, D. (2006).

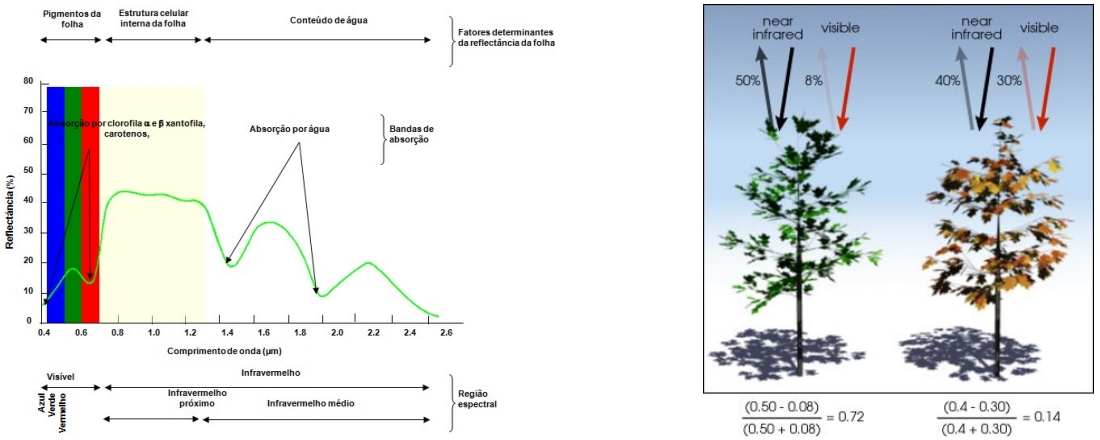
Pelo princípio da conservação da energia, quando a radiação eletromagnética incide sobre a superfície de um material, parte dela será refletida, parte absorvida e a restante, caso a matéria possua alguma transparência, transmitida, sendo a soma destas três componentes igual, em intensidade, à energia incidente. A radiação eletromagnética pode ser definida como uma propagação da energia como resultado da variação temporal do campo elétrico e magnético de uma onda (Figueiredo, 2005). A refletância de um objeto, que é a quantidade de energia refletida / emitida, relativamente à recebida, em todos os comprimentos de onda do espetro, permite obter uma curva que se designa por assinatura espetral, que é única para cada objeto, pois é função da sua composição físico-química. (Delenne, 2006). A deteção remota usa toda a energia refletida / emitida pelos objetos ou feições terrestres para criar mapas diferenciais, em duas ou três dimensões, que mostram as variações da energia dentro da área analisada .

3.1- Reação da vegetação à energia radiante

O espetro resultante da reflexão / emissão da radiação pela vegetação (assinatura espetral) é uma ferramenta poderosa para estimar várias caraterísticas fisiológicas das plantas, pois as ondas eletromagnéticas ao incidirem na sua superfície são refletidas, absorvidas ou transmitidas em conformidade com as suas caraterísticas.

As áreas que apresentem plantas saudáveis e com o mesmo nível de crescimento, aparecem como manchas uniformes e as com plantas pouco desenvolvidas, ou com falta de vigor, aparecem com manchas de tonalidades diferentes das anteriores (mais claras).

Uma resposta espetral "típica" da vegetação apresenta uma evolução semelhante à indicada na figura 11 A. O comportamento espetral de uma cobertura vegetal (figura 11 B) apresenta algumas diferenças relativamente às folhas isoladas devido à influência do solo não coberto de vegetação, ângulo da iluminação solar e orientação das folhas (Figueiredo, 2005).

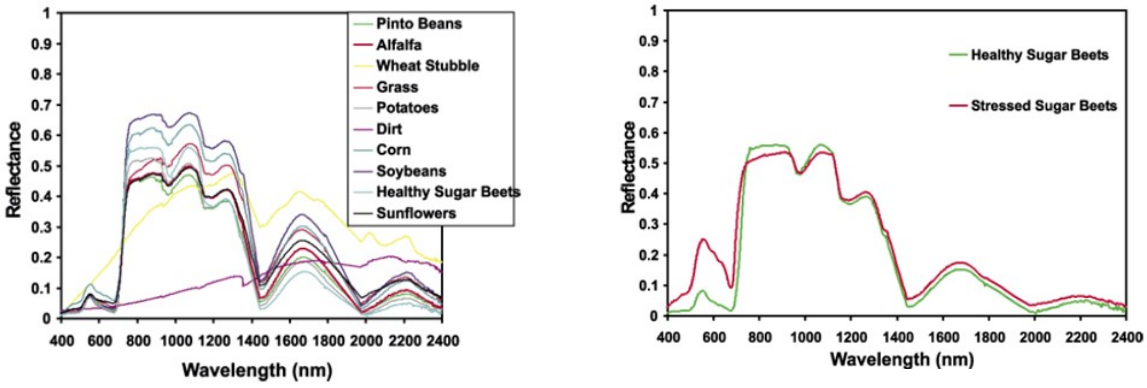


A **B**

Figura 11A e B- Comportamento espetral da vegetação
Fonte: Ferreira, L. (2005).

O comportamento espetral das plantas na banda do visível resulta da variação da sua composição química e física pois as folhas têm baixa reflexão no azul e vermelho e média no verde; este comportamento resulta da clorofila absorver grande parte da radiação do visível tendo um pico de reflexão nos 0.55 µm (verde). No espetro do infravermelho (IV) próximo (0.76 a 1.35 µm) as folhas têm, devido à sua estrutura interna, uma reflexão elevada o que lhes permite irradiar parte da energia absorvida mantendo o seu equilíbrio térmico e, no infravermelho médio, têm baixa refletância devido à presença da água nas folhas (Ferreira, 2005); uma baixa refletância no infravermelho próximo pode indicar uma falta de vigor das plantas Apresenta-se, no anexo 5, o comportamento espetral da vegetação a diferentes comprimentos de onda.

Comparando culturas saudáveis e em stress tem-se a seguintes curvas espetrais:



A **B**

Figuras 12A e B- Evolução das assinaturas espetrais de diferentes plantas (Fig. 12A) e comparação das assinaturas de uma planta de beterraba saudável e com stress (Fig. 12B).
Fonte: Salem, R. (2007).

A deteção remota tira grandes vantagens das imagens resultantes da radiação infravermelha pois as plantas são boas refletoras dos raios infravermelhos provenientes do sol; as plantas saudáveis refletem esta radiação em todas as direções permitindo o diagnóstico das condições da cultura (Dimitrios, 2003). Para além da radiação infravermelha a deteção remota, por limitações físicas e tecnológicas, usa a banda do visível e das micro-ondas. O teor de água das folhas condiciona igualmente a radiação emitida, pois a absorção pela água ocorre nos comprimentos de onda (cdo) de 1.4, 1.9 e 2.7 µm, o que é muito importante para determinação do stress hídrico; a determinação do índice de água (WI) permite estimar a quantidade relativa de água nas folhas, o seu potencial de água e a temperatura da copa (Prasad, 2001). Na figura 13 verifica-se que as folhas tem baixa refletância na banda do visível e alta no infravermelho próximo.

Figura 13- Interação da REM com a vegetação
Fonte: Pinto, F. (2010).

Do exposto constata-se que as propriedades das folhas induzem a comportamentos espetrais diferentes, pois os pigmentos têm maior reflexão na banda do visível, o arranjo espacial do mesófilo no infravermelho próximo (estas ondas são refratadas entre os espaços intercelulares e os espaços aéreos) e a água no infravermelho médio (estas ondas são absorvidas pelas moléculas de água das células). A interação da REM com as folhas depende, assim, da textura e das propriedades óticas e bioquímicas das folhas (idade, variáveis fenológicas, arquitectura dos indivíduos, percentagem de massa necrosada, etc.), do comprimento da onda e do seu ângulo de incidência, tendo a reflexão uma relação directa com o índice de área e fitomassa foliar verde e indirecta com os pigmentos das células e seu teor de água. A radiação ótica proveniente de um objeto tem duas origens possíveis, uma que é da emissão que resulta da atividade dos átomos que constituem o objeto e, a outra da reflexão das fontes radiantes existentes no ambiente em que aquele se encontra.
A reflexão no dossel é similar, mas é modificada pela não uniformidade da radiação incidente, estrutura das plantas e refletância da superfície de fundo; a influência do solo na vegetação traduz-se pelo Índice de Vegetação Ajustado ao Solo ((SAVI = ((NIR - R) / (NIR + R + L)) x (1 + L)), em que L é a constante que traduz o efeito do solo sobre a refletância do dossel e é função do índice de área

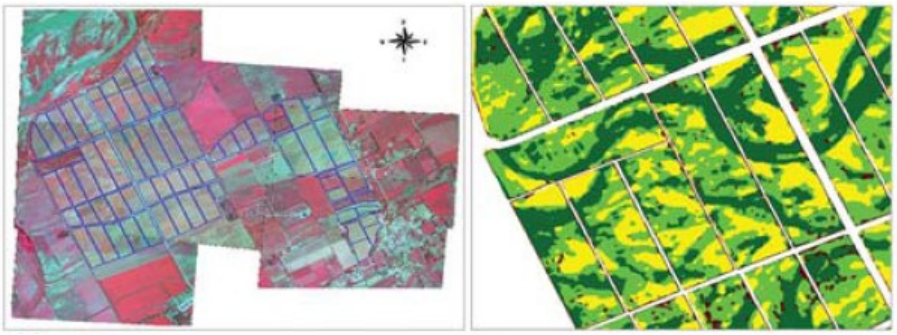
foliar; NIR é o valor numérico da radiação do objeto na banda do infravermelho próximo e R é o valor numérico do objeto na banda do vermelho.
Em resumo pode-se afirmar que a clorofila reflete praticamente toda a radiação do infravermelho próximo, que é um bom indicador da saúde das plantas pois, quanto mais vermelhas as imagens CIR se apresentarem, melhor é o seu estado sanitário; todas as áreas em que as plantas apresentem um crescimento uniforme e isentas de doenças terão cor vermelha, sendo esta menos intensa nas áreas correspondentes às plantas com menos vigor ou deficiente estado sanitário.
Segundo Ferreira (2005) o comportamento espetral das plantas apresenta sete zonas principais:

- do azul (0.4 a 0.5 μm), absorções controladas por carotenos e clorofila;
- do verde (0.5 a 0.6 μm), refletância ligeiramente mais alta (absorções devido a clorofila…);
- do vermelho (0.6 a 0.7 μm), sensibilidade à presença de clorofila;
- de transição (visível - infravermelho "red edge"), sensível ao stress (1ª derivada)
- do NIR (0.7 a 1.3 μm), ausência de absorções. Radiação refletida e transmitida;
- de transição (NIR →MIR), "NIR edge";
- do MIR (0.7 a 1.3 μm), predominam as absorções OH- (H_2O)

As doenças e o stress das plantas são facilmente identificados em deteção remota através da determinação dos índices de vegetação, exemplo do NDVI (índice de vegetação da diferença normalizada), cujo valor é diretamente proporcional ao teor de clorofila, sendo este proporcional à quantidade de azoto da cultura, que têm como referência a refletância ao nível do infravermelho próximo. Como os valores do NDVI variam em função da luminosidade é importante que se façam várias medições durante o dia.
Figura 14- Imagem NDVI composta por duas imagens de infravermelhos. O stress das plantas devido a deficiências em nutrientes, ataques de insetos, seca, etc., são facilmente identificados (cor azul).
Fonte: Fujikawa, S. (2008).

De acordo com Baret e Guyot (1991) os índices de vegetação podem ser agrupados em duas classes:
- classe 1, índices na forma de razão, exemplo do Ratio Vegetation Index (RVI), do Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) e do Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI);
- classe 2, índices caraterizados pela distância ortogonal, exemplo do Perpendicular Vegetation Index (PVI), do Weighted Difference Vegetation Index (WDVI) e do Green Vegetation Index (GVI).

Os índices de vegetação correlacionam-se positivamente com a biomassa verde, com o índice de área foliar (LAI), com o índice de área verde (GAI), com o índice de área verde foliar (GLAI), com a radiação fotossinteticamente ativa (fPAR), etc. (Bishwajit,2001).
A maioria dos índices de vegetação são obtidos de medições da refletância nas faixas espetrais do vermelho e infravermelho próximo do espetro eletromagnético pois estas estão presentes na maioria dos satélites, possuem mais de 90 % da informação espetral sobre a vegetação e nesta última faixa a refletância da vegetação verde e saudável é maior que a do solo seco (Brandão, 2112).



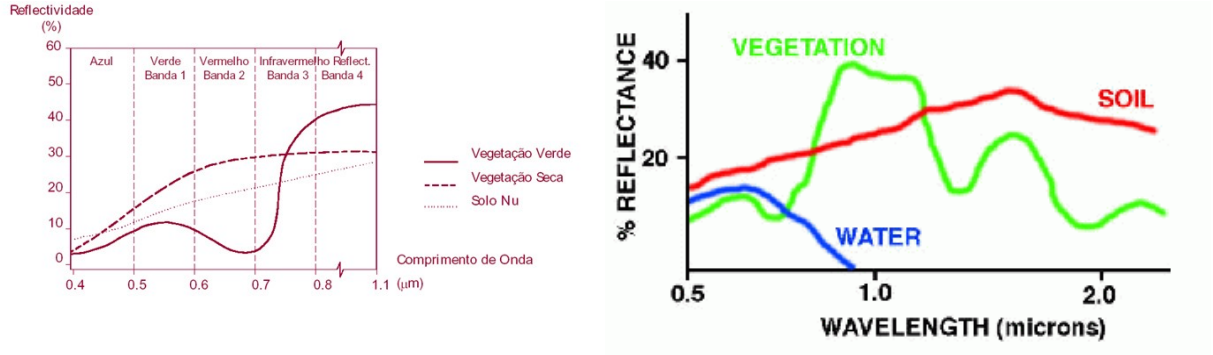
A B

Figura 15- Imagem multiespetral corrigida de uma vinha disposta em mosaicos (A) e visualização da sua imagem obtida depois de classificada de acordo com o índice de vegetação NDVI, que traduz a variabilidade do vigor das plantas dentro da mesma variedade e entre variedades (B).
Fonte: Procisur (2006).

Para além dos índices referidos utilizam-se ainda índices texturais que traduzem as propriedades baseadas nas diferentes caraterísticas texturais dos alvos ou nas caraterísticas das suas imagens; alvo é um objeto natural ou criado pelo homem, existente na superfície terrestre e que pode ser identificado por um sensor remoto. Índices texturais como a homogeneidade, o contraste e o momento angular têm sido utilizados para estimar a produção do milho (Gautam, 2006).

3.2- Reação do solo à energia radiante

O solo apresenta uma interpretação espetroradiométrica mais complexa que a vegetação, pois a radiação incidente é praticamente toda refletida e absorvida, sendo a transmitida quase nula. Os principais fatores que determinam a reflexão são a textura (areia, limo e argila), estrutura, teor de humidade, matéria orgânica, calcário e óxidos de ferro. A humidade e matéria orgânica, devido à cor escura que conferem ao solo, absorvem radiação e o calcário reflete-a. O óxido de ferro reflete o vermelho e absorve o verde, o que define uma assinatura espetral específica que pode ser utilizada na prospeção de depósitos de ferro. Quanto à textura (granulometria) a diminuição do tamanho das partículas aumenta a refletância, atenuando as bandas de absorção, verificando-se o contrário à medida que a granulometria aumenta (Figueiredo, 2005).



A B

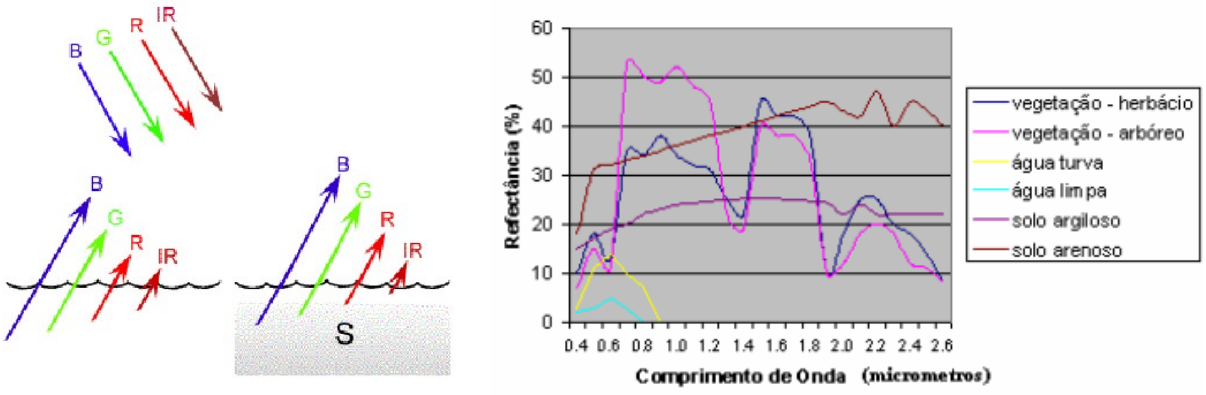
Figuras 16A e B- Refletância nas bandas do visível e infravermelho próximo.
Fonte: Baio, M. (2007).

Atualmente ainda não é possível medir diretamente por deteção remota a humidade do solo, o teor de matéria orgânica, etc., mas já é possível obter dados que estejam correlacionados com estas variáveis, pelo que a sua determinação pode ser feita indiretamente. Em deteção remota a

extrapolação destes valores para grandes áreas permite obter um volume de informação impossível de se conseguir com os métodos tradicionais, o que torna possível dispor de uma grande quantidade de informação com o mínimo de trabalho.

3.3- Reação da água à energia radiante

A água tem uma baixa reflexão na zona do visível, sendo a maioria da radiação transmitida e uma pequena parte absorvida; a absorção pela água ocorre nos comprimentos de 1.4, 1.9 e 2.7 µm. Ao longo do espetro da radiação a água vai diminuindo a refletância à medida que os comprimentos de onda aumentam; na região do visível, especialmente nas faixas do azul e verde, observa-se uma refletância significativa da água, que vai diminuindo na direção do infravermelho (Figueiredo, 2005).



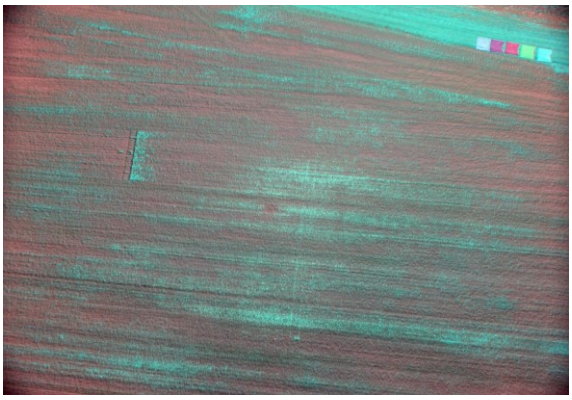
A **B**

Figura17A e B- Reação da água à energia radiante no espetro do visível e infravermelho próximo e sua comparação com a vegetação e solo. S - água turva
Fonte: Inc.; Bitencourt, M.

Segundo Crager (2008) considerando os vários elementos do dossel as imagens CIR (colour infra-red), obtidas no espetro do visível e infravermelho, apresentam as seguintes cores:

- Vermelho vivo - vegetação saudável;
- Rosa - vegetação em stress ou imatura;
- Verde escuro - solos escuros ou com elevados teores de humidade;
- Verde claro- solos ligeiros ou solos delgados;
- Negro - água limpa;
- Branco - areia, argila ou copas em floração.

A



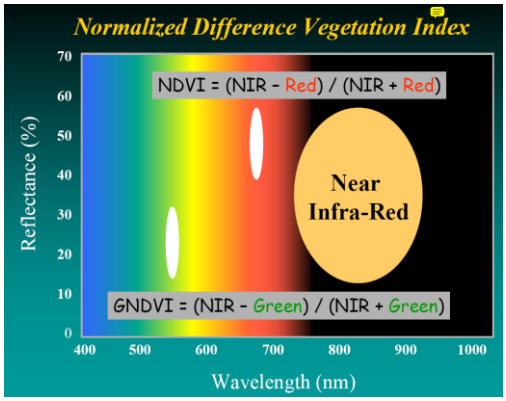
B

Figura 18A e B- Imagens CIR. Imagem com a coloração dos vários componentes do dossel (18A) e imagens obtidas entre 5 - 7 µm onde o azoto, clorofila, água e os componentes do solo têm diferentes refletividades (18B).
Fonte: Crager, S (2008); Fujokawa, S. (2008).

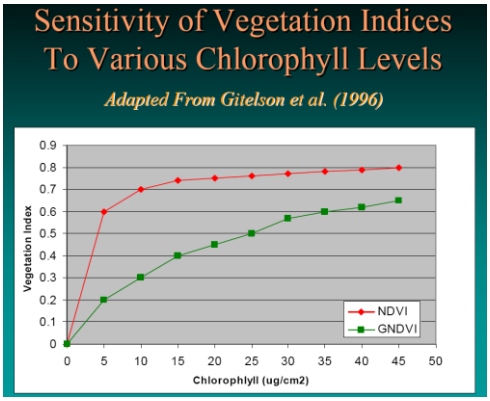
Na Figura 18A sobressai a parcela com uma cultura saudável (vermelho vivo, no canto superior direito) e um curso de água (linha a negro, no lado esquerdo). Na Figura 18B é a heterogeneidade no desenvolvimento da cultura que se torna mais relevante, havendo mesmo zonas praticamente sem vegetação (cor verde). A identificação das feições e alvos terrestres tais como florestas, cursos de água, etc., resultam da associação de pontos de uma imagem, com caraterísticas espetrais comuns, a uma classe ou grupo de classes.

4- Índices de vegetação

Os índices de vegetação são indicadores que se baseiam nas grandes diferenças de refletância que a vegetação verde apresenta nas regiões do visível e do infravermelho próximo (refletido), ao contrário da vegetação morta ou seca e dos outros tipos de ocupação do solo (água, solo nu, etc.). Estes índices, cuja medição periódica ao longo do ciclo vegetativo das culturas permite estimar a área foliar (LAD), são uma combinação de operações aritméticas entre valores de reflexão correspondentes a determinados comprimentos de onda.



A

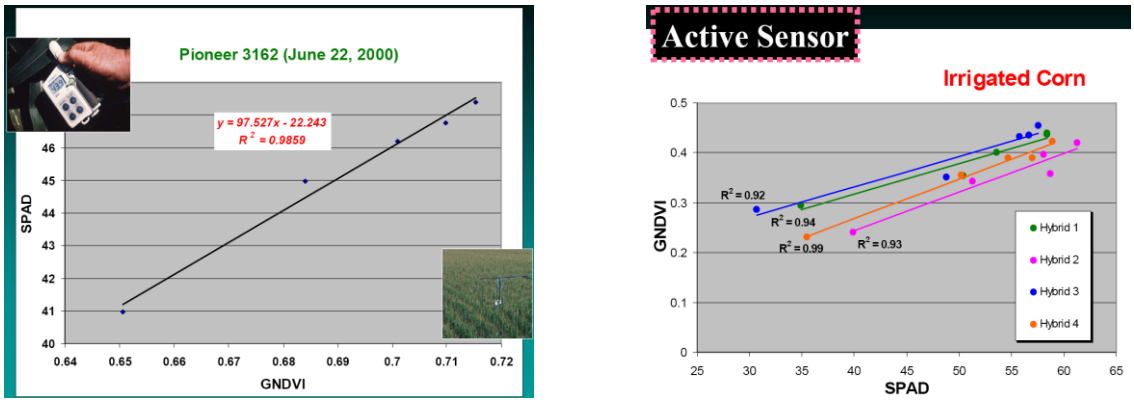


B

Figura 19A e B- Índices de vegetação e sua variação com os teores de clorofila
Fonte: Francis, D. (2004)

Na figura 19A estão representados dois dos índices mais utilizados, o NDVI- índice de vegetação da diferença normalizada (normalized difference vegetation index) e o GNDVI - índice de vegetação da

diferença normalizada do verde (green normalized difference vegetation index) e, na figura 19B, a sua evolução em função do teor de clorofila das folhas. O índice de vegetação do vermelho (NDVI) é mais elevado que o do verde (GNDVI) pois os valores da refletância na faixa do infravermelho e vermelho estão mais afastados que os do infravermelho relativamente ao verde; na faixa do vermelho grande parte da energia é absorvida e apenas uma pequena parte refletida.
Para além destes dois índices a relação simples SR (SR = R_{NIR} / R_R) é igualmente muito utilizada.



A B

Figura 20A e B- Relação entre os valores do SPAD e o índice GNDVI na cultura do milho
Fonte: Francis, D. (2004)

Os índices de vegetação (VI) são muito utilizados para caraterização de parâmetros biofísicos da vegetação, tais como o índice de área foliar (IAF), fitomassa, radiação fotossinteticamente ativa absorvida e produtividade (Alexandre Santos); os índices permitem reduzir a informação de múltiplas bandas para um número.
Os valores do SPAD (Soil Plant Analysis Development) são obtidos pela seguinte fórmula:

SPAD = (I 650 / I 940) sem folha - (I 650 / I 940) com folha

em que I representa o valor da radiação transmitida nos comprimentos de onda indicados, determinada na margem da folha oposta à incidência da radiação; quanto mais elevado for o seu valor maior é o teor de clorofila da folha; o λ 650 nm corresponde à faixa do vermelho e o λ 940 nm à do infravermelho próximo

5- Tipos de sensores mais utilizados na AP

Os sensores mais utilizados em AP são os óticos e os elétricos, baseando-se o funcionamento dos primeiros na receção (energia absorvida) por um elemento fotossensível de um feixe de luz emitido pelo sol ou outra fonte de energia e, os segundos, na variação de um campo eletromagnético resultante da passagem de uma corrente elétrica; estes, devido à rápida resposta, baixo custo e grande durabilidade, têm vindo a ser muito utilizados para mapeamento, em movimento, do solo. Para além destes dois tipos ainda se utilizam sensores mecânicos, sonoros, pneumáticos, etc.
Relativamente à distância aos objetos os sensores são considerados de proximidade ou remotos sendo, no primeiro caso transportados em mão, no trator, em motoquatro, etc., ou seja, existe grande proximidade, ou mesmo contato, entre o sensor e o objeto a medir; os sensores remotos são posicionados, na maioria dos casos, em meios aéreos ou satélites, ou seja, a grande distância.
Relativamente ao tipo de resultados os sensores são identificados como não imageadores, quando não geram uma imagem da superfície analisada e, imageadores, quando os resultados se apresentam

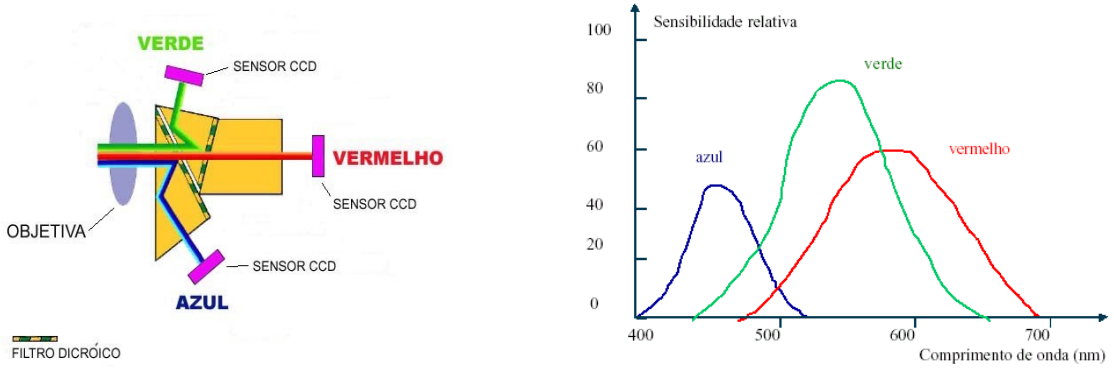
sob a forma de uma imagem. Os primeiros, exemplo dos espetroradiómetros, são fundamentais para a aquisição de informação precisa sobre o comportamento espetral dos objetos e, os segundos para análise da variação espacial da resposta espetral da superfície observada.

5.1- Sensores óticos

A energia radiante do sol ou de outra fonte é, sem dúvida, a caraterística mais importante para analisar o meio ambiente pelo que os sensores óticos são uma ferramenta determinante na agricultura de precisão.

Estes sensores são dispositivos de medição constituídos basicamente por uma unidade de leitura com indicador digital, e um medidor de radiação que capta e regista a energia eletromagnética proveniente dos objetos; são utilizados para medição da radiação solar global (piranómetro), da radiação PAR (radiação fotossinteticamente ativa), da radiação ultravioleta (UV), etc. Estes sensores convertem a energia emitida pelo objeto num sinal elétrico quantificável (sinal digital) que é registado e utilizado para a sua caraterização ou acionamento de um dispositivo. Um sinal digital é a representação de uma variável, exemplo da temperatura, por dígitos (0 e 1), o que faz com que esse sinal tenha apenas dois estados "on" ou "off"; quanto maior for o número de dígitos (resolução) maior é número de níveis da variável entre o seu valor mínimo e máximo.

Nos sensores digitais a informação é dada sob a forma de imagens (imagens bitmaps), ou seja, imagens compostas por vários pontos ou pixels (imagens matriciais) ou por figuras geométricas (imagens vetoriais); estas últimas podem-se obter das primeiras utilizando fórmulas matemáticas.



A **B**

Figura 21A e B - Esquema de um sensor para representação das três faixas da banda do visível e evolução das curvas de refletância. Azul - 460 ± 45 nm, Verde - 540 ± 40 nm, Vermelho - 660 ± 40 nm, Infravermelho próximo - 800 ± 65 nm.
Fonte: Pinto, F. (2000).

5.1.1- Sensores óticos para deteção em proximidade da energia radiante

Os sensores óticos de proximidade utilizados na deteção da energia radiante, designados por espetroradiómetros, permitem medir o espetro da radiação na banda do visível e infravermelho próximo, ou seja, em comprimentos de onda compreendidos entre 400 - 1200 nm.

Nos equipamentos portáteis, em que folhas são colocadas entre a fonte de energia e o sistema de receção, mede-se a energia que atravessa a folha (energia transmitida) que depende da energia que é refletida e absorvida por esta; transmitância é a razão entre o fluxo transmitido e o incidente.

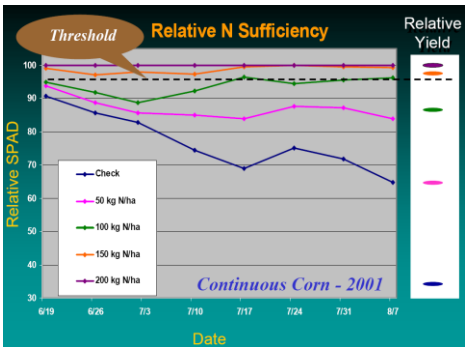
O espetroradiómetro representado na figura 22, disponível no Departamento de Agronomia da UTAD, ao ser ligado a um computador permite gravar um gráfico e seus valores, da energia

transmitida na faixa do visível e infravermelhos, sem destruir o material vegetativo; este equipamento permite determinar valores de transmitância numa faixa do espetro bastante mais lata que a indicada (400 - 1200 nm), mas os valores fora dessa faixa não têm fiabilidade.

Figura 22- Medição da energia radiante transmitida (transmitância) através das folhas
Fonte: Catálogo do equipamento

Figura 23- Medição da energia radiante refletida / emitida (refletância) pelas folhas.
Fonte: Godoy, L. (2009).

O medidor de clorofila SPAD (clorofilómetro), que é um sensor óptico de proximidade e que mede indiretamente o teor de azoto nas folhas pela determinação da transmitância entre 430 e 750 nm é, pela facilidade de utilização, indicado para identificar o estado das culturas; o valor medido, que é um valor relativo, sem dimensão, é tanto mais elevado quanto maior for o teor de clorofila (azoto) das folhas. A clorofila utiliza a luz vermelha baseando-se o SPAD na quantidade de luz vermelha absorvida e na quantidade transmitida através da folha; quanto mais clorofila a folha tem mais luz vermelha é absorvida (Marçal, 2004). Este equipamento pode igualmente medir o teor da clorofila na banda do infravermelho próximo, ou seja, entre 780 e 1050 nm.



A B

Figura 24A e B- Medidor de clorofila SPAD ("clorofilómetro") e gráfico da evolução dos seus valores na cultura do milho
Fonte: Francis, D. (2004)

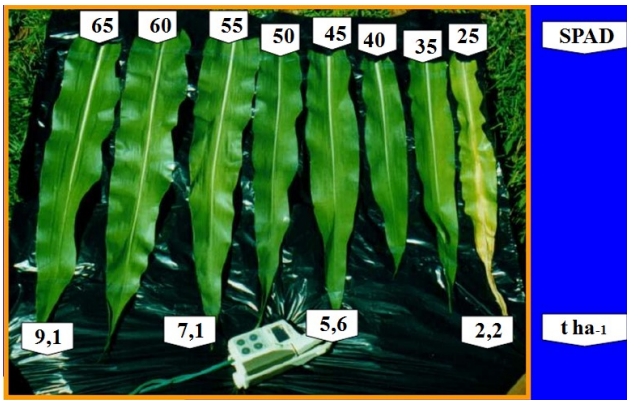


Figura 25- Relação entre o valor de SPAD e a produção numa cultura de milho
Fonte: Godoy, L. (2009).

A utilização de sensores óticos de proximidade, que medem a resposta das plantas à energia radiante do sol ou outra de fonte luminosa, tem vindo a ser preterida em relação aos sensores óticos de deteção remota que, utilizando o mesmo princípio de funcionamento, permitem medir respostas espetrais da superfície terrestre em grandes áreas.

5.1.2- Sensores óticos para deteção remota da energia radiante

Os sensores óticos utilizados em deteção remota são dispositivos que captam parte do espetro da radiação refletida e emitida pelos objetos localizados à superfície terrestre e a refletida ou difundida pelas partículas em suspensão na atmosfera e convertem-na num sinal numérico (Miguel Baio, 2007). Estes sensores, que permitem identificar e quantificar as propriedades físicas e químicas dos objetos da superfície terrestre, captam a radiação que é refletida e emitida por aqueles, nos vários comprimentos de onda, convertendo-a em imagens de fácil interpretação; as imagens obtidas pela informação radiométrica de um objeto são representadas pelo conjunto de valores de pixels dessa imagem. Cada objeto apresenta uma curva de refletância específica, designada por curva espetral, que permite a sua caraterização.

Os sensores remotos permitem obter imagens digitais bidimensionais dos objetos, traduzidas por números binários codificados, que podem ser armazenadas, transferidas, impressas ou processadas por meios eletrónicos.

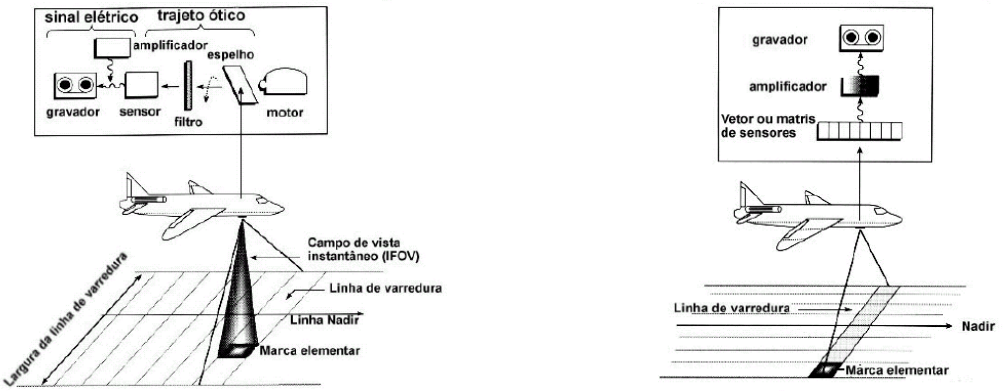
Os objetos são representados por registos contínuos sob a forma de matrizes cujos conjuntos numéricos representam cambiantes de tonalidades, exemplo da fotografia aérea, ou registos

discretos apresentados sob a forma de matrizes cujos conjuntos numéricos representam níveis radiométricos em uma ou mais bandas espetrais. As imagens matriciais contínuas são geradas a partir de pixels diferenciados pelas suas cores e as imagens descontínuas (vetoriais) a partir de vetores matemáticos, que permitem isolar objetos e zonas, tratando-as independentemente.

As fotografias aéreas digitais são obtidas a partir de sensores passivos (radiómetros) instalados em aeronaves, utilizando processos de varrimento por espelho; permitem obter imagens matriciais contínuas (Fig. 25A). O princípio desta técnica de imageamento é a mesma dos scanners multiespetrais lineares, em que os objetos são representados por quadrículas (pixels) com diferentes níveis radiométricos ou níveis de cinzento; estas imagens, também designadas por "bitmap", podem ter tamanhos de 7680 x 13824 pixels e uma resolução radiométrica de 12 bits. A REM refletida da superfície dos objetos ou alvos incide sobre um espelho móvel de face plana, com movimento oscilatório, de forma que a superfície do terreno é varrida em linhas perpendiculares à deslocação (varrimento transversal) da aeronave obtendo-se o imageamento sequencial de linhas da superfície do terreno.

As imagens de satélites, também possíveis de serem obtidas com aeronaves, são imagens matriciais descontínuas (discretas) (Fig.25B), ou seja, a matriz dos sensores cobre toda a largura da faixa de imageamento; nesta situação a linha de varredura coincide com a trajetória do satélite obtendo-se um imageamento sequencial de colunas da superfície do terreno. Estas imagens podem ser ampliadas sem perder qualidade, o que não acontece com as imagens matriciais contínuas

Quer nas imagens contínuas quer nas descontínuas a REM é decomposta em bandas espetrais e as linhas são fracionadas em pequenas parcelas quadradas da superfície terrestre, designadas por pixel.



A **B**

Figura 26A e B- Sensores imageadores para obtenção de imagens contínuas (varrimento transversal) e sensores imageadores para obtenção de imagens descontínuas (varrimento longitudinal).
Fonte: Pinto, F. (2010).
Figura 27- Matriz de uma imagem numérica espetral
Fonte: Baio, M.; Matos, J. (2007).

Aa **máquinas fotográficas analógicas** utilizam película fotográfica (sensor passivo analógico) para registo das imagens. Podem ser usadas em aeronaves mas não em satélites, devido à dificuldade de substituição daquela; o conceito de fotografia está associado à existência de um filme fotográfico no sensor As fotografias analógicas, obtidas apenas nas bandas do visível e infravermelho próximo, podem ser estudadas visualmente mas são geralmente digitalizadas para poderem ser tratadas. Numa câmara fotográfica analógica com "flash" quando o sistema da câmara é ativado, o flash é acionado e emite radiação que choca com o alvo sendo refletida para o sistema ótico da câmara. Esta

radiação é focalizada sobre o plano do filme, que constitui um detetor fotoquímico de radiação, sendo a energia representada de forma contínua (analógica); nas imagens geradas por sensores não fotográficos a energia é representada em quantidades discretas.

Nas **máquinas fotográficas digitais**, no lugar da película (filme), as imagens são captadas por um CCD (Charge Coupled Device) que é um dispositivo ótico que deteta a energia luminosa e a codifica em impulsos eletrónicos, da mesma forma que um scanner, que podem ser gravados em cartões de memória para serem lidos por computadores ou para gerarem produtos fotográficos para análise visual (Thomé). Os dados dos sensores não analógicos ao serem obtidos sob a forma de sinal elétrico podem ser facilmente transmitidos para estações distantes onde, por processamento electrónico, se faz a sua análise discriminatória.

As imagens digitais são, assim, constituídas por um conjunto de matrizes de valores numéricos, que registam os níveis radiométricos captados pelos sensores em cada elemento da matriz de cada uma das bandas espetrais. Cada elemento da matriz chama-se pixel sendo os objetos referenciados na matriz pela posição dos pixels nas linhas (i) e nas colunas (j) e identificados pelo nível radiométrico registado pelo sensor. Uma imagem numérica multiespetral é, assim, constituída pela informação radiométrica (nível radiométrico - NR) de um conjunto de elementos, um por cada banda (k), dispostos na forma de matrizes, [NRk]ij (i=1,…, n; j=1, …, m); para uma mesma cena as imagens multiespetrais permitem obter uma maior quantidade de informação, pois cada faixa do espetro eletromagnético possui peculiaridades próprias de interagir com a matéria. Radiância é a quantidade de radiação que deixa uma superfície por unidade de área e irradiância é a quantidade de radiação que incide sobre uma superfície, por unidade de área (Figueiredo, 2005) traduzindo a refletância a relação entre a radiância e a irradiância.

As imagens digitais multiespetrais devem ser processadas de modo a fornecer dados passíveis de serem utilizados na produção de informação geográfica, pelo que as técnicas de processamento devem permitir corrigir os erros resultantes da mudança de altitude da plataforma de aquisição, das falhas dos sensores na captação do sinal, do efeito provocado pela difusão atmosférica, da própria rotação da Terra, etc.

Quando os sensores remotos obtêm dados da radiação eletromagnética emitida pelos objetos ou por uma área, produzem uma imagem digital em duas ou três dimensões, traduzida em pixels que quanto menor forem, maior será a resolução e detalhe da imagem; esta pode ser a preto e branco, colorida ou abranger o espetro relativo ao visível e infravermelho (CIR- colour infrared).

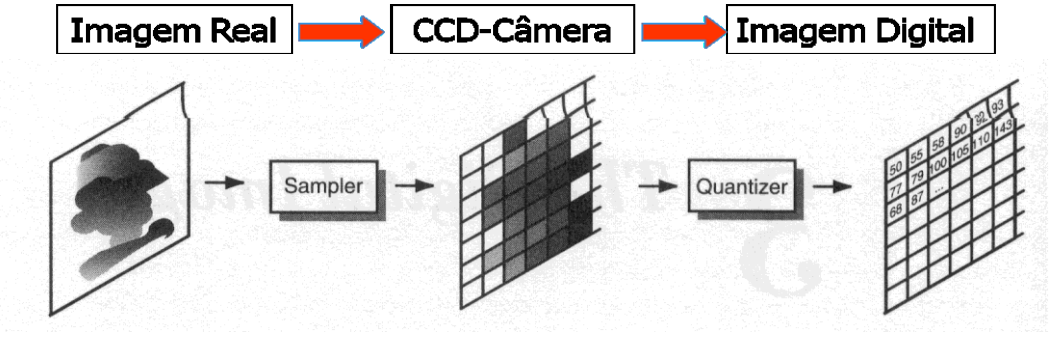


Figura 28- Conversão de uma imagem digital contínua em discreta.
Fonte: Varella, C. (2007).

A amostragem (sampler), que é a digitalização das coordenadas (x,y), é igual ao tamanho da imagem

digital (LxC) e a quantização (quantizer) é a digitalização da amplitude escalonada em níveis de cinza (Varella,2007). Cada imagem obtida por deteção remota é armazenada em dois arquivos, um com o cabeçalho (identificação do satélite, do sensor, etc.) e um outro com os valores numéricos correspondentes aos pixels da imagem, que é a imagem digital; cada registo deste arquivo corresponde a uma linha da superfície terrestre sendo o valor de cada campo proporcional à intensidade da REM proveniente da superfície terrestre. Uma imagem Landsat, em que a dimensão do pixel é de 30 m, ao cobrir uma área de 180x180 km tem 6000 linhas com 6000 pixels cada; considerando as 7 bandas espetrais o espaço ocupado pela imagem é de 250 MB (6000*6000*7).
A grande vantagem da deteção remota é o permitir obter muita informação de uma forma rápida e com pouco trabalho mas, uma parte importante desta informação com interesse para a agricultura de precisão, não é dada diretamente mas inferida das variáveis medidas.

Os principais interesses da deteção remota prendem-se, assim, com:
- a possibilidade de ser uma fonte de informação espacial e temporal da superfície da terra, oceanos e atmosfera;
- a possibilidade de monitorizar e conhecer os sistemas ambientais;
- o ser uma informação precisa, facilmente atualizável e consistente;
- a possibilidade de permitir derivar dados quantitativos, nomeadamente no que se refere ao clima, à superfície terrestre, etc.

Assim, a deteção remota da vegetação permite, assim, determinar:
- a espacialização da cobertura vegetal (distribuição da paisagem);
- a densidade da cobertura vegetal (identificação das comunidades);
- algumas variáveis ecofisiológicas (identificação de indivíduos);
- a ação antrópica sobre a cobertura vegetal (uso e ocupação do terreno).

Em resumo a recolha contínua de dados por deteção remota permite estudar e perceber, o impacto humano no meio ambiente, gerir os recursos naturais e planear e conduzir várias atividades com importância social.

Os sensores de deteção remota são identificados em função do comprimento de onda como:
- sensores de radiação da faixa do visível e infravermelho próximo;
- sensores de micro-ondas;
- sensores de radiação RADAR;
- sensores de radiação LIDAR.

5.1.2.1- Sensores de radiação da faixa do visível e infravermelho próximo

A deteção remota por sensores óticos, na banda do visível e infravermelho próximo, é muito utilizada na análise do espetro emitido pelas plantas para a determinação da produção, quantificação da biomassa, níveis de infeção da vegetação, etc.. A luz visível ou luz branca é o conjunto de ondas com diferentes frequências e comprimentos que o nosso cérebro traduz em cores; cada cor identificada corresponde a uma determinada onda eletromagnética, com frequência e comprimento caraterísticos, a que correspondem temperaturas diferentes, pelo que a luz vermelha ao incidir num

corpo aquece-o mais que a luz violeta. Todos os objetos em que a temperatura é superior ao zero absoluto emitem a sua própria radiação, não visível a olho humano, função, entre outros, da sua composição química e estrutura física.

Para a análise qualitativa das fotografias CIR pode-se escolher três faixas espetrais que representem as variáveis que se querem analisar atribuindo a cada variável, uma das três cores primárias. Pode-se também utilizar o infravermelho próximo como referência, fazendo corresponder as imagens a fotografias em falsa cor ou com colorido natural. Para a análise quantitativa utilizam-se índices de vegetação (VI) dados por modelos numéricos, lineares ou não, proporcionais à densidade da vegetação viva.

A **B**

Figura 29A e B- Comparação de imagens de infravermelhos - colorida (A) e com cores naturais (B).
Fonte: Delenne, C. (2006)

Como se pode observar na figura 29A a imagem de infravermelhos - colorida (CIR), em falsa cor, faz com que os infravermelhos sejam apresentados a vermelho (corresponde à cor verde da vegetação), sendo as restantes cores (solo, etc.) apresentadas em azul (ciano), o que permite uma maior diferenciação da vegetação (Pinto, 2000). A utilização da banda do infravermelho permite identificar problemas ao nível da vegetação, mesmo antes de serem observados pelo olho humano, pois as plantas saudáveis emitem, nessa faixa, radiação em todas as direções; quando entram em stress devido à falta de água, pragas, doenças, etc., tornam-se menos refletivas. Na figura 29B apresenta-se a mesma imagem com cores naturais.

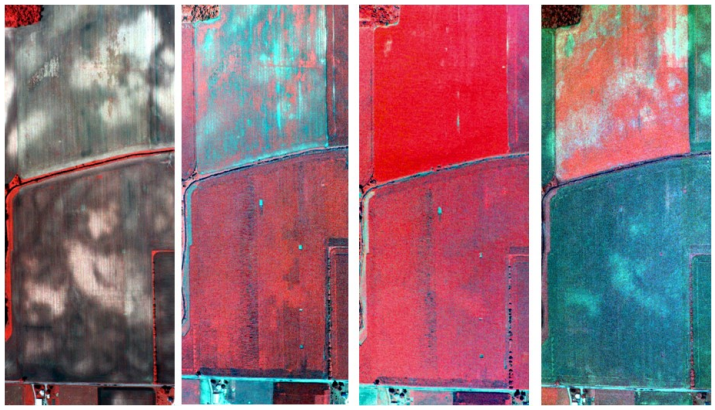
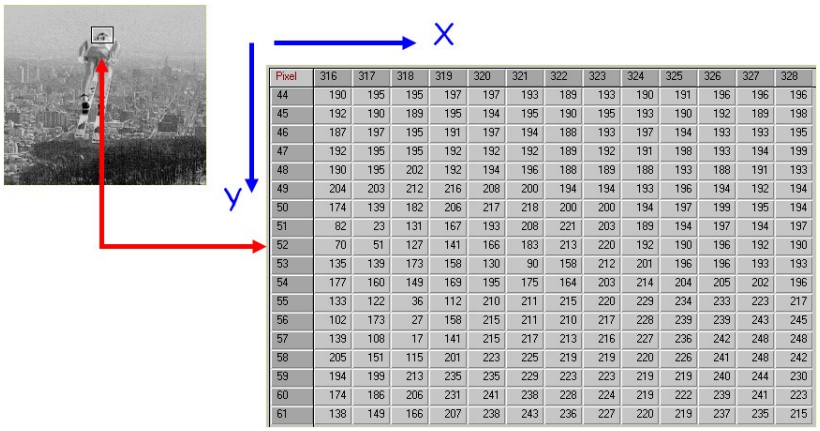


Figura 30- Imagens de infravermelhos - coloridas (CIR) relativas ao desenvolvimento vegetativo de campos de soja (08/06, 08/07, 03/08 e 12/11).
Fonte: Crager, S. (2008)

A monitorização da variação do crescimento pode igualmente ser dada pela utilização de imagens pancromáticas, ou seja, imagens obtidas apenas num canal (banda espetral) que engloba toda a informação do espetro do visível (0.45 a 0.72 µm); estas imagens incluem frequentemente o espetro do visível e do infravermelho refletido (0.77 a 0.88 µm), ou seja, comprimentos de onda compreendidos entre os 0.45 e os 0.90 µm.
As imagens multiespetrais são obtidas com dezenas de canais (imagens), as hiperespetrais com centenas e as ultraespetrais com milhares.



Pixel	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328
44	190	195	195	197	197	193	189	193	190	191	196	196	196
45	192	190	189	195	194	195	190	195	193	190	192	189	198
46	187	197	195	191	197	194	188	193	197	194	193	193	195
47	192	195	195	192	192	192	189	192	191	198	193	194	199
48	190	195	202	192	194	196	188	189	188	193	188	191	193
49	204	203	212	216	208	200	194	194	193	196	194	192	194
50	174	139	182	206	217	218	200	200	194	197	199	195	194
51	82	23	131	167	193	208	221	203	189	194	197	194	197
52	70	51	127	141	166	183	213	220	192	190	196	192	190
53	135	139	173	158	130	90	158	212	201	196	196	193	193
54	177	160	149	169	195	175	164	203	214	204	205	202	196
55	133	122	36	112	210	211	215	220	229	234	233	223	217
56	102	173	27	158	215	211	210	217	228	239	239	243	245
57	139	108	17	141	215	217	213	216	227	236	242	248	248
58	205	151	115	201	223	225	219	219	220	226	241	248	242
59	194	199	213	235	235	229	223	223	219	219	240	244	230
60	174	186	206	231	241	238	228	224	219	222	239	241	223
61	138	149	166	207	238	243	236	227	220	219	237	235	215

Figura 31- Imagem pancromática digital
Fonte: Varella (2005)

5.1.2.2- Sensores de micro-ondas

O comportamento espetral das micro-ondas depende das caraterísticas dos objetos com que chocam, nomeadamente da rugosidade da sua superfície e suas caraterísticas elétricas; este comportamento depende da refletância e condutividade dos materiais que compõem essa superfície, que é representada pela sua constante dielétrica (E).
A maioria dos materiais apresenta, quando secos, valores de E que variam de 3 a 8, tendo a água um valor de ± 80, o que faz com que a presença da humidade, quer no solo quer na vegetação, aumente a sua refletividade. Esta caraterística varia também com o tamanho dos objetos, mudando o seu comportamento espetral conforme a polarização (horizontal - H e vertical - V) da superfície que amplia o espetro de observação. A polarização refere-se à orientação, fase relativa e repetibilidade dos campos elétricos e magnéticos das ondas eletromagnéticas.

Wikipédia

As micro-ondas são ondas eletromagnéticas com comprimentos de onda maiores que os dos raios infravermelhos, mas menores que o comprimento de onda das ondas de rádio, variando o seu valor, consoante os autores, de 1 m (0,3 GHz de frequência) até 1,0 mm (300 GHz de frequência). Acima dos 300 GHz, a absorção da radiação eletromagnética pela atmosfera é tão grande que faz com que esta seja praticamente opaca para as frequências mais altas, tornando-se novamente transparente na "janela" entre a luz visível e o infravermelho.

5.1.2.3- Sensores de deteção remota com RADAR

A utilização das ondas radar tem como principais vantagens relativamente às ondas óticas, serem um sistema ativo (fonte de iluminação controlável), não serem afetadas pela atmosfera, penetrarem na copa das plantas, as imagens poderem ter alta resolução (3 - 10 m), registar diferentes feições da

superfície terrestre, etc.; a sua principal desvantagem é que o seu processo de interação com os alvos é menos preciso que os sistemas passivos, não captando tão detalhadamente a informação sobre as caraterísticas físicas e químicas dos alvos.

Os sistemas ativos geram e detetam o seu próprio sinal enquanto os passivos detetam apenas os sinais que ocorrem naturalmente, ou seja, não possuem fonte própria de radiação; os sensores óticos passivos operam principalmente nas regiões do espetro do visível e infravermelho e os sistemas ativos, como os radares, na banda das micro-ondas.

O radar possui três funções primárias, ou seja, transmite sinais de micro-ondas (rádio) em direção a uma cena, recebe parte da energia transmitida que é retroespalhada pela cena e regista a intensidade (deteção) e a desfasagem (indicação da distância) dos sinais de retorno; estes têm o mesmo princípio de funcionamento dos radares naturais que os morcegos utilizam para se deslocarem e alimentarem. A deteção remota por radar utiliza o intervalo das micro-ondas do espetro eletromagnético entre as frequências de 0.3 a 300 GHz, a que correspondem comprimentos de onda de 1 m a 1 mm, embora a maioria funcione entre 0.5 a 75 cm. A capacidade de penetração através da chuva ou na camada superficial de um alvo aumenta com o aumento do comprimento de onda.

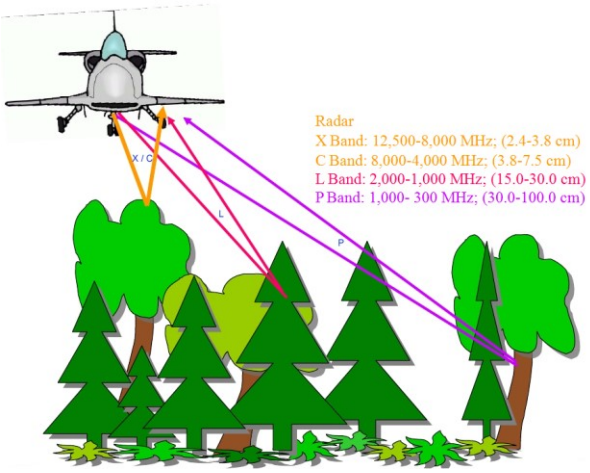


Figura 32- Evolução das ondas radar em diferentes bandas eletromagnéticas
Fonte: Patenaude, G. (2010)

Wikipédia

O radar, do inglês Radio Detection and Ranging (deteção e localização por meio de ondas de rádio), é um dispositivo que permite detetar objetos a longas distâncias; as ondas eletromagnéticas, que são refletidas por objetos distantes, permitem determinar a sua localização. A produção do sinal do radar começa num oscilador, que é um dispositivo que gera radiofrequência num comprimento de onda desejado, sendo este depois modulado e transmitido; a maioria dos radares usa bandas de frequências de rádio ou de micro-ondas identificadas por letras (X, C, S, L e P).

5.1.2.4- Sensores de deteção remota por LIDAR

O sistema LIDAR, do inglês Light Detection and Ranging, é uma tecnologia ótica de deteção remota que mede as propriedades da luz refletida de modo a obter a distância e/ou outra informação a respeito de um determinado objeto distante, gravando pontos discretos ou fazendo gráficos das distâncias correspondentes ao tempo do trajeto de ida e volta - tempo de voo (time-of-flight), a esses objetos. O sistema LIDAR utiliza o mesmo princípio que o RADAR mas, em vez de se basear em ondas rádio, baseia-se na análise ótica das propriedades de uma luz laser reenviada para o emissor; o

LIDAR, que pode utilizar radiação infravermelha ou visível, é muito utilizado na caraterização das florestas e sistemas de agricultura.
O método mais utilizado para determinar a distância a um objeto é a utilização de laser pulsado, em que a distância a um objeto é determinada medindo a diferença de tempo entre a emissão de um pulso laser e a deteção do sinal refletido, de forma semelhante à tecnologia do radar, que utiliza ondas de rádio.
As principais caraterísticas deste sistema é ser um sistema ativo, independente da luz solar, que não permite obter imagens mas grava pontos discretos relativos às distâncias aos objetos; não está disponível nos satélites e é bastante caro.
A tecnologia LIDAR permite reconstruir objetos em três dimensões pois, por exemplo, na cultura da vinha e fruteiras, permite estimar o volume da vegetação, o que é de grande utilidade para o ajuste do volume de calda a aplicar nos tratamentos (Raynal, 2008).

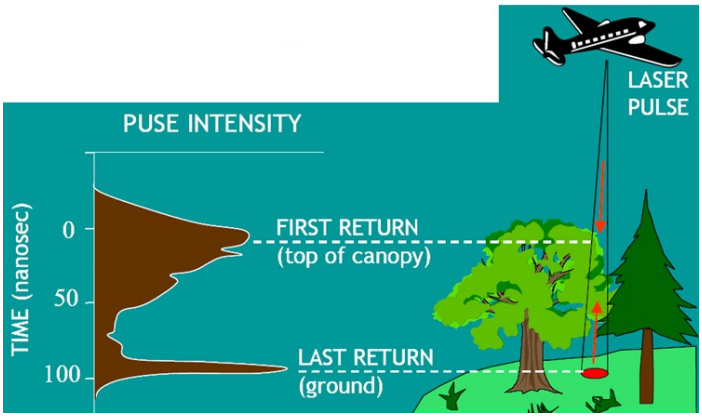


Figura 33- Princípio de funcionamento do sistema LIDAR
Fonte: Patenaude, G. (2010)

6- Caraterização dos sensores que utilizam o espetro do visível e infravermelho para deteção remota

Os sensores mais utilizados em deteção remota, que utilizam a energia radiante do espetro do visível e infravermelho, caraterizam-se em função da sua resolução espetral, espacial, temporal e radiométrica.

6.1- Resolução espetral

A resolução espetral traduz o número de intervalos e sua largura, do espetro eletromagnético, possíveis de serem registados pelo sensor para gerar imagens de níveis de cinza; cada imagem (banda espetral) representa a energia registada pelos sensores nessa banda do espetro pelo que, quanto maior o seu número e menor a sua largura, maior será a resolução espetral do sensor. Esta resolução prende-se, assim, com a capacidade de distinguir a radiação de diferentes comprimentos de onda (CRSC; 2004).
Figura 34- Bandas espetrais do visível
Fonte: Figueiredo, D. (2005)

Devido às diferenças na composição física e química dos objetos estes interagem diferentemente com as ondas eletromagnéticas pelo que é possível identificar a cobertura da superfície terrestre

através da análise multiespetral das imagens obtidas nas diferentes bandas do espetro; quanto maior a quantidade de bandas ou imagens geradas, maior será a resolução espetral do sensor. A reflexão da radiação nos diferentes comprimentos de onda é variável em cada tipo de material ou objeto, o que permite a caraterização espetral de cada um deles.

Em relação ao espetro do visível há sensores que captam a energia radiante de toda esta banda e outros que o diferenciam e o registam em três bandas espetrais distintas (Fg 34), correspondentes a cada uma das três cores principais do visível, ou seja, azul, verde e vermelho.

A resolução espetral dos sensores determina o quanto o sistema pode distinguir entre diferentes comprimentos de onda produzindo imagens digitais em duas ou três dimensões. As imagens de cada uma das bandas são representadas por pixels sendo tanto maior a resolução daquelas quanto menores estes forem.

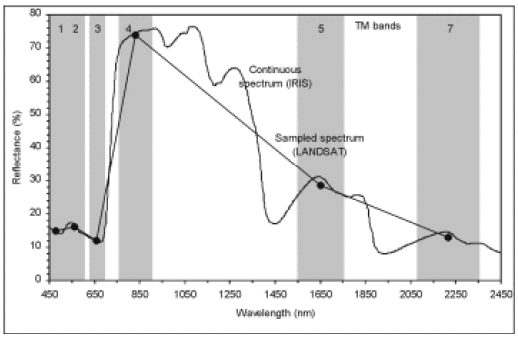


Figura 35- Definição de várias bandas de largura variável para obtenção de imagens multiespetrais.
Fonte: Pinto, F. (2010).

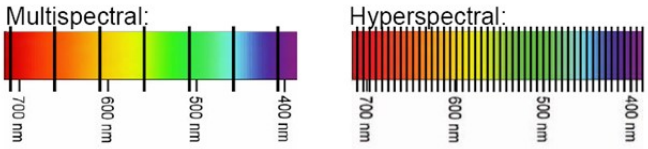


Figura 36- Bandas e sua largura, para obter imagens multiespetrais e hiperespetrais.
Fonte: Patenaude, G. (2010).

As imagens obtidas com menos bandas (ex. 5 bandas) mas que representem intervalos pequenos (0.1 mm) têm, geralmente, maior resolução que imagens obtidas com um maior número de bandas (ex. 10 bandas) mas mais largas (0.4 mm).

6.2- Resolução espacial

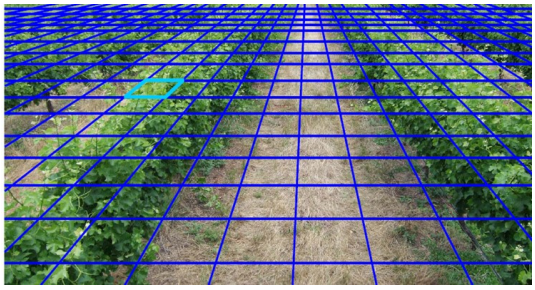
A resolução espacial indica o tamanho do menor objeto que é possível representar numa imagem, ou seja, em deteção remota, corresponde à dimensão que um objeto deve ter para ser identificado; no caso de uma imagem numérica ótica, o nível de detalhe do objeto, permite distingui-lo dos objetos que o rodeiam.

A

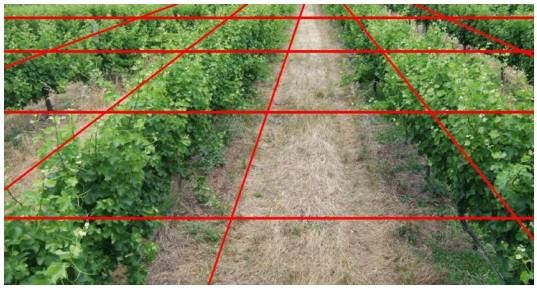
B

Figura 37A e B- Imagens coloridas de um mesmo local, com diferentes resoluções espaciais.
Fonte: Pinto, F. (2010)

Uma das formas de definir a resolução espacial em deteção remota é pelo campo de visão instantâneo (IFOV - Instantaneous Field Of View) do sensor, que representa a largura da faixa de terreno que é captada pelo sensor à medida que este se vai movendo ao longo da sua órbita, colhendo informação sobre a superfície terrestre. A caraterização dimensional do objeto depende da sua distância ao sensor e do número de pixels que a imagem do objeto contém, ou seja, esta resolução é função da área da superfície do objeto representada por cada pixel na imagem. O pixel é indivisível pelo que não é possível identificar qualquer alvo no seu interior e o seu valor corresponde à energia proveniente da área do solo ocupada por ele.



A



B

Figuras 38A e B- Grelha mostrando uma resolução espacial de 0,25 e 1.00 m, numa vinha
Fonte: Rousseau, J. (2009)

6.3- Resolução temporal

A resolução temporal traduz o período de tempo que um sensor demora para obter duas imagens consecutivas da mesma área. Há uma série de fenómenos que para serem monitorizados necessitam de imagens obtidas nos seus períodos críticos, como é o caso do acompanhamento do crescimento de certos tipos de plantas ou da evolução de cheias e marés negras.

Para os sensores instalados em alguns satélites esta resolução é, para o Landsat de16 dias, para o CBERS - 26 (nadir) de 3 dias (± 32º) e para o SPOT - 26 (nadir) de 3 dias (± 32º). O Landsat (Land Satellite) é um grupo de satélites governamentais utilizados para recolher informação ambiental da superfície terrestre. O SPOT (Systeme Pour'Observation de la Terre) é um grupo de satélites geridos pelo governo francês.

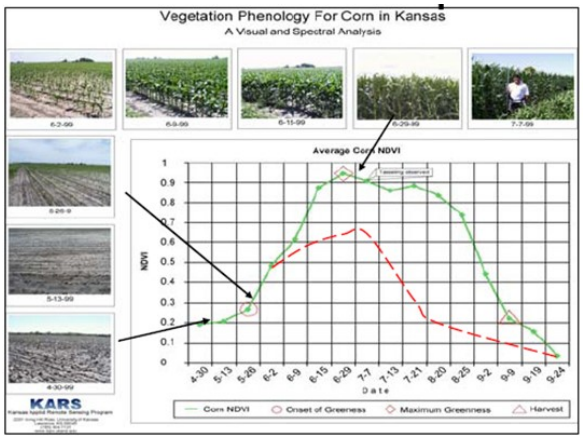


Figura 39- Imagens desfasadas no tempo da cultura do milho, obtidas por satélites.
Fonte: Price, K. (2007)

Na figura 39 a linha a cheio (verde) representa o desenvolvimento fenológico normal das plantas saudáveis e a linha tracejada (vermelho) o crescimento das plantas sob stress hídrico; a tolerância ao stress hídrico e a radiação fotossinteticamente ativa absorvida (PAR) são um bom indicador da produção (Bishwajit, 2001).

6.4- Resolução radiométrica

A resolução radiométrica traduz a capacidade de um sensor para discriminar pequenas diferenças de intensidade da energia eletromagnética refletida ou emitida por um objeto (níveis de cinza).
A quantificação da energia radiante nas imagens obtidas pelos satélites é, geralmente, digital (imagens digitais) e, nas fotografias aéreas é, tradicionalmente, analógica (imagens analógicas).
A imagem digital resulta de um conjunto de elementos (pixels), representando cada um deles uma área definida da superfície terrestre, ordenados segundo uma matriz bidimensional, tendo cada um deles uma posição única na matriz que é indicada pela intercepção de uma linha e de uma coluna.

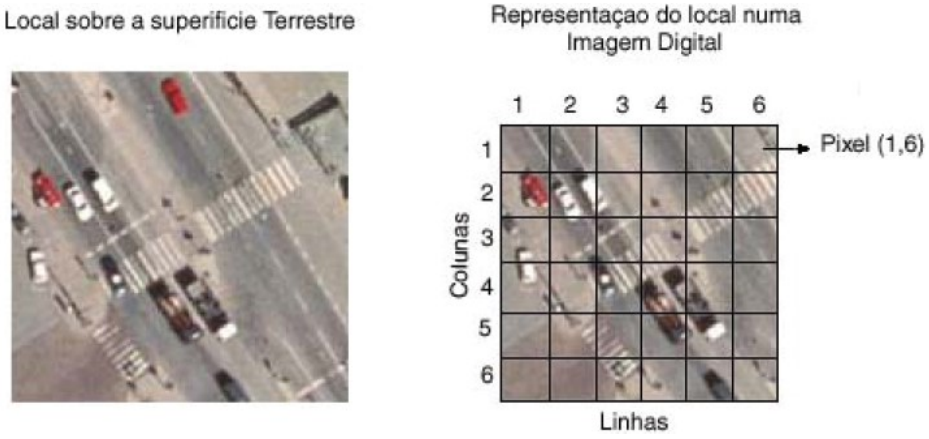


Figura 40- Imagem de um local na superfície terrestre e sua representação digital.
Fonte: Inc.

À intensidade da radiação captada pelo sensor referente a cada pixel é atribuído um valor digital (DN), que indica o seu nível radiométrico ou nível de cinzento, que é influenciado ou não pela energia radiante dos objetos que lhe estão próximos e pelas interações que a energia sofreu ao percorrer a atmosfera; estas imagens são, assim, definidas por funções bidimensionais f (x,y), onde x e y são as

coordenadas espaciais e o valor de f, valor inteiro, no ponto x e y, representa a radiância da área correspondente ao pixel no terreno.

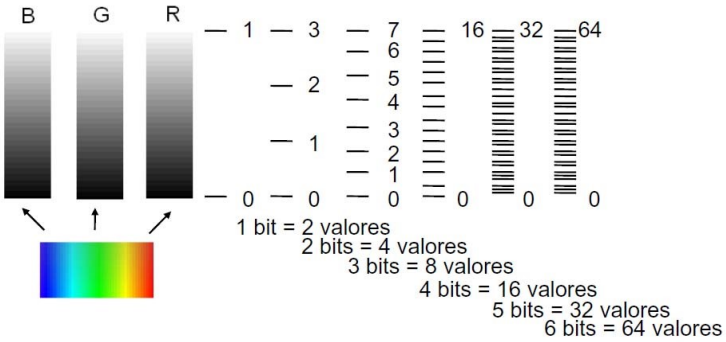


Figura 40- Níveis radiométricos
Fonte: Inc.

O valor da radiação captada pelos sensores dos satélites depende de vários fatores, nomeadamente da reflexão do elemento do terreno, da banda espetral utilizada, da transmissão da energia na atmosfera, etc. Nos modelos utilizados para medição do nível radiométrico (níveis de cinza) considera-se que existe uma relação linear entre esse nível e a reflexão da superfície, ou seja, os objetos (pixels) negros têm um nível 0 e os brancos um nível 256 (2^8) dado pelas imagens formadas por números digitais de 8 bits. A resolução radiométrica de uma imagem digital traduz-se, assim, pelo número de bits utilizados para armazenar os números digitais (DN), ou seja, a cada pixel de uma imagem digital está associado um valor da intensidade (número digital), que representa a medida física da quantidade de energia eletromagnética medida pelos sensores (radiância), quer como resultado da reflexão da energia solar pelos objetos quer pela radiação infravermelha emitida por estes; as imagens Landsat e Spot utilizam 8 bits por cada pixel e as NOAA 10 bits. As imagens dos satélites NOAA são obtidas diariamente pelo que têm sido muito utilizadas em agricultura.

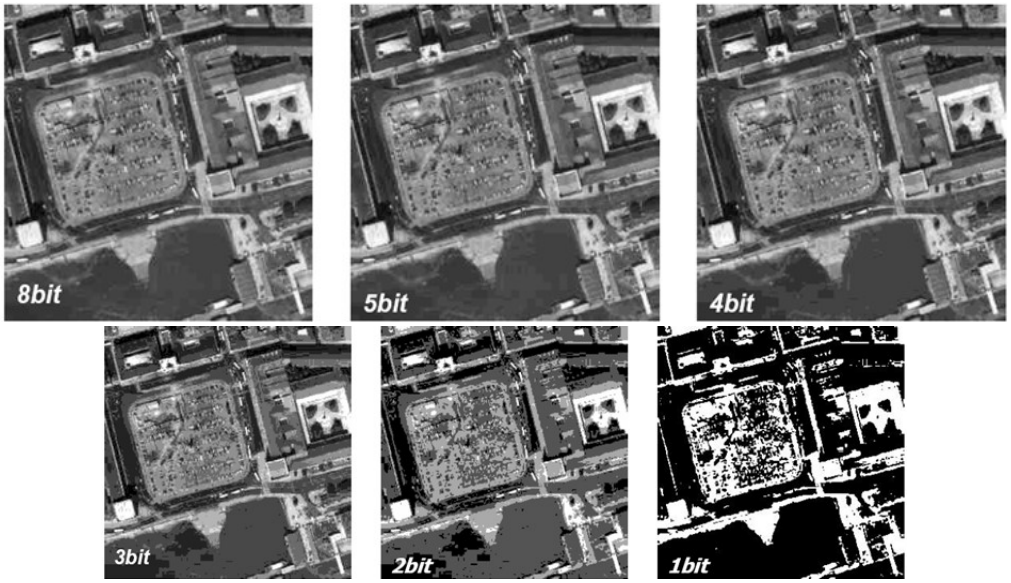


Figura 41- Imagem monocromática com 256 níveis radiométricos (8 bits - 2^8, valores de 0 a 255), com 32 níveis (5 bits - 2^5, valores de 0 a 31), com 16 níveis (4 bits - 2^4, valores de 0 a 15), com 8 níveis (3 bits - 2^3, valores de 0 a 8), com 4 níveis (4 bits - 2^2, valores de 0 a 4) e com 2 níveis (2 bits - 2^1, valores de 0 a 1).
Fonte: Baio, M.; Matos, J. (2007).

Os tipos de imagens mais utilizadas são as binárias (preto e branco, de 1 bit), as monocromáticas (tons de cinza, de 8 bits), as coloridas RGB (highcolor, de 16 bits), as coloridas RGB (Truecolor, de 24 bits) e as de falsa cor NRG (falsa cor infravermelho, de 24 bits), relativas às bandas NIR, RED e GREEN); por exemplo, numa imagem colorida RGB, cada pixel é representado por três Bytes, um para cada banda de cor, o que pode representar 16.777.216 (2^{24}) de cores para cada pixel (Varella, 2007).
Para as imagens obtidas em várias bandas (multi-bandas) uma composição RGD (colorida) será representada como se indica na figura seguinte. A composição colorida é um artifício utilizado na interpretação das imagens de deteção remota e que consiste em atribuir as três cores primárias a três bandas espetrais quaisquer; o olho humano descrimina mais facilmente matizes de cores do que tons de cinza (Figueiredo, 2005).

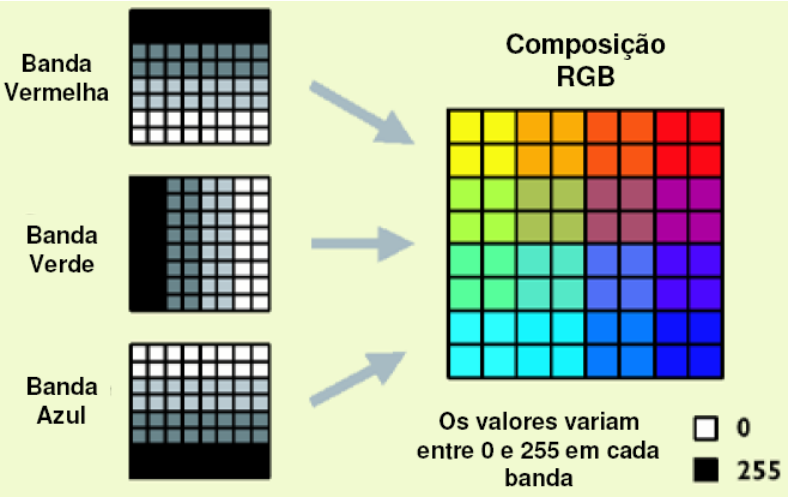


Figura 42- Representação gráfica de imagens multi-banda.
Fonte: Vale, M. (2008).

7- Outros tipos de sensores utilizados na AP

Para além dos sensores de medição da energia radiante existem outros que permitem determinar a variabilidade de determinados fatores do meio e da produção, nomeadamente os que a seguir se apresentam.

7.1- Sensores elétricos para medição da condutividade do solo

Os sensores de medição da condutividade elétrica do solo (mS/m - miliSiemens por metro), cujo funcionamento é baseado no método dos quatro elétrodos, permitem determinar, até profundidades de 1.5 m, variações de corrente elétrica entre elétrodos; a variação da composição do solo conduz a variações de intensidade da corrente elétrica o que permite, de uma forma indirecta, inferir sobre a sua composição. Em França foi desenvolvido um sensor composto de oito elétrodos rotativos que permite medir a condutividade do solo em três profundidades.
Este equipamento, que não é invasivo nem destrutivo, e que pode ser de contato ou não, permite determinar algumas caraterísticas do solo, nomeadamente a salinidade, o teor de humidade, o tipo e teor de nutrientes, etc., dando assim boas indicações sobre o seu potencial produtivo. Com um sistema combinado composto por um medidor de condutividade e um penetrómetro automático as caraterísticas do solo podem ser mapeadas (Agostini, 2005).
Os medidores de contato apresentam três pares de discos que cortam o solo, sendo um dos pares responsável pela aplicação da corrente elétrica e os outros dois discos de cada par medem a quebra de voltagem entre eles.

Segundo Ehsani (2002), as caraterísticas que mais influenciam a condutividade elétrica do solo são:

- a porosidade que quanto maior for mais facilmente a eletricidade é conduzida, ou seja, solos argilosos ao apresentarem maior porosidade que os arenosos tem maior condutividade;
- a quantidade de água, que faz com os solos secos tenham menor condutividade;
- a salinidade que ao aumentar a concentração de sais na água do solo faz aumentar a condutividade;
- a capacidade de troca catiónica que faz com que os solos que tenham maiores teores de matéria orgânica ou minerais de argila tenham maior capacidade de retenção de iões positivos o que aumenta a condutividade;
- a temperatura do solo que ao diminuir faz diminuir a condutividade.

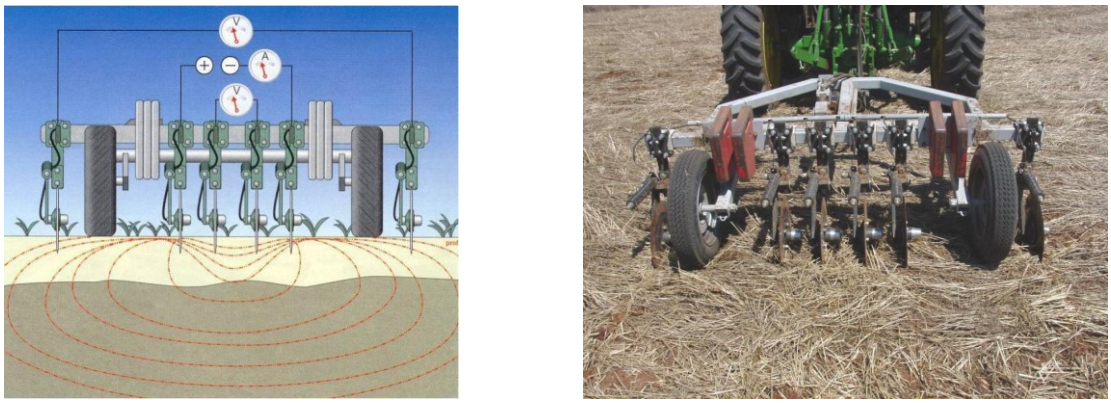


Figura 43- Sensor de contato para determinação da condutividade elétrica do solo a duas profundidades
Fonte: Molin, J. (2010).

A utilização deste tipo de equipamento tem vindo a aumentar pois permite uma análise rápida da variabilidade do solo que pode ser utilizada para definição de zonas com caraterísticas homogéneas, pois considera-se que as partes do terreno em que a condutividade elétrica é semelhante correspondem a manchas de solo com caraterísticas análogas (textura, profundidade, etc.).

Figura 44- Mapas de condutividade elétrica do solo **Fonte**: Werner, A. (2000)

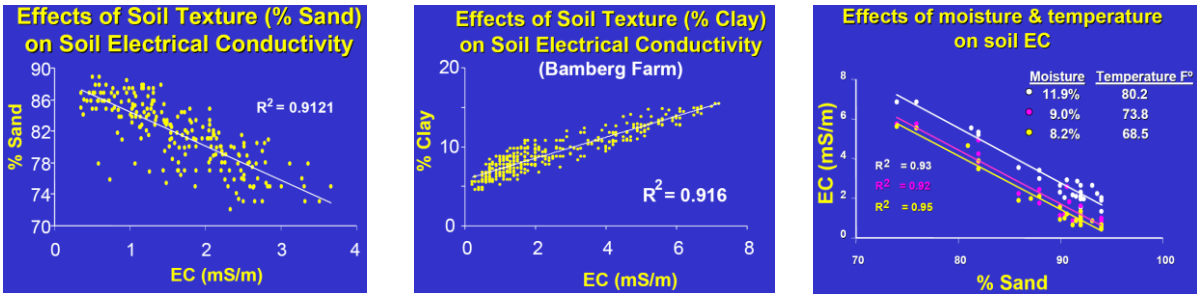


Figura 45- Relação entre a condutividade elétrica do solo e algumas das suas caraterísticas.
Fonte: Khalilian, A. (2001)

Embora menos frequentes os sensores óticos também são utilizados para avaliar as caraterísticas do solo, pois as respostas, em diferentes faixas espetrais, podem ser afetadas pela humidade, matéria orgânica, óxidos de ferro, etc., que afetam a refletância (Agostini, 2005).

7.2- Sensores de produção

Os sensores de produção foram os primeiros a serem utilizados em agricultura de precisão para determinação da variação do rendimento em parcelas com cereais; estes sensores estão associados a um sistema GPS para se obter a cartografia do rendimento.

Nas ceifeiras debulhadoras estes sensores posicionam-se no interior do tubo de elevação do grão, sendo o fluxo deste dado em função da sua densidade e do seu teor de humidade. Esta informação, juntamente com a largura de trabalho e velocidade de deslocamento, permite determinar a produção instantânea que, associada à posição exata da ceifeira a cada momento permite obter o mapa de rendimento da parcela.

A variabilidade do rendimento intraparcelar deve ser complementada com outra informação geo-referenciada, nomeadamente a matéria orgânica e composição química do solo, a topografia do terreno (dada pelas cartas topográficas), a radiação emitida pelas culturas (deteção remota ou de proximidade), etc.

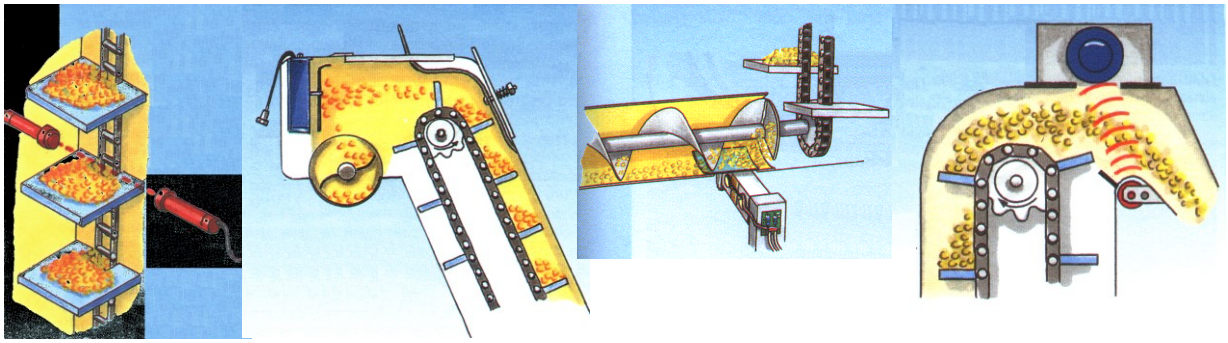


Figura 46- Sensores para determinação da produção de grão numa ceifeira debulhadora.
Fonte: Márquez, L. (2009).

Para além das ceifeiras debulhadoras diferentes tipos de colhedores (beterraba, tomate, cebola, etc.) tem vindo a beneficiar desta tecnologia estando as culturas não contínuas (vinha e arboricultura) a começar a utilizá-la.

Capítulo V - Caraterização do meio

Introdução

A agricultura de precisão pressupõe a análise de um número muito significativo de variáveis relativas às plantas, solo e meio ambiente, pelo que, para a sua obtenção, se devem utilizar tecnologias que permitam, em tempo oportuno e a custos aceitáveis, a sua determinação.

Assim, e como forma de racionalizar a recolha da informação, é necessário definir previamente a metodologia como esta recolha se vai efetuar para que traduza a realidade do meio em causa e permita o seu tratamento e interpretação.

1- Caraterização das plantas

A caraterização das plantas é efetuada utilizando vários parâmetros, especialmente os que são obtidos como resposta dos objetos à energia radiante recebida do Sol, ou de outra fonte, nos comprimentos de onda do visível e infravermelho. A relação entre a energia radiante que é refletida/emitida e a que incide nas plantas designa-se por refletância espetral ou refletividade.

A caraterização do meio, utilizando a radiação proveniente das plantas, parte do princípio de que:

- a planta é o melhor sensor do ambiente na qual está inserida;
- os sensores podem medir o que a cultura "está a sentir" fornecendo informações sobre a aplicação, a taxas variáveis, dos fatores de produção;
- uma das principais formas de analisar o desenvolvimento das culturas é pela utilização da sua refletância espetral;
- o mapeamento da variabilidade espacial do stress da cultura pode tornar possível o tratamento de doenças, de deficiências de nutrientes e/ou água do solo;
- a dificuldade de interpretação da variabilidade espacial do stress da cultura prende-se com a dificuldade em identificar qual o fator responsável, uma vez que todos eles induzem a cloroses foliares que se distinguem por pequenas variações das caraterísticas espetrais (assinatura espetral);
- o mapeamento pode identificar as áreas com stress e o pessoal de campo pode identificar a causa do stress.

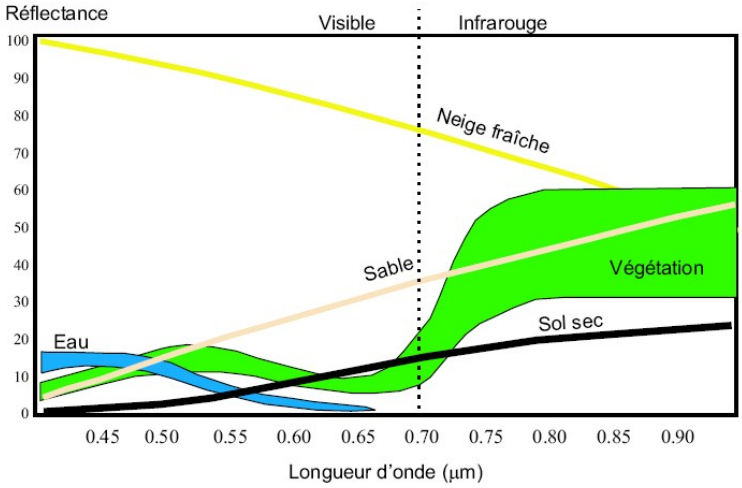


Figura 1- Curvas de refletância de vários objetos

Fonte: Delenne, C. (2006)

A forma mais simples de analisar a interação da radiação com a vegetação é, segundo Marçal (2004), pela utilização dos SPAD (sensores de clorofila) pois verifica-se que:

- quase todo o azoto foliar está contido nas moléculas de clorofila, pelo que existe uma alta correlação entre o teor de azoto e o valor do SPAD;
- o teor de clorofila, quantificado pelo SPAD, é apresentado na forma de um valor relativo sem dimensão;
- a clorofila utiliza a luz vermelha e o funcionamento do SPAD baseia-se na quantidade de luz vermelha absorvida e na quantidade transmitida através da folha;
- quanto mais clorofila a folha tem mais luz vermelha é absorvida.

Figura 2- Medição do valor do SPAD numa cultura de milho
Fonte: Godoy, L. (2009).

A utilização do SPAD pode auxiliar na recomendação de N porque pequenos excessos deste não causam redução de produtividade ou qualidade. Como principais limitações deste medidor destacam-se a sua maior sensibilidade na faixa entre o estado de nutrição azotado deficiente e o adequado, não indicar excessos de N e medir apenas a diferença relativa do stress de N
Para se definir a quantidade de N a partir do valor de SPAD é necessário:

- ter uma área referência sem stress de N;
- que as leituras do SPAD sejam efetuadas na mesma variedade/cultivar, no mesmo estágio de crescimento e em áreas com histórico similar.

O valor do SPAD é, segundo Godoy (2009), dado pela seguinte fórmula:

$$\text{Valor de SPAD} = (I_{650} / I_{940})_{\text{sem folha}} - I_{650} / I_{940})_{\text{com folha}};$$

em que I representa o valor da radiação transmitida, nos comprimentos de onda indicados, determinada na margem da folha oposta àquela em que se dá a incidência; quanto mais elevado for o seu valor maior será o teor de clorofila.

A determinação das necessidades de azoto pelas plantas com este método é, segundo Marçal (2004), dada pelo Índice de Suficiência de Azoto (ISN) obtido pela fórmula:

$$\text{ISN} = (\text{valor médio do SPAD da área} / \text{valor SPAD na área sem stress de N}) * 100$$

No que se refere à radiação solar constata-se que a resposta dada pelas plantas nas várias bandas permite definir índices de vegetação que funcionam como indicadores para identificação dos diferentes tipos de vegetação, seu estado, etc. Os indicadores traduzem as grandes diferenças de refletância que a vegetação verde apresenta nas regiões do visível e do infravermelho refletido, quando comparada com a vegetação morta ou seca e outras formas de ocupação do solo (água, solo nu, etc.).

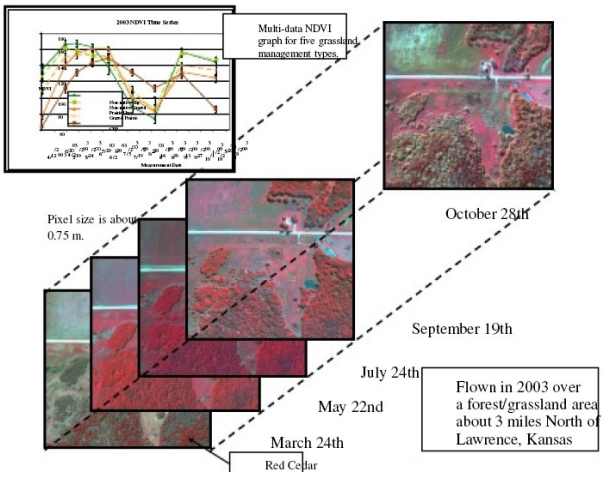


Figura 3- Índices normalizados das diferenças da vegetação (índices de biomassa)
Fonte: Price, K. (2007).

No infravermelho a energia refletida pelas folhas é elevada pois é necessário evitar que a temperatura atinja valores que possam conduzir à sua clorose; quanto maior for a quantidade de água nas folhas menor é a sua refletância. As folhas têm baixa reflexão no visível, por causa da elevada absorção pela clorofila, alta no infravermelho próximo, porque a folha espalha a energia e não absorve nessa banda, e baixa no infravermelho, em torno de 1,3 mm, devido a absorção pela água. A reflexão no dossel é similar, mas é modificada pela não uniformidade da radiação incidente, estrutura das plantas e refletância pela superfície de fundo; o dossel representa todos os componentes da vegetação acima da superfície do solo e a sua resposta à REM, no infravermelho próximo, é diferente de uma folha isolada (Pinto, F. 2010).

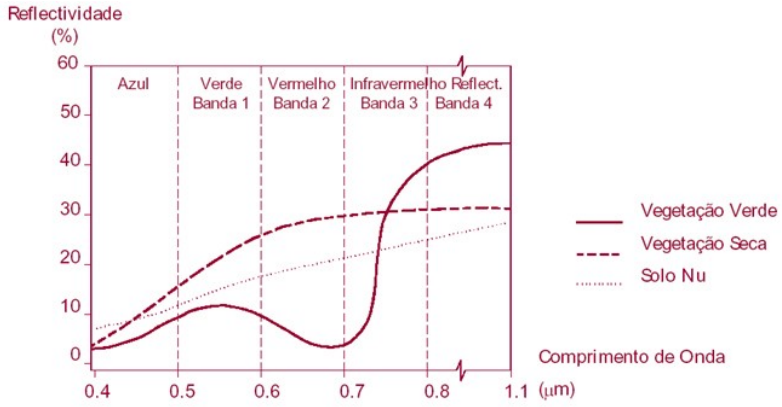


Figura 4- Refletância da vegetação verde e seca e do solo, em diferentes comprimentos de onda.
Fonte: Baio, M. (2007).

Para além do Sol utilizam-se outras fontes luminosas para caraterização da vegetação, como no SPAD, cujos resultados apresentam uma elevada correlação com os índices de vegetação.

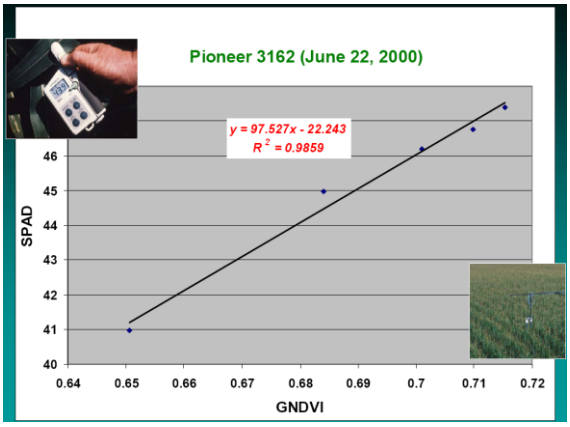


Figura 5- Correlação entre os valores de SPAD e o índice de vegetação GNDVI.
Fonte: Schepers, J. (2008).

Comparando as refletâncias de vários alvos nos comprimentos do visível e infravermelho próximo tem-se uma evolução da variação semelhante à apresentada na figura 5.
Para além do espetro do visível e infravermelho as micro-ondas também são bastante utilizadas na caraterização da vegetação e solo, pois o seu comportamento espetral depende das caraterísticas geométricas das superfícies como, por exemplo, da rugosidade e relevo do solo e das suas caraterísticas elétricas, ou seja, da refletância e condutividade dos materiais que compõem a superfície, que são representadas pela constante dielétrica (E). A maioria dos materiais tem, quando secos, um E entre 3 e 8, tendo a água um valor de ± 80, pelo que a presença de humidade na vegetação ou no solo aumenta a refletividade.
Em resposta à vegetação as micro-ondas interagem com o dossel em conformidade com os seus componentes (folhas, ramos, troncos). Quando o comprimento das micro-ondas (λ) se aproxima do tamanho dos componentes da planta o espalhamento é grande pelo que se o dossel for denso o retroespalhamento é importante. Se λ tiver 2 - 6 cm as micro-ondas são indicadas para deteção de plantas herbáceas e folhas de árvores e se λ tiver 10 - 30 cm permitem identificar troncos.

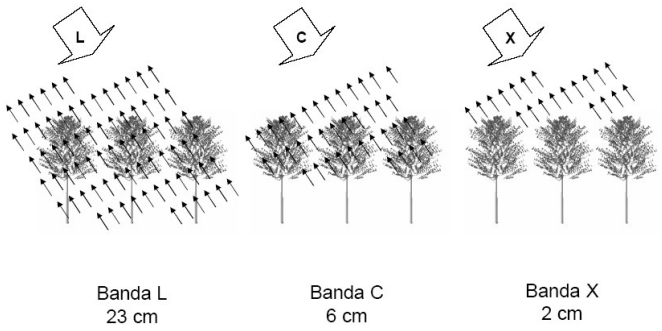


Figura 6- Penetração da radiação das diferentes bandas de radar no dossel vegetal
Fonte: Betencourt, M.

2- Caraterização do solo

A caraterização do solo é, para a maioria das situações, efetuada através da recolha de amostras que podem ser obtidas segundo uma grelha (grade regular ou malha), ou através de zonagem (grade dirigida) (Varella, 2009). Na primeira situação o campo é "dividido" segundo uma malha em que as células têm uma dimensão previamente definida e, na segunda situação, o campo é "dividido" em

áreas homogéneas definidas em função de uma dada caraterística como, por exemplo, a condutividade elétrica, a cor, textura, etc.
Em cada uma das zonas definidas segundo a grelha ou através da zonagem, recolhem-se amostras de terra que são analisadas para, em função da variabilidade encontrada, se atuar diferenciadamente.

A **B**

Figura 7A e B- "Divisão" do solo segundo uma grelha (A) ou por zonagem (B).
Fonte: Salem, R. (2007)

A determinação da dimensão da célula da grelha de amostragem (Fig. 7A) deve ser obtida através de um semivariograma que relaciona a distância do ponto de amostragem com a variância do fator em análise, obtida à medida que a distância aumenta; na figura 7B a "divisão" é feita por zonagem.

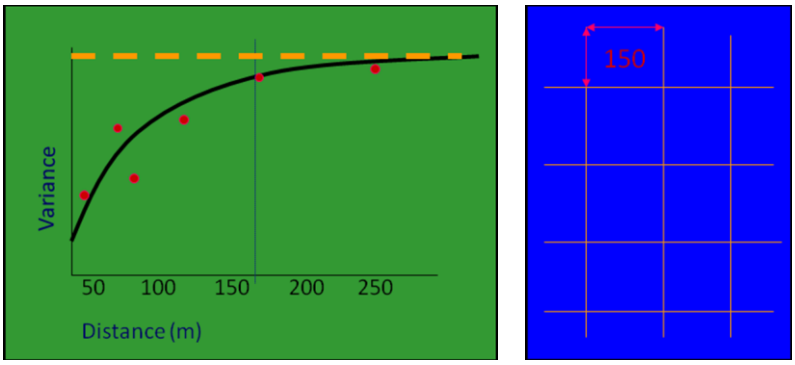


Figura 8- Semivariograma para determinação da dimensão da célula da grelha de amostragem.
Fonte: Kahabka, J. (2003)

A metodologia a seguir na amostragem baseado numa grelha consta, basicamente, da:
- criação de um mapa com os limites da parcela utilizando um sistema GPS;
- utilização de um programa SIG para com a fotografia aérea digital definir a dimensão da grelha;
- deslocação para os centros das quadrículas para recolha das amostras do solo;
- utilização de um programa SIG para, utilizando os resultados das análises das amostras e seu georeferenciamento, definir os mapas de variabilidade dos vários fatores em estudo. O georeferenciamento da vária informação (mapas, imagens, etc.) permite a sua sobreposição. A integração dos sistemas GPS e GIS torna possível a marcação directa dos pontos nos mapas do GIS (Frank, 2002)

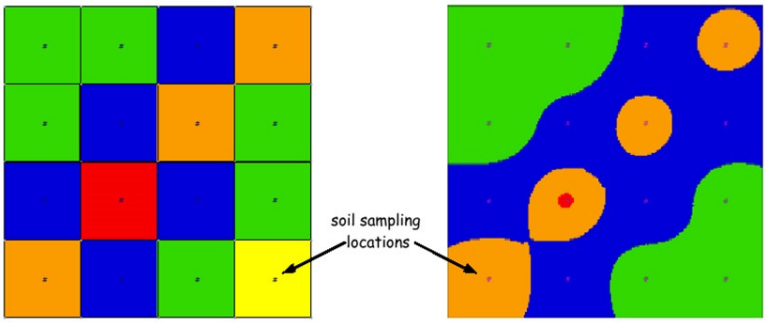


Figura 9- Mapa de grelha e de contornos com os dados da amostragem das análises do solo.
Fonte: Ess, D. (2001).

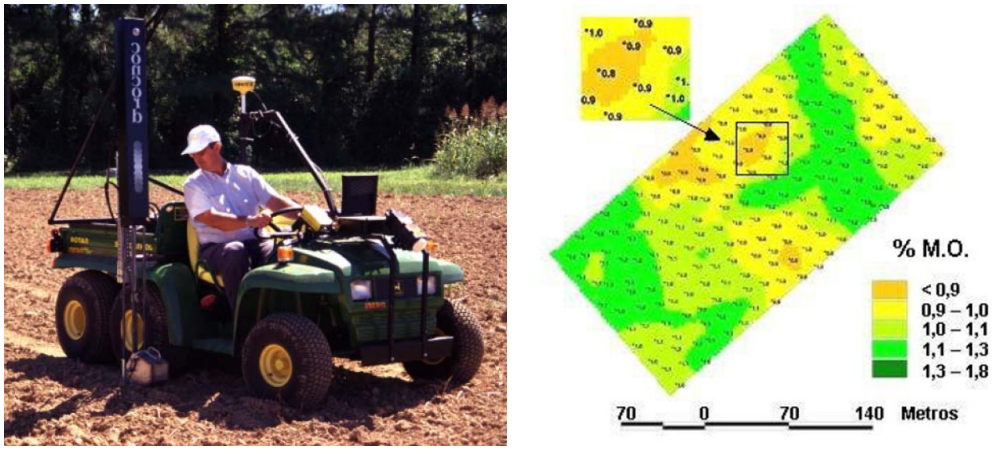


Figura 10- Recolha de amostras de solo e mapa digital da variabilidade da MO de uma parcela.
Fonte: Salem, R. (2007).

A **B**

Figura 11A e B- Equipamento para medição contínua da condutividade elétrica do solo.
Fonte: Marchal, L. (2003).A metodologia a seguir na amostragem do solo baseado na definição de zonas homogéneas consta, basicamente, na definição destas para o que se pode utilizar um medidor da condutividade elétrica (método eletromagnético, não evasivo), como o indicado na Figura 11, ou um medidor da resistência específica do solo (método mecânico, evasivo), representado na Figura 12.

Figura 12- Sensor para determinação da resistência específica do solo
Fonte: Marchal, L. (2003)

No que se refere ao comportamento espetral dos solos constata-se que a refletância depende:
- da humidade (maior humidade menos refletância);
- do conteúdo de matéria orgânica (aumento em matéria orgânica menos refletância);
- da quantidade de óxido de ferro (aumento em óxido de ferro menos refletância);

- da percentagem relativa de argila, limos e areia (diminuição do tamanho das partículas maior refletância);
- das caraterísticas de aspereza da superfície dos solos (diminuição na aspereza maior refletância).

A - solo vermelho B - solo amarelo

Figura 13A e B- Comparação entre um solo com elevado (A) e baixo (B) teor de óxido de ferro
Fonte: Inc. http://www.google.com/search?q=%22Defini%C3%A7%C3%A3o+de+Sensoriamento+Remoto%22&hl=pt-

Os solos com os óxidos de ferro absorvem bastante energia eletromagnética da região do infravermelho próximo (com máximo de absorção em torno dos 900 nm), dependendo a quantidade de energia absorvida do teor daqueles. Relativamente à energia refletida, principalmente na região do infravermelho próximo, é bastante atenuado em razão da presença do óxido de ferro, que se sobrepõe às influências dos demais parâmetros do solo.
Para além dos sensores referidos (elétricos/eletromagnéticos, mecânicos e óticos/radiométricos) existem ainda sensores acústicos, eletroquímicos, pneumáticos, etc., para caraterização solo. Segundo Molin (2010) os sensores eletromagnéticos que utilizam hiperfrequências radar são muito interessantes para caraterização do solo, nomeadamente de parâmetros geométricos, como o estado superficial do solo e dielétricos, ligados à humidade e à condutividade.

3- Caraterização da água

No que se refere à interação da radiação com a água constata-se que:
- a água não reflete radiação nos comprimentos de onda acima da região do visível;
- a existência de sedimentos na água provoca um aumento da refletância;
- o aumento do teor de clorofila (plantas) na água provoca uma diminuição de refletância na zona do azul e vermelho e um aumento na zona da verde

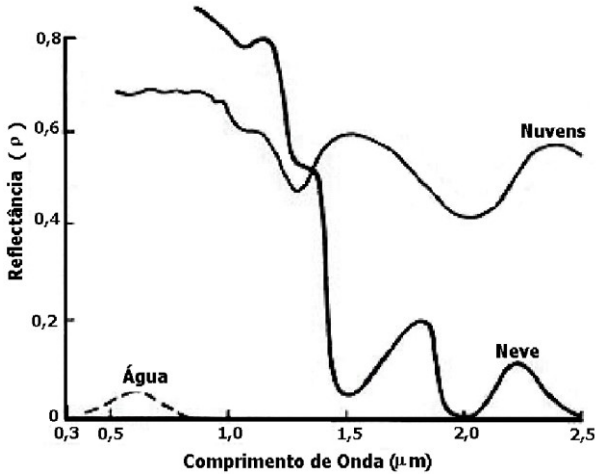


Figura 14- Comportamento espetral da água nos seus vários estados

Fonte: Pires, E. (2005)

Capítulo VI - Equipamentos para execução diferenciada de operações culturais e/ou aplicação diferenciada de fatores de produção

Introdução

A identificação e quantificação da heterogeneidade entre e intra-parcelas permite a realização das operações culturais e/ou a aplicação dos fatores de produção em conformidade com essa variação, executando os equipamentos essas operações e/ou aplicações diferenciadamente.

A utilização da informação pelos equipamentos VRT- Tecnologias de Aplicação Variada (Variable Rate Technology), também designados por VRA- Aplicação a Taxas Variadas (Variable Rate Application), para receberem a informação de uma forma rápida, segura e padronizada, necessitam de dispor de protocolos que garantam a compatibilidade entre os diferentes componentes montados nos tratores e alfaias.

Juntamente com os equipamentos VRT são utilizados sistemas de posicionamento (GPS), para que aqueles "saibam" a sua localização no campo para poderem executar as operações culturais ou aplicar as quantidades de fatores de produção definidas em cada uma das localizações.

Segundo Ess (2001) os controladores dos equipamentos VRT, que comparam os valores medidos com os definidos pelo operador, sincronizam, "olhando para a frente" (looking ahead) no mapa de variabilidade, as taxas de aplicação de acordo com a localização; a variação das taxas de aplicação deve ter em consideração o tempo necessário para alterar a quantidade de produto, que é função da velocidade de trabalho. Os controladores não são mais que microprocessadores que utilizam a informação dos sensores, obtida diretamente ou pelos SIG, para calcular a quantidade de fator de produção a aplicar em cada local, utilizando algoritmos que otimizam a aplicação desses fatores.

Para além destes aspectos é necessário racionalizar a interpretação e a troca de informação entre os vários equipamentos móveis utilizados na AP o que tem levado ao desenvolvimento de normas como a ISO 11878, conhecida também como ADIS (Agricultural Data Interchange Standard), que permite normalizar os sistemas de intercâmbio BUS. Com este objetivo têm surgido várias propostas para utilização de sistemas de ligação e troca de informação entre o trator e a alfaia, nomeadamente o protocolo CAN (Controller Area Network); o sistema CAN Bus (Barramento Controller Area Network) foi desenvolvido pela empresa alemã Robert BOSCH e disponibilizado em meados dos anos 80 (Varella, 2007).

1- Componentes necessários para aplicação localizada dos fatores de produção

Os componentes necessários de um equipamento agrícola para aplicação modulada dos fatores de produção constam de:

- um sistema GPS;
- um computador de bordo ou PDA;
- um controlador VRT.

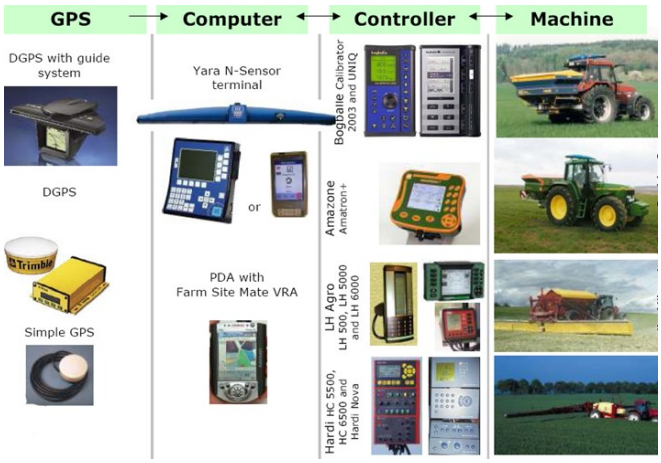


Figura 1- Componentes necessários para a aplicação modulada dos fatores de produção.
Fonte: Nissen, K. (2005).

O **sistema GPS** permite conhecer o posicionamento do equipamento que, juntamente com as quantidades de produto a aplicar em cada ponto, torna possível a modulação da aplicação dos produtos e a obtenção dos mapas de variabilidade.
O **computador de bordo ou PDA** permite a leitura dos mapas de variabilidade e a gestão do controlador de distribuição dos fatores de produção em função daquela variabilidade.

Figura 2- Utilização de um PDA para leitura de um mapa de aplicação e gestão do controlador de um distribuidor de adubo
Fonte: Nissen, K. (2005).

Os **controladores** dos equipamentos VRT são, geralmente, dispositivos eletrónicos que comandam os circuitos hidráulicos que regulam a dimensão das saídas dos produtos. Nas aplicações em tempo real (on the go) os controladores recebem a informação dos sensores, depois de tratada no computador de bordo, fazendo variar de imediato o débito do produto a aplicar.
Os sensores mais utilizados são dispositivos que convertem a energia refletida / emitida por um objeto num sinal elétrico quantificável, que é registado e utilizado para a sua caraterização ou acionamento de um dispositivo; os objetos são geralmente as plantas ou o solo (Ess, 2001).
Os controladores são configurados para sincronizarem a aplicação com a posição exata em que deve ser efetuada, ou seja, têm de antecipar a leitura no mapa (looking ahead) para que isto seja possível; para que isto seja possível é necessário ter em consideração a velocidade de deslocamento e o tempo necessário para se alterar o débito do produto a aplicar.

2- Formas de execução modulada das operações culturais

A agricultura de precisão, tendo em consideração o tempo que separa a modulação da aplicação relativamente à determinação da variabilidade, é executada em:

- circuito fechado ou em tempo diferido (sistema cíclico), ou seja, a modulação é executada em função da cartografia de predição determinada a partir da variabilidade do meio;
- circuito aberto ou em tempo real (sistema linear), ou seja, a modulação é executada ao mesmo tempo que a determinação da variabilidade.

Nestes sistemas, a partir da cartografia ou diretamente, modifica-se em contínuo a regulação do equipamento para se obter a aplicação diferenciada dos fatores de produção ou a execução das operações.

2.1- Modulação baseada na cartografia de predição

A agricultura de precisão, baseada na cartografia de predição (circuito fechado) utiliza dados, convertidos em mapas, para aplicar diferenciadamente os fatores em função das caraterísticas da variabilidade do meio; este sistema é o mais comum e que primeiro foi desenvolvido

As tecnologias utilizadas permitem:

- a caraterização espacial e temporal das parcelas para gerar informação que torna possível a tomada de decisões sobre o sistema produtivo;
- o armazenamento e análise da informação, utilizando SIGs e SSDs;
- a criação de mapas de predição, que serão utilizados pelos equipamentos VRT, para aplicação modulada dos fatores, em função da variabilidade nas parcelas.

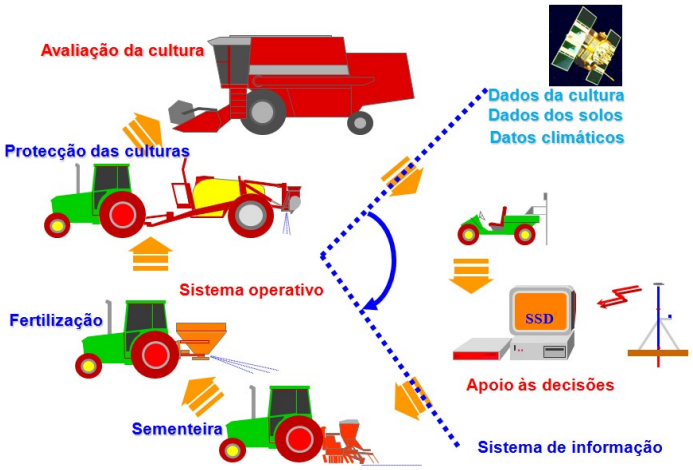


Figura 3- Ciclo da agricultura de precisão baseada na cartografia de predição
Fonte: Márquez, L. (2009).

A informação utilizada neste sistema referente à variabilidade do meio (rendimento das culturas, nutrientes do solo, disponibilidades hídricas, topografia, etc.) permite a definição de modelos de atuação diferenciada ao nível das parcelas, ou seja, a aplicação variável de adubos, sementes, pesticidas, etc., que geram novos resultados aumentando o volume de informação.

Em resumo, pode-se afirmar que a agricultura de precisão, baseada na cartografia de predição utiliza, a cada momento, o conhecimento da posição do equipamento na parcela e das quantidades dos fatores de produção a aplicar obtidas a partir da informação previamente determinada.

2.2- Modulação em tempo real

A agricultura de precisão em tempo real (sistema linear ou aberto) utiliza tecnologias que permitem determinar, em tempo real, as caraterísticas do meio e controlar os sistemas de aplicação dos fatores de produção ou execução das operações em função dessas caraterísticas; apenas quando se pretende gravar as quantidades dos fatores a aplicar é que é necessário georeferenciar a variabilidade.

A inexistência de sensores para determinação de algumas caraterísticas importantes, assim como a dificuldade em sincronizar as medições dos sensores com as quantidades de fator a aplicar, tem limitado a utilização deste sistema. Os sensores são, geralmente, instalados a montante, na parte dianteira das unidades de tração, para que os controladores de distribuição "tenham tempo" para fazer coincidir o local de aplicação com o de medição.

Entre as principais limitações deste sistema destacam-se:

- a necessidade de utilização de mais tecnologia;
- a dependência do tipo e qualidade do sensor utilizado, pois a fonte de informação provém da leitura direta do sensor, pelo que eventuais erros de medição conduz a situações contrárias às desejadas;
- a necessidade de dispor de sistemas de interpretação e tradução da informação eficazes e rápidos para estabelecer uma relação agronómica entre o nível de clorofila das plantas e suas necessidades em azoto. A determinação indireta da clorofila, a partir da refletância da luz, torna necessário dispor de programas que traduzam estes dados em unidades de azoto e que a tradução seja correta;
- a necessidade de uma resposta rápida por parte dos controladores para fazer variar o débito dos distribuidores de adubos, dos bicos dos pulverizadores, etc., para que a aplicação modular esteja em conformidade com a variabilidade do meio.

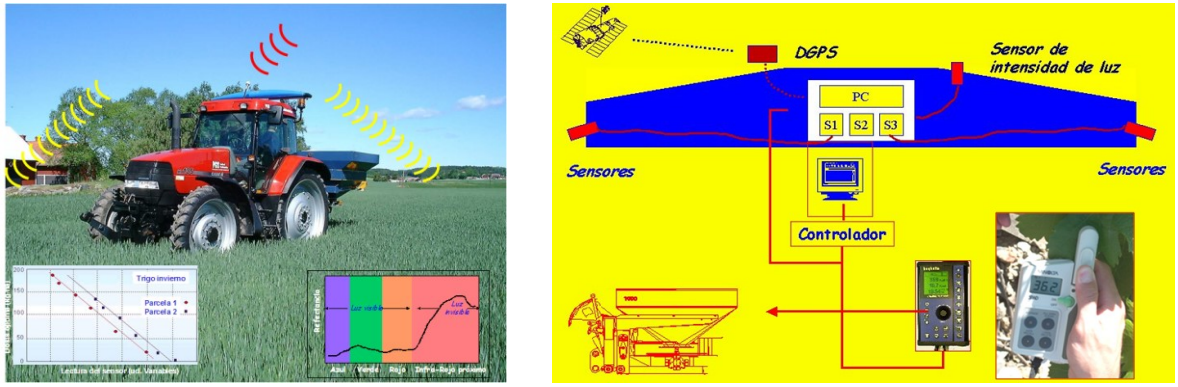


Figura 4- Agricultura de precisão em tempo real; esquema do N-Sensor
Fonte: Márquez, L. (2009).

O N-sensor pode igualmente ser usado para adquirir informação prévia sobre a variabilidade espacial do verde e da biomassa para se gerarem mapas de aplicação de azoto (Varella, 2009).

As principais vantagens da agricultura baseada na modulação em tempo real:

- não necessitar de GPS, pois estabelece, de forma imediata, os mecanismos de deteção - resposta;
- a atuação diferencial realizar-se em tempo real com base na informação obtida, o que dispensa a informação das campanhas anteriores;

- não necessitar, embora seja aconselhável, transmitir a informação entre as várias operações culturais;
- permitir uma maior densidade de pontos de amostragem aumentando o rigor da variabilidade dos mapas.

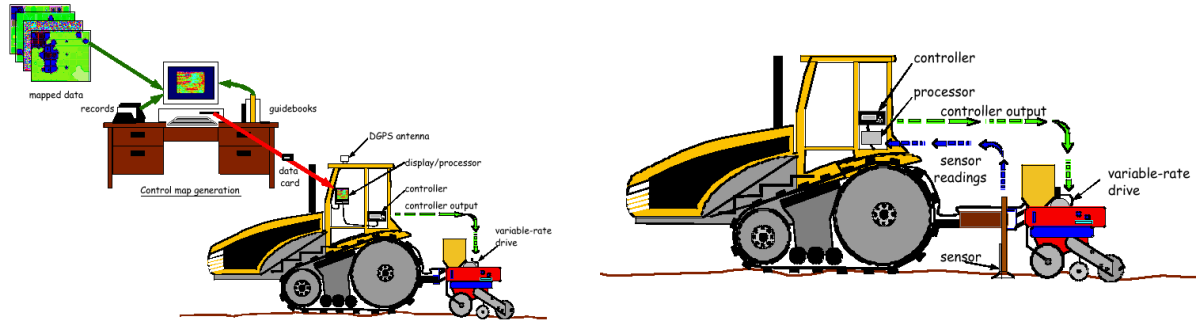


Figura 5A e B- Aplicação modulada com cartas de predição (A) e em tempo real (B).
Fonte: Ess, D. (2001).

Comparando as duas tecnologias pode-se afirmar que os equipamentos VRT baseados em cartas de predição são mais indicados para fatores que variam pouco no tempo, exemplo do fósforo e potássio do solo e, os que funcionam em tempo real são mais indicados para fatores mais inconstantes no tempo, exemplo do azoto e humidade do solo; a concentração de azoto no solo varia rapidamente com a temperatura e humidade deste (Ess, 2001).
Considerando as tecnologias atualmente disponíveis os equipamentos VRTs baseados em mapas são os mais utilizados.

3- Operações culturais e aplicação de fatores de produção utilizando equipamentos VRT

Os equipamentos VRT podem ser utilizados na execução diferenciada de algumas operações culturais ou na aplicação diferenciada dos fatores de produção.

3.1- Mobilização dos solos

A mobilização diferenciada dos solos pode ser executada tendo em consideração várias caraterísticas como a compactação, a retenção de água, a profundidade, textura e outros, podendo estas ser determinadas nas campanhas anteriores ou em tempo real. A variabilidade destas caraterísticas pode ser obtida de diferentes formas, nomeadamente por análise de imagens, radares (telemetria), variação de velocidade de equipamentos acionados à TDF, etc.
Em relação à superfície do solo (tamanho e distribuição dos torrões) é fundamental que esta esteja de acordo com as necessidades da cultura no que respeita à germinação das sementes e nascimento das plantas, podendo as medições serem efetuadas por análise de imagens, obtidas em tempo real durante o trabalho. A quantificação da relação entre o estado da superfície do solo com a taxa de infiltração, escorrimento, risco de formação da crosta superficial e evaporação permite determinar o efeito do trabalho do solo na germinação das sementes e/ou desenvolvimento das culturas.
Em relação à variabilidade do perfil este pode ser medido por telemetria, determinando a distância entre o sensor e a superfície do solo. Nestas situações a utilização de sensores, que efetuam medições através de micro-ondas tem dados bons resultados pois, na banda de 1 a 10 GHz, as micro-ondas não sofrem interferências nos meios pulverulentos.

A informação relativa a parâmetros físicos como a humidade, rugosidade, concentração de biomassa, etc., pode ser medida indiretamente através da condutividade elétrica.

Quadro 1- Situação e perspectivas da AP nos trabalhos de mobilização do solo

Parâmetros a considerar	Meios disponíveis Hoje	Meios disponíveis No futuro
Textura	- mapas de solo; - amostras manuais localizadas; - amostras manuais a partir de mapas de rendimento ou fotografias aéreas	Recolha de amostras a partir dos dados de resistividade e condutividade elétrica
Compactação	Apreciação visual de fotografias aéreas ou de experiências prévias	- sensores de medição da resistividade por radar; - amostragem em contínuo a partir da informação da condutividade elétrica
Fragmentação	Recolha de amostras manuais a partir de informação prévia	Sensores óticos ou eletromagnéticos com interpretação de dados em contínuo

Fonte: Gil, E. (1997).

Os sistemas de mobilização de conservação, especialmente em cereais, tem vindo a aumentar significativamente o uso das tecnologias da AP, para tornar os sistemas mais eficientes, quer pela redução dos custos quer pela diminuição do impacto ambiental.

3.2- Fertilização do solo

A aplicação modulada de fertilizantes utilizando cartas de predição é uma prática já vulgarizada, pois os sistemas de controlo de taxa variável do volume, massa, etc., dos distribuidores de adubo, juntamente com os sistemas GPS, torna simples esta operação.

As aplicações em que se modificam, em contínuo, o caudal do distribuidor em toda a largura de trabalho, exemplo dos distribuidores centrífugos, obrigam a estabelecer unidades de modulação com uma superfície importante (múltipla daquele valor) que, dificilmente estarão de acordo com os mapas de variabilidade da produção e fertilização. Esta limitação deve ser ultrapassada aplicando a modulação à largura de trabalho o que só é possível com equipamentos com rampas onde estejam montados vários controladores.

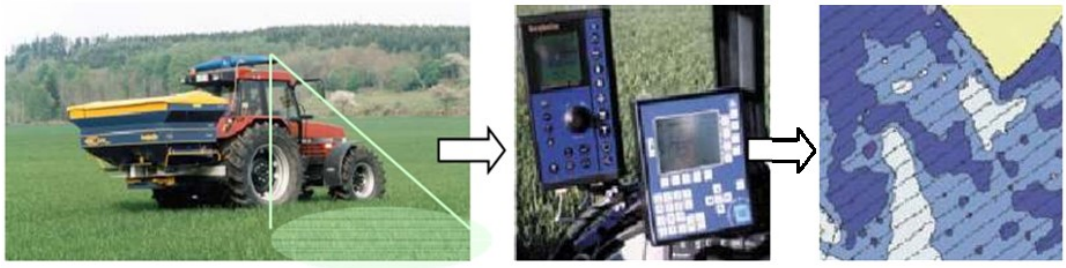


Figura 6- Aplicação de azoto com base em mapas; a informação é adquirida antes da aplicação do azoto para permitir o mapeamento da variabilidade espacial do verde (azoto) e biomassa.
Fonte: Nissen, K. (2005).

A distância entre duas passagens sucessivas, para se manter a regularidade da distribuição em toda a parcela, deve ser obtida pela utilização de sistemas de apoio à condução dos tratores.

Quadro 2- Situação e perspectivas da agricultura de precisão na aplicação de fertilizantes

Parâmetros a considerar	Meios disponíveis Hoje	Meios disponíveis No futuro
Quantidade a distribuir	Rendimento médio da parcela	- mapa de rendimento; - estádio vegetativo
Azoto no solo	Amostragem manual	Sensor tipo "elétrodo rápido" com leitura superficial
Condições da cultura	Amostragem manual e análise visual	- imagens de satélite; - sensor do nível de clorofila da cultura
Matéria orgânica	Recolha manual de amostras em pontos específicos	Sensor de leitura em superfície ou profundidade

Fonte: Gil, E. (1997)

3.3- Sementeira e plantação

A distribuição e colocação da semente em função das caraterísticas e potencialidades do meio, nomeadamente a fertilidade, topografia, humidade do solo e sua textura, são já uma realidade em muitos equipamentos. A variação da densidade de sementeira pode ser utilizada para compensar taxas de germinação e emergência de zonas com problemas de alagamento, stress hídrico, etc., obtendo-se uma maior homogeneidade da densidade de plantas na parcela.

Entre os equipamentos mais comuns de sementeira modulada destacam-se:

- os semeadores pneumáticos equipados com sistemas de distribuição de acionamento elétrico que controlam os vários elementos semeadores e que, em função dos dados estabelecidos, altera em contínuo a quantidade de semente;
- os semeadores em que cada elemento semeia individualmente, fazendo variar a dose da semente em função da sua distância na linha;
- os semeadores DAT (Dual Application Technique), que permitem o controlo simultâneo e independente da quantidade de semente e fertilizante a aplicar, utilizando mapas de sementeira e fertilidade previamente estabelecidos e introduzidos no computador de bordo;
- os semeadores centrífugos utilizados em sementeiras ou aplicação de fertilizantes onde a variação é obtida por um motor que controla a velocidade de rotação do cilindro de alimentação que controla a quantidade do produto que passa para o sistema de distribuição.

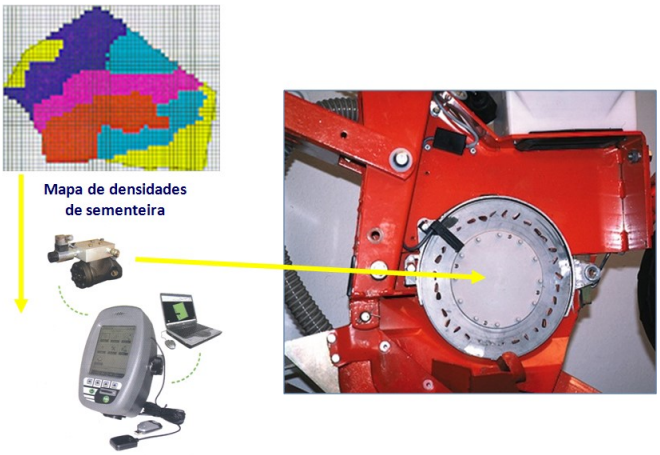


Figura 7- Variação da distância entre sementes num semeador monogrão.
Fonte: Márquez, L. (2009).

Figura 8- Controlo da densidade da sementeira num distribuidor centrífugo de linhas
Fonte: Márquez, L. (2009).

Quadro 3- Situação e perspectivas da agricultura de precisão nas operações de sementeira

Parâmetros a considerar	Meios disponíveis Hoje	Meios disponíveis No futuro
Dose de semente	- rendimento médio da parcela; - condições gerais do meio; - variedade e época	- mapas de rendimento; -disponibilidades de nutrientes; - mapas topográficos; - teor de humidade
Fragmentação do solo	Sondagem manual com amostragem fixa	Sensor montado no equipamento
Textura	- mapas de solos; - sondagem manual predeterminada; - sondagem a partir de mapas de rendimento	Sondagem manual ou automatizada efetuada a partir de mapas de resistividade ou condutividade elétrica
Profundidade do solo	- mapas de solo; - sondagem manual predeterminada; - sondagem a partir de mapas de rendimento	Amostragem manual ou automatizada a partir de mapas de rendimentos, imagens de satélites ou fotografia aérea

Fonte: Gil, E. (1997)

3.4- Aplicação de pesticidas

A aplicação de pesticidas na agricultura de precisão tem como principais objetivos a sua repartição diferenciada, a redução dos volumes de aplicação, a diminuição do impacto ambiental e a redução dos custos. A aplicação diferenciada, em função de mapas de aplicação, é já utilizada por várias empresas de pulverizadores, o que contrasta com a situação tradicional em que a distribuição é uniforme em toda a parcela.

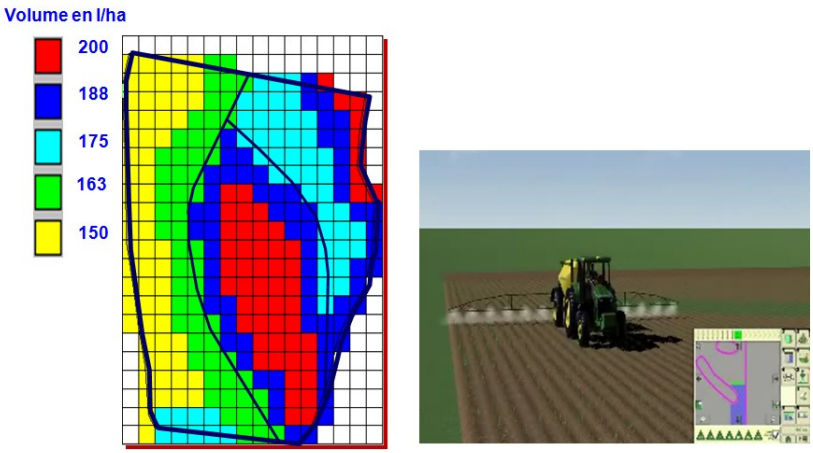


Figura 9- Aplicação diferenciada de herbicida utilizando mapas de predição.
Fonte: Márquez, L. (2009).

Em relação aos componentes específicos dos equipamentos, os bicos são os elementos que mais têm sido estudados com o objetivo de manter a qualidade da pulverização (tamanho das gotas e uniformidade do espetro), independentemente da variação das condições de funcionamento; os bicos de duplo fluído (ar/líquido) permitem manter uma boa uniformidade do espetro da pulverização, mesmo variando o caudal.
A aplicação diferenciada de pesticidas tem-se feito sentir mais ao nível dos herbicidas onde as economias podem ser muito significativas.

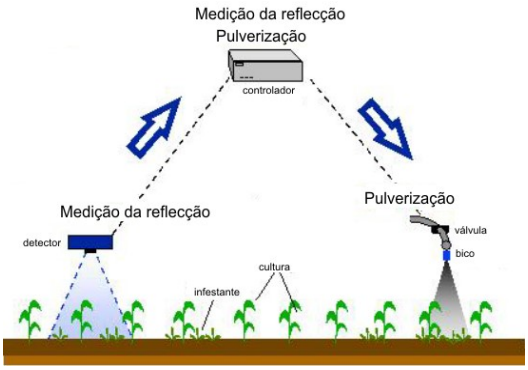


Figura 10- Deteção ótica de infestantes para aplicação de herbicidas em tempo real
Fonte: Gil, E. (1997)

Em arboricultura a utilização de sensores que atuam em tempo real permitem controlar a pulverização para que esta se faça apenas em presença das árvores.

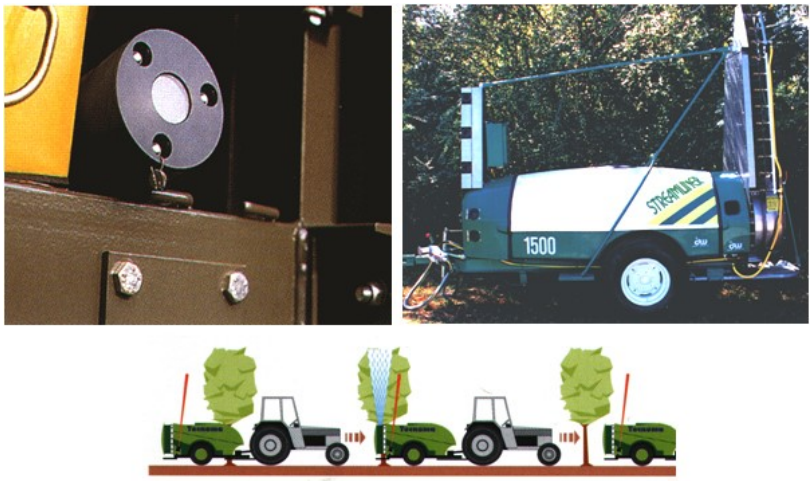


Figura 11- Aplicação diferenciada em arboricultura utilizando um sistema sonar
Fonte: Márquez, L. (2009).

Quadro 4- Tipos de modulação intra-parcelar e disponibilidade de equipamentos de protecção

Tipo de modulação	Princípio	Equipamento necessário e disponível
Visual	O agricultor decide as condições de trabalho	Pulverizador clássico convencional
A partir de dados cartográficos	A modulação é independente da intervenção do agricultor, mas é ele que decide	Disponível em alguns fabricantes
Com captadores em tempo real	A modulação efetua-se sem intervenção do agricultor. A decisão depende da informação fornecida pelo sensor	Só disponível nos EUA

Fonte: Gil, E. (1997)

Quadro 5- Situação e perspectivas da agricultura de precisão na aplicação dos pesticidas

Parâmetros a considerar	No presente	No futuro
Doses médias	Informação da cultura anterior, previsão de riscos, nível de infestação geral	- sensor de biomassa; - sensor visual da presença de infestantes; - imagem de satélite ou fotografia aérea
Presença de infestantes	Análise visual da parcela	- sensor por refletância ou analisador de imagens montados nos bicos
Presença de doenças	Análise visual da parcela	- imagens de satélites ou fotografias aéreas

Fonte: Gil, E. (1997)

3.5- A rega por pivot central

A rega por pivot central, também chamada rega em círculo, utiliza aspersores montados numa rampa que roda em volta de um eixo fixo (pivot) regando uma área circular centrada nesse eixo.

A rampa é formada por vários segmentos de tubo montados em torres com rodas, em que os aspersores (sprinklers) estão posicionados ao longo da rampa e a entrada de água é feita através do pivot central. Estes equipamentos são utilizados em terrenos planos, sendo as culturas semeadas em círculo de acordo com a área de rega. Nos sistemas de pivot central com tecnologia VRI (variable rate irrigation) pode ser controlada a variação espacial da dotação da rega ou os intervalos entre regas, em função, por exemplo, do tipo de solo, ou fazer a redefinição dos setores de rega ou a densidade dos gotejadores.

Figura 12- Sistema de rega por pivot central com a localização dos três GPS
Fonte: Salem, R. (2007).

Para controlo do pivot central são necessários três GPS, um motor de acionamento da rampa colocado no centro do conjunto e um computador de controlo ao qual estão ligados os GPS e o sistema de controlo do motor. O primeiro GPS, que funciona como ponto estacionário de referência, está posicionado no centro do pivot, o segundo no centro da rampa e o terceiro na sua extremidade.

O computador de controlo tem como funções manter uma linha recta entre o pivot central e o topo exterior da rampa e controlar o motor para que o centro da unidade fique posicionado, com alguma tolerância, no alinhamento da rampa (Salem, 2007).

Para os equipamentos de grande dimensão, caso dos pivots, os fabricantes têm vindo a incluir sensores associados a dispositivos de comunicação via rádio ou GSM, para permitir a sua gestão remota.

Apresenta-se, no anexo 6, os principais parâmetros e sua forma de obtenção para diferentes operações culturais.

Capítulo VII - Aplicação dos conceitos e tecnologias da agricultura de precisão a diferentes atividades agronómicas

Introdução

As culturas arbustivas e arbóreas apresentam um desenvolvimento tridimensional (estrutura de porte alto colocada perpendicularmente ao solo e com um volume de vegetação variável em função da altura) implantadas de uma forma descontínua no terreno, o que dificulta a utilização de algumas das tecnologias referidas anteriormente. Sistemas de georeferenciação com precisão de 1 m nas culturas extensivas não levantam são, normalmente, problema, mas por exemplo, na vinha essa distância pode impedir a diferenciação entre bardos (plantas), tornando necessário utilizar um algoritmo de correção da informação proveniente do dGPS que aumente a precisão.

Entre as principais atividades agronómicas que utilizam as tecnologias da agricultura de precisão destacam-se as a seguir referidas

1- A vinha

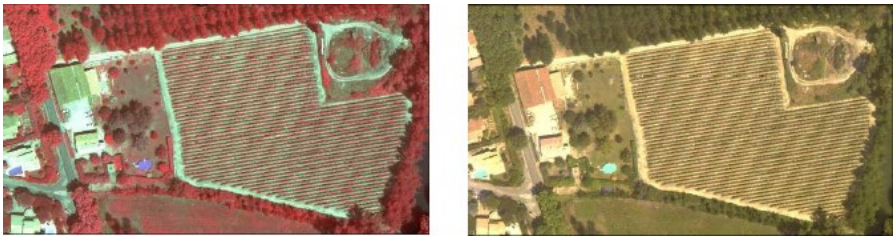
1.1- A variabilidade espacial

A variabilidade espacial na vinha depende de inúmeros fatores, nomeadamente das caraterísticas do solo, topografia e microclima, resultando a variabilidade temporal das condições meteorológicas, da incidência de pragas e doenças e das alterações das técnicas culturais.

A variabilidade numa vinha permite definir estratégias diferenciadas de atuação, nomeadamente no que se refere às necessidades hídricas, fertilizações, carga a deixar e, em última estância, conduzir a uma vindima diferenciada e, consequentemente, a várias vinificações; esta aplicação não implica a intervenção da gestão dos fatores de produção.

Figura 1- Variabilidade espacial na vinha detetada por observação visual
Fonte: Lopes, C. (2008).

À semelhança das outras culturas a variabilidade espacial nas vinhas é, geralmente, determinada em função da reação das plantas à energia radiante dada pela interpretação de imagens de satélite, fotografias aéreas e sensores de proximidade, que permitem determinar algumas caraterísticas, nomeadamente a superfície (volume) e composição das folhas, tornando possível implementar uma viticultura de precisão.



A B

Figura 2- Comparação de uma imagem obtida no espetro dos infravermelhos (A) e do visível (B). A vegetação aparece a vermelho na imagem (A)
Fonte: Delenne, C. (2006).

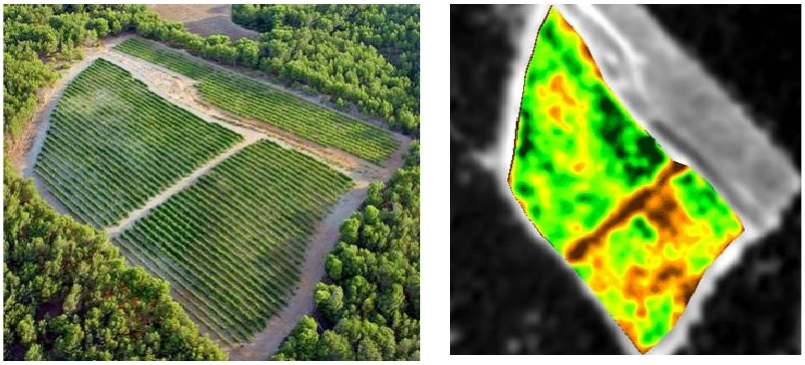


Figura 3- Comparação de uma fotografia de uma parcela em cores naturais (A) e de uma imagem da mesma parcela obtida a partir dos infravermelhos próximos (B)
Fonte: Rousseau, J. (2009).

O vigor da vinha pode ser, assim, obtido com uma metodologia semelhante à utilizada nos cereais, ou seja, determinando a refletância das plantas para se calcularem vários índices de vegetação. A definição de áreas qualitativamente uniformes pode ser determinada através de imagens multiespetrais cuja sua análise permite obter índices de vigor vegetativo, nomeadamente o NDVI, que está altamente associado à qualidade das uvas (Procisur, 2006). Relativamente às cores naturais a banda do vermelho permite um melhor contraste entre a vinha e o solo, mesmo que este esteja com relva; os pixels situados sobre a linha têm, geralmente, uma radiometria inferior à do solo pois, naquela banda, a vegetação absorbe mais radiação (Delenne, 2006).

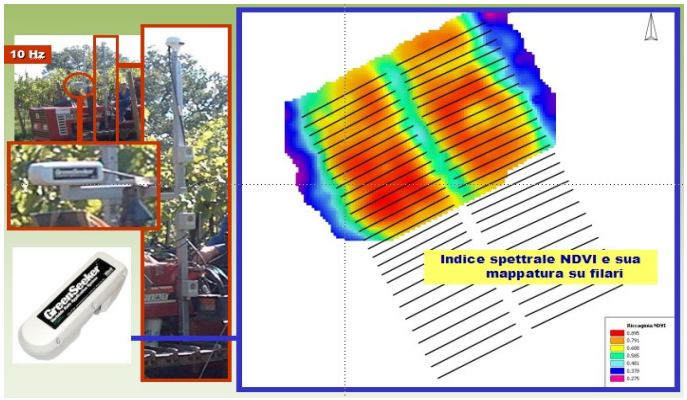


Figura 4- Sensor ótico montado num trator e o mapa de vigor da vinha.
Fonte: Lopes, C. (2008).

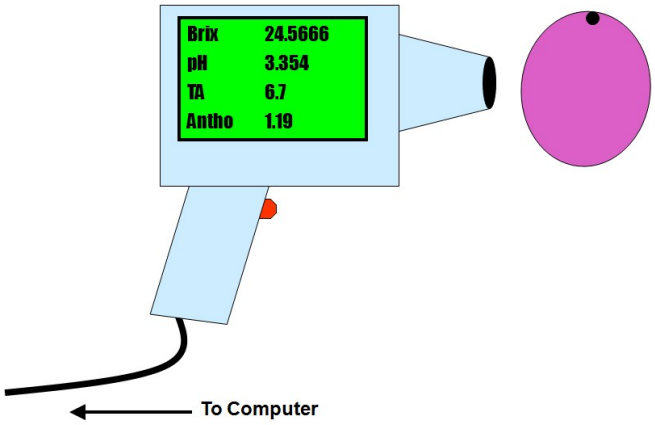


Figura 5- Representação de um espetrómetro operando na banda do NIR
Fonte: Kaye, O. (2005).

Alguns dos indicadores de vegetação utilizados na vinha são os indicados no quadro 1.

Quadro 1- Índices de vegetação (VI) utilizados na vinha.

Índice	Medição
NDVI - índice de vegetação da diferença de normalizada	(NIR - R) / (NIR + R)
SR - índice de relação simples (simple ratio index = plant cell density)	NIR / R
GNDVI - índice de vegetação da diferença normalizada do verde	(NIR - G) / (NIR + G)
GPCD - índice da densidade das células verdes das plantas	G / R
Racio- índice de vegetação racio (RATIO)	IVP / V

Fonte: Rousseau, J. (2009).

Os índices mais utilizados na caraterização da vegetação são os que incluem a reflexão / emissão na banda dos infravermelhos próximos (NIR) (Rousseau, 2009).

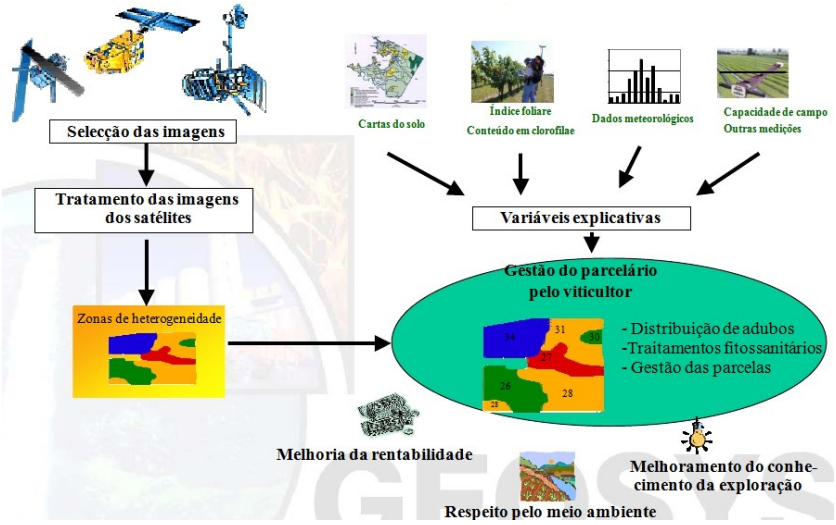


Figura 6- Diferentes fases e objetivos da viticultura de precisão
Fonte: Inc.

1.2- A aplicação de pesticidas na vinha

1.2.1- Controlo de pragas e doenças

A aplicação de pesticidas na vinha é uma das operações mais interessantes para se utilizarem as tecnologias da AP pois, ao se conhecer a quantidade da vegetação (área e volume) e sua distribuição, assim como a altura e a distância entre linhas, é possível regular os equipamentos em função desses parâmetros.

A determinação do volume da vegetação e posterior relação com o volume da calda a aplicar, designada por "Pulverização Adaptada à Cultura**",** permite ajustar as duas variáveis, ou seja, fazer corresponder maior quantidade de calda a maior volume de vegetação e vice-versa.

Na "Pulverização Adaptada à Cultura**"** o volume da vegetação (TRV- Tree Row Volume), depende da altura do cultivo, da largura média do mesmo e da distância entre linhas, sendo a relação entre o volume de calda (L/ha) e o da vegetação (TRV) dada por:

$$L/ha = a + b * TRV$$

Para a aplicação modular dos pesticidas na vinha é necessário determinar a variação intraparcelar do TRV que dependerá, fundamentalmente, da espessura da massa vegetal, pois a distância entre linhas e altura da vegetação pouco variam. Assim, as condições de trabalho dos equipamentos devem ter em consideração as caraterísticas da cultura, especialmente a largura da vegetação, fazendo variar a pressão e a velocidade de avanço de acordo com essas caraterísticas.

1.2.2- Controlo de infestantes

O controlo das infestantes na cultura da vinha contempla os mesmos objetivos seguidos nas outras culturas, ou seja, a aplicação nos locais onde aquelas aparecem e não de uma forma homogénea em todo o terreno. Estas aplicações podem ser efetuadas utilizando cartas de predição ou em tempo real.

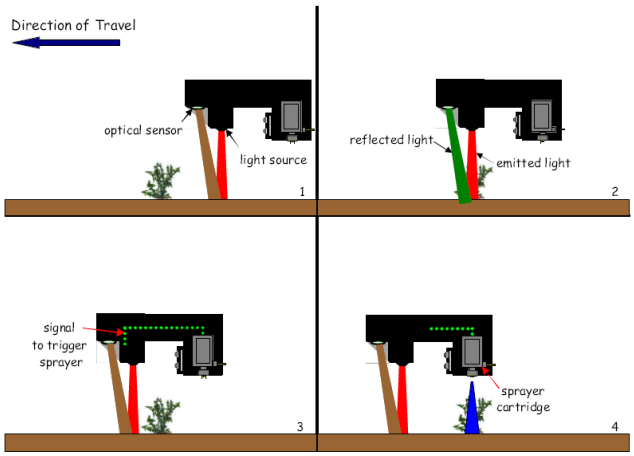


Figura 7- Controlo de infestantes em tempo real
Fonte: Ess, D. (2001).

O equipamento representado na figura 7 compõe-se, basicamente, de uma fonte de luz, um detetor ótico que identifica a presença das infestantes (refletância da cor verde) e um bico de pulverização, que tem uma válvula acionada por um solenóide, que aplica o herbicida na presença daquelas. Como

este equipamento não distingue o tipo de plantas (plantas cultivadas e infestantes) é geralmente utilizado para aplicações entrelinhas ou em manchas de infestantes.

1.3- Monitores de rendimento nas vinhas

Os primeiros equipamentos vitícolas a dispor das tecnologias da AP foram as máquinas de vindimar que, quando associadas a um GPS, ao procederem à pesagem em contínuo das uvas utilizando células de carga, permitem obter mapas de produção (Bruno, 2002).

A produção de uvas pode igualmente ser estimada utilizando sensores de ultrasons, para medição da altura das uvas nos tapetes de transporte, obtendo-se, assim, o seu volume.

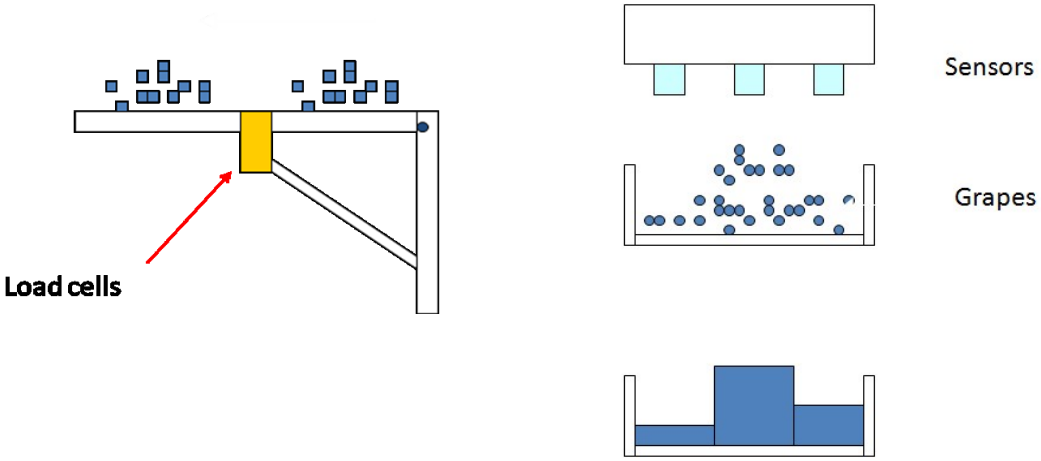


Figura 8- Monitores de rendimento com célula de carga e ultrasons.
Fonte: Taylor, J. (1999).

A vindima modulada pode ser efetuada com uma vindimadora e dois reboques que são utilizados conforme as áreas definidas, como se apresenta na figura 9; a definição das áreas pode ser estabelecida de acordo com uma carta NDVI. A seleção de áreas de qualidade uniforme, neste caso através do NDVI, dificilmente pode ser determinada utilizando métodos tradicionais de recolha de dados das variáveis que influenciam a produção e qualidade das uvas (Procisur, 2006).

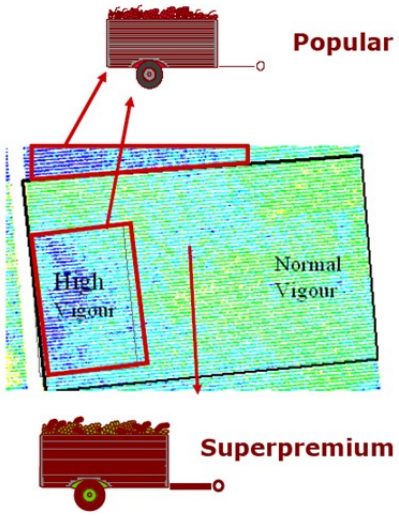


Figura 9- Vindima sectorial em função do vigor das plantas.
Fonte: Rousseau, J. (2009).

Algumas vindimadoras têm sistemas de regulação e programação seletivos dos parâmetros de funcionamento dos sacudidores (frequência, amplitude, convergência e aceleração) que permitem atuar de acordo com a informação prévia disponível sob a variabilidade das parcelas.

2- A cultura de cereais

A cultura de cereais foi a primeira atividade agrícola a utilizar mapas de rendimento, pois as ceifeiras debulhadoras adequam-se à instalação dos componentes eletrónicos necessários e as parcelas em que operam têm, geralmente, dimensões que permitem rentabilizar o acréscimo dos encargos.

O elevado número de cultivares existentes nos cereais permite escolher as mais indicadas para cada parcela ou parte desta, pelo que têm melhores caraterísticas qualitativas e que necessitam de condições de cultivo mais favoráveis para expressar o seu potencial, devem ser instaladas nos locais com maior aptidão agrícola; esta gestão em zonas, que conduz à "divisão" das parcelas segundo áreas homogéneas, que serão tratadas de uma forma uniforme, pode ser considerada com uma fase intermédia entre a agricultura com base na aplicação uniforme dos fatores de produção e a agricultura com taxas de aplicação variável (precisão sub-métrica).

Um dos fatores que, em muitas situações, determina o potencial de rendimento e qualidade de grão é a disponibilidade de azoto que pode ser aplicado de uma forma modulada utilizando cartas de predição (map-based) ou em tempo real (sensor based); como cada um destes métodos tem vantagens e inconvenientes têm-se desenvolvido sistemas que permitem a sua utilização simultânea.

Utilizando-se as técnicas da agricultura de precisão garante-se a quantidade correta de azoto o que evita o acamamento decorrente do seu excesso e perda de produção resultante da sua escassez, maximizando-se o rendimento da cultura.

2.1- Constituição dos sistemas de monitorização

As ceifeiras debulhadoras utilizadas em agricultura de precisão incluem:

- um computador com programas de gestão e apresentação da informação;
- um sistema GPS;
- sensores vários.

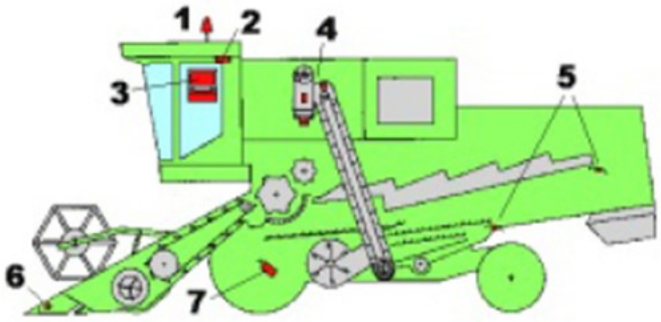


Figura 10- Principais componentes para monitorização da produção de uma ceifeira debulhadora.
1- Antena GPS 2- Recetor de sinais GPS 3- Computador de bordo 4- Sensores de produtividade 5- Sensores de perda de produção 6- Sensor da altura da barra de corte 7- Sensor de velocidade.
Fonte: Varella, C. (2007).

2.1.1- Computador

O computador de bordo funciona como um interface com o utilizador permitindo a introdução de dados (largura da máquina, parâmetros de calibração dos sensores, etc.) e como processador e gravador da informação (algoritmos do hardware, cartão de dados, etc.).

Os computadores podem ter instalado um programa SIG que permite o tratamento geoestatístico dos dados e a determinação dos mapas de variabilidade que são apresentados no monitor do computador.

Figura 11- Computador de bordo.
Fonte: Varella, C. (2007).

2.1.2- GPS

O sistema GPS dá a conhecer a localização da ceifeira que, juntamente com os dados da produção, permite determinar os mapas de variabilidade; a cadência da obtenção destes dados é variável mas são determinados várias vezes por segundo.

2.1.3- Sensores vários

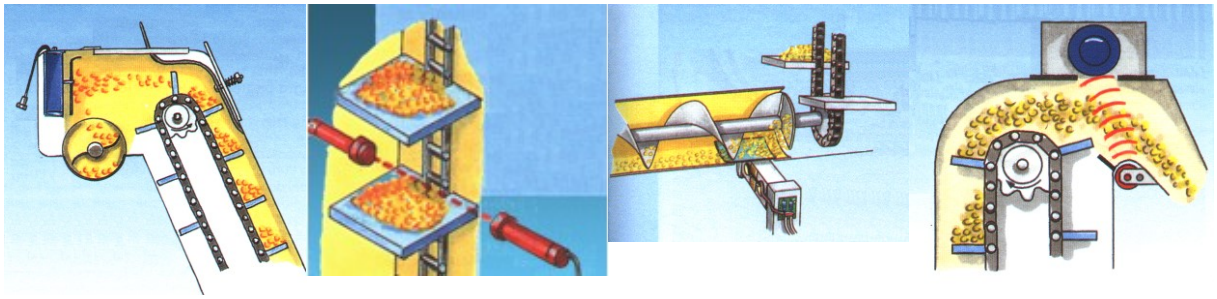
Dos diferentes tipos de sensores destacam-se os seguintes.

2.1.3.1- Sensores de fluxo de massa

O sensor de fluxo de massa pode ser um sensor de impacto montado no topo do elevador de grão, em que a produção é medida pelo deslocamento do sensor resultante dos impactos do grão que gera um sinal eletrónico proporcional à sua massa, ou por sensores de radiação gama que funcionam por emissão e deteção da radiação, em que a quantidade é medida pela variação da amplitude da radiação. Os sensores de massa por impacto são calibrados comparando o peso do grão colhido no tegão com um valor de referência e os de humidade igualmente por comparação com as leituras de um sensor de referência.

2.1.3.2- Sensores de fluxo de volume

Os sensores de volume mais comuns são os fotoelétricos montados no elevador do grão, em que a quantidade de grão transportada está correlacionada com o tempo de interrupção do feixe de luz e em que o volume da pá permite estimar o volume de grão, e os de rotor de pás montados no elevador de grãos em que o sensor ótico envia um sinal para o rotor girar quando estiver cheio (Varella, 2007).



A B C D

Figura 12- Sensores para medição do volume do grão. A- Sensores de fluxo de massa por impacto; B- Sensor de volume fotoelétrico; C- Sensores de volume; D- Sensor de volume por radiação gama.
Fonte: Varella, C. (2007)

2.1.3.3- Sensor de humidade do grão

O sensor de humidade do grão, localizado junto do sensor de volume, mede as propriedades dielétricas do grão, pelo que, quanto mais elevada for a constante dielétrica do grão maior o seu teor de humidade. A medição do teor de humidade é fundamental para se calcular a produção do cereal, os custos de secagem, etc.

2.1.3.4- Sensor da altura da barra de corte

O sensor de altura de barra de corte dá indicação para não registar os valores da produção quando a barra de corte é levantada nas cabeceiras.

2.1.3.5- Sensor de velocidade

O sensor de velocidade por RADAR permite obter registos da velocidade real de avanço utilizada para determinar a distância percorrida necessária para obter a área da produção; as áreas são definidas pela largura da barra de corte e pela distância percorrida entre duas medições consecutivas.

2.1.3.6- Calibração dos sensores

Um dos aspetos mais importantes para o funcionamento do sistema de monitorização da produção é a calibração dos vários sensores, especialmente os de massa e humidade.
Relativamente aos outros sensores o de velocidade calibra-se percorrendo no campo uma distância conhecida e o de altura de corte ajustando-o para que os valores deixem de ser gravados quando a barra se afasta do solo de um valor pré-definido.
A regulação do sistema de monitorização deve igualmente incluir uma correção relativa ao desfasamento entre o corte das plantas e a chegada do grão ao sensor de massa pois, só assim, os valores da produção são corretamente georeferenciados; o tempo de desfasamento depende da velocidade de trabalho, sendo o seu valor de ± 12 s.
O ajuste da largura de trabalho deve ser pontualmente corrigido para que a produtividade corresponda exatamente à largura da faixa colhida.

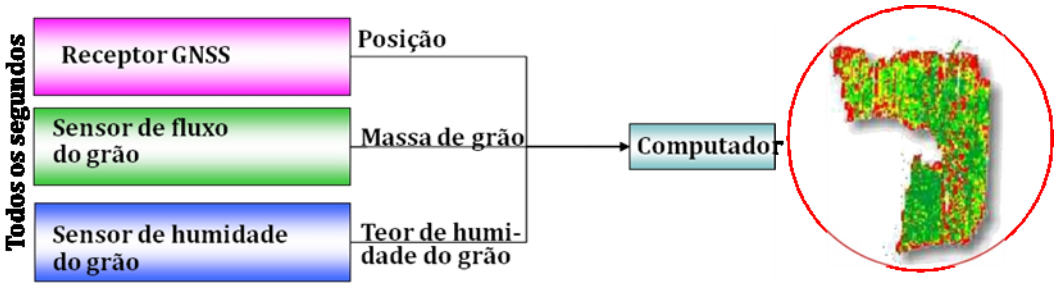


Figura 13- Sistema de monitorização de produção de uma ceifeira debulhadora.
Fonte: Salem, R. (2007).

3- Forragens

A utilização de colhedores de forragem que incluem as tecnologias necessárias para obter os mapas de produtividade tem vindo a generalizar-se o que, juntamente com a informação relativa ao meio, permite criar mapas de predição para a aplicação modulada dos fatores de produção.

As forragens, especialmente o milho, tem vindo a beneficiar da utilização deste tipo de tecnologia para melhorar o seu rendimento e qualidade, especialmente pela possibilidade da aplicação variada dos fertilizantes (azoto).

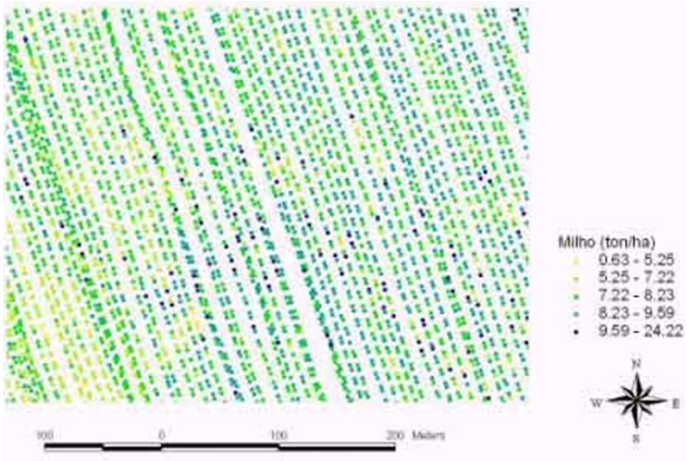


Figura 14- Dados pontuais de produtividade da cultura do milho
Fonte: Varella, C. (2007).

Em relação à produção de erva para forragem tem-se vindo a impor a utilização de sistemas de monitorização baseados na medição indireta da radiação fotossinteticamente ativa absorvida pelas plantas (fPAR), a partir do índice de diferença normalizada da vegetação (NDVI); tem-se igualmente utilizado a radiação NIR, mas bandas dos 780 nm e 1050 nm, para análise do teor de proteína da forragem (Brixey, 2002).

Nestas culturas, para além das tecnologias necessárias à determinação da variabilidade da produção (massa e humidade), têm-se introduzido também melhorias nos colhedores com o objetivo de se fazer variar o comprimento da erva cortada em função do teor de humidade.

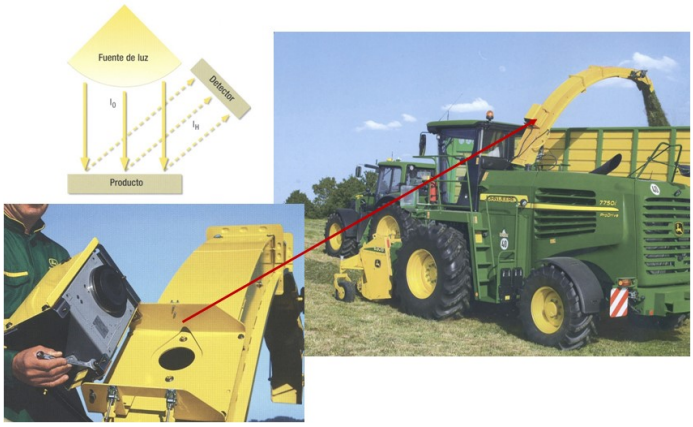


Figura 15- Comprimento da forragem em função da humidade da erva
Fonte: Márquez, L. (2009).

4- A silvicultura

As ferramentas da AP, especialmente os sistemas GPS, têm inúmeras aplicações ao nível da produção florestal, nomeadamente na localização dos equipamentos durante o abate das árvores, gravação dos itinerários dos equipamentos no interior das florestas, medição das distâncias para se conhecer a distribuição espacial das plantas, etc. A utilização de imagens de satélites e fotografias aérea permite monitorizar ameaças de incêndios, pragas, enxurradas, etc.

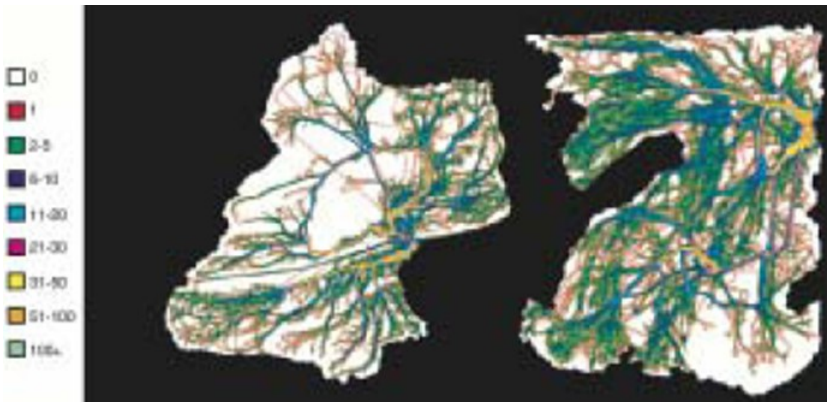


Figura 16- Mapas de densidade de tráfego no interior da floresta.
Fonte: Donald, T.

A densidade das copas e as irregularidades do terreno limitam a utilização das tecnologias GPS tornando-as, por vezes, apenas possível na altura da queda das folhas ou em boas condições de posicionamento dos satélites (Wing, 2009).

No que se refere à deteção remota, Patenaude (2010), considera que:

- na banda do visível, o azul permite identificar o solo, o tipo de plantas, as infraestruturas e a água, o verde as bordaduras dos diferentes tipos de vegetação e o vermelho o teor de clorofila das plantas;
- na banda do infravermelho, o IV próximo permite identificar a quantidade de biomassa, os tipos de vegetação, as zonas de água e a humidade do solo, o IV médio o tipo de vegetação e humidade do solo e o IV termal o stress da vegetação, os fogos, a humidade do solo e o aquecimento relativo das superfícies;
- as micro-ondas, na banda do L e P e o LIDAR, a estrutura da floresta e a biomassa.

5- Produção pecuária.

Da utilização das novas tecnologias em explorações pecuárias destaca-se o uso de sistemas GPS e de sensores de temperatura e mortalidade, montados em colares no pescoço dos animais, permitem a sua localização no campo, especialmente importante nas explorações de maior dimensão em que os animais são deixados no campo, e a recolha de dados relativos ao seu estado de saúde.

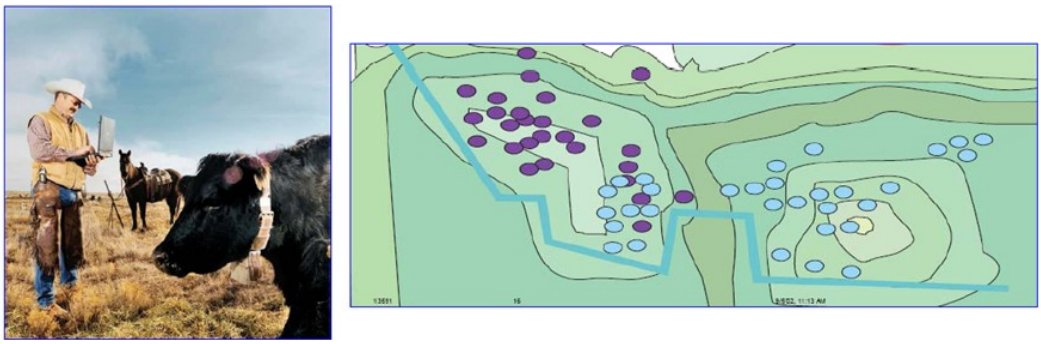


Figura 17- Recolha de dados e localização dos animais no campo
Fonte: Salem, R. (2007).

A utilização de "transponders" e respetivos sistemas de leitura via rádio, permitem gerir os efetivos pecuários evitando-se a leitura dos brincos de identificação; a leitura da informação é, geralmente, efetuada via "Bluetooth" por um computador portátil que, via rádio, comunica com o computador central da exploração.

Para além dos aspetos mencionados, o controlo à distância das instalações pecuárias e outras, tem tido uma divulgação muito significativa; para este controlo e para a segurança das instalações tem-se utilizado máquinas fotográficas digitais interligadas a sistemas de envio de mensagens multimédia para telemóveis

Capítulo VIII - Utilização de tecnologias da informação e comunicação na gestão das empresas agrícolas

Introdução

A atividade agrícola é caraterizada pela enorme quantidade de informação disponível, o que torna a sua gestão bastante complexa, pelo que a utilização de sistemas de suporte à decisão (SSD), que ajudem o agricultor (técnico) nessa tarefa, são fundamentais.

1- Sistemas de informação para as empresas

A informação disponível nas empresas é utilizada para a sua gestão interna e externa, tendo a primeira como objetivos principais a redução dos custos de produção e do impacto no meio e, a segunda, a melhoria da qualidade dos bens produzidos e seus benefícios para o utilizador.

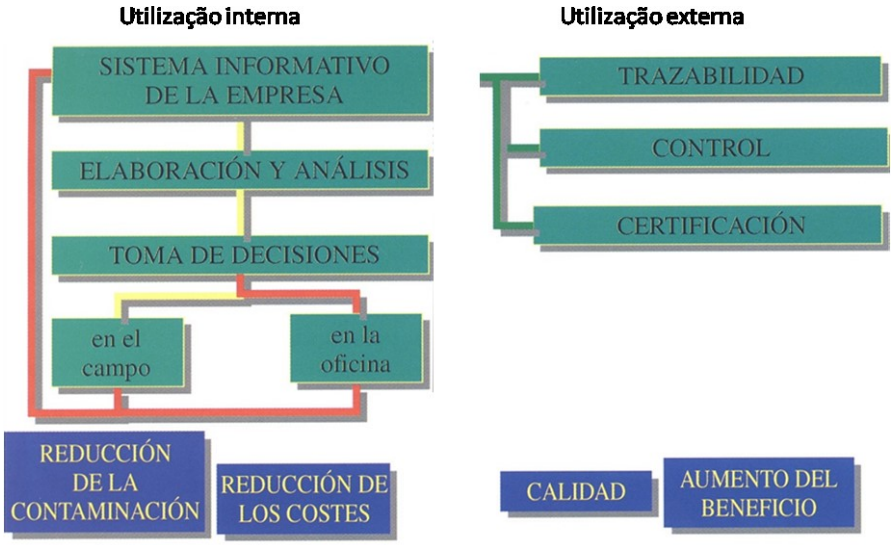


Figura 1- Sistemas de información de empresas
Fonte: Márquez, L. (2009).

Figura 2- Gestão integral dos sistemas agrícolas
Fonte: Márquez, L. (2009).

2- Quantificação dos fatores de produção

A escolha entre as várias soluções possíveis de serem implementadas para execução das atividades agrícolas é facilitada com a utilização de programas informáticos que permitam quantificar os fatores a utilizar em cada situação e prever os seus resultados; a opção mais correta deve permitir produzir ao mais baixo custo, sem pôr em cauda a rentabilidade da exploração, e minimizar o impacto ambiental.

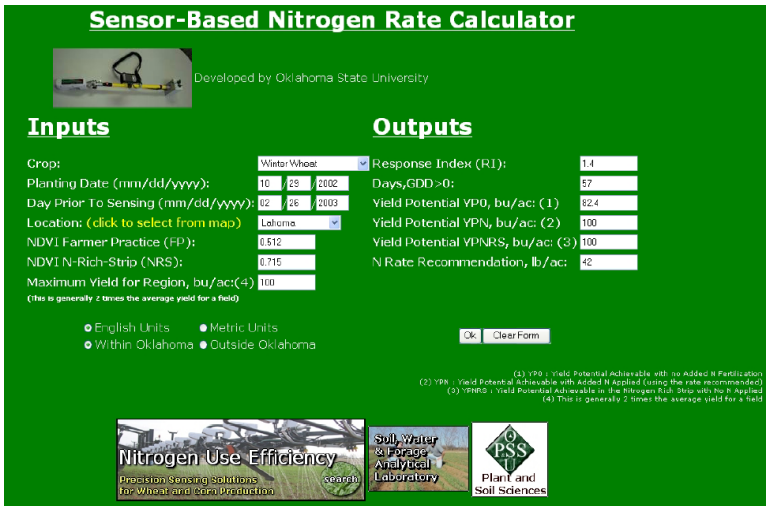


Figura 3- "Display" dos inputs e outputs de um programa para cálculo da quantidade de azoto para a cultura de trigo

Fonte: Francis, D. (2004)

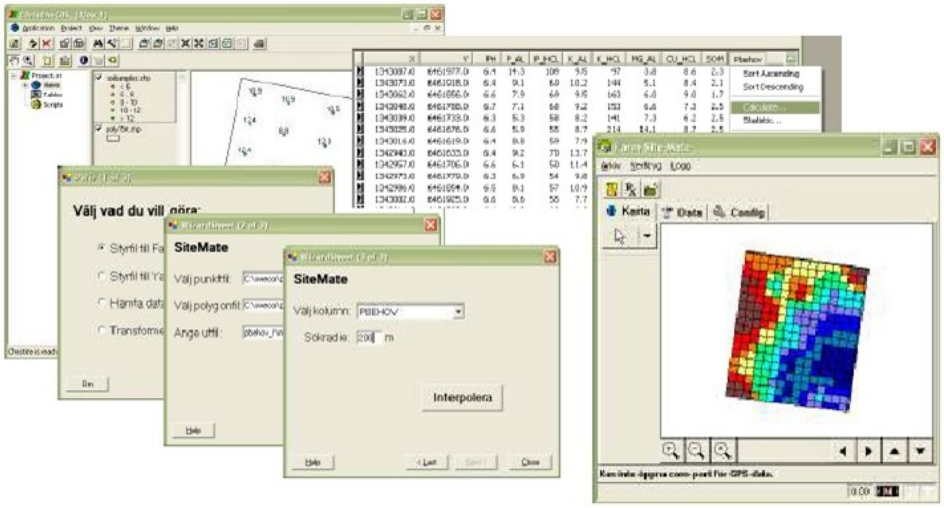


Figura 4- Ficheiro para aplicação variada dos fatores de produção

Fonte: Nissen, K. (2005).

A integração de soluções de comunicação móveis nos PDA's permite o acesso à informação dos mercados e sua gestão, o que facilita o trabalho do empresário agrícola.

Apresenta-se no anexo 7 alguns dos aspectos da informação utilizada na gestão, nomeadamente a frequência da sua aquisição, utilização e finalidade e operações a realizar.

3- Compatibilidade entre equipamentos

A possibilidade de opção entre vários equipamentos, com especificidades próprias, para participação nas atividades agrícolas, torna mais difícil a comunicação entre eles pelo que o estabelecimento de sistemas de comunicação ISOBUS, que permitam a automatização desses sistemas tem vindo a ser estudados, com o objetivo de os tornar compatíveis; a compatibilidade entre equipamentos pode-se tornar mais difícil quando inclui a gestão combinada do motor e transmissão dos tratores.

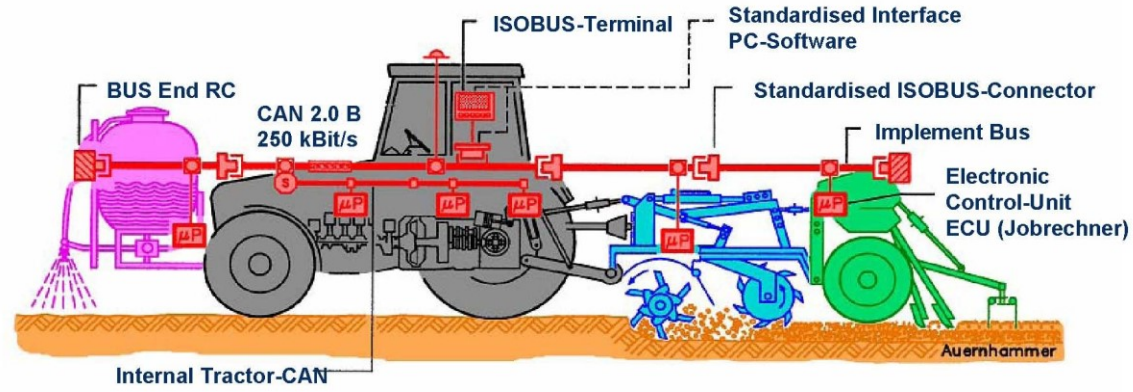


Figura 5- Sistema de comunicação ISO-BUS
Fonte: Márquez, L. (2009).

Enquanto a adaptação dos padrões ISOBUS não se generaliza a solução mais conveniente é a conversão das funções das várias unidades de controlo para o software Windows, para que todos os programas dos terminais possam correr em qualquer computador.

Figura 6- Conversão das funções das várias unidades de controlo para software Windows.
Fonte: Nissen, K. (2005).

4- Sistemas de suporte à decisão utilizados em agricultura de precisão

O volume de informação disponível na agricultura de precisão faz com que a sua gestão só seja possível com programas integrados de suporte à decisão.

5- Controlo de frotas de tratores e máquinas agrícolas

A utilização de sistemas GPS para controlo de frotas de tratores e máquinas agrícolas em tempo real é especialmente importante nas empresas de prestações de serviços, onde tem vindo a impor-se para melhorar a gestão dos meios disponíveis.

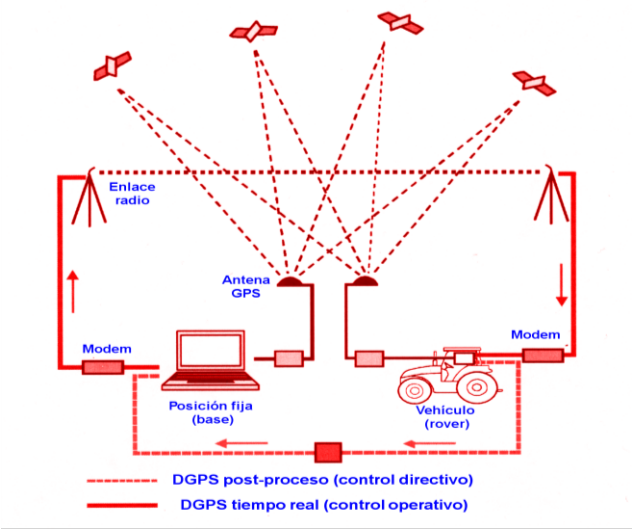
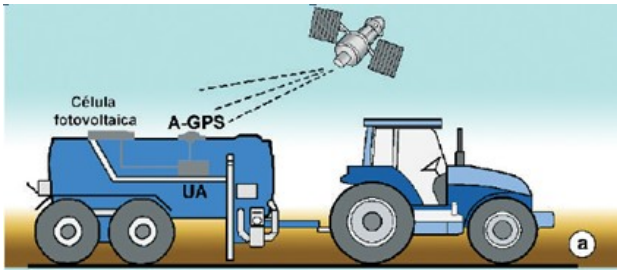


Figura 7- Controlo de frotas e máquinas agrícolas
Fonte: Márquez, L. (2009).



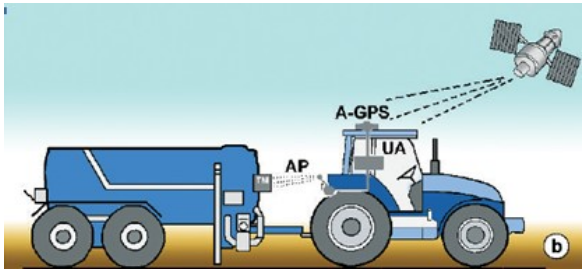


Figura 8- Controlo integral do parque de máquinas.
Fonte: Márquez, L. (2009).

Os sistemas de controlo de frotas utilizam GPSs aos quais se agregam dispositivos que permitem transmitir a posição do equipamento agrícola sabendo-se, assim, onde ele se encontra em qualquer momento.

6- Monitorização das condições atmosféricas

Os computadores permitem aos serviços de agricultura fornecerem informações localizadas sobre as condições ambientais, para que os agricultores controlem a gestão das práticas agrícolas, especialmente os tratamentos das culturas.

A utilização de dados dos Serviços Nacionais de Meteorologia pelos organismos oficiais para, depois de tratados, serem disponibilizados aos agricultores para que estes planeiem as suas atividades é já uma prática comum em todos os países.

Capítulo IX - Sistemas de apoio à condução por GPS

Introdução

Os sistemas de apoio à condução por GPS, embora não possa ser considerada uma ferramenta específica da AP, pois não tem relação com a variabilidade espacial e temporal das culturas, é importante no seu apoio porque, ao permitir um maior paralelismo e equidistância entre passagens, aumenta o rigor na execução das operações culturais e/ou aplicação dos produtos. A não uniformidade no paralelismo e equidistância das passagens conduz à sobreposição ou a falhas na execução dos trabalhos em toda a área ou à sobre ou subdosagem dos fatores de produção, com todos os inconvenientes que daí resultam.

A utilização destes sistemas é vantajosa independentemente de se fazer a monitorização ou mapeamento das culturas e de se utilizarem equipamentos de execução / aplicação modulada.

1- Constituição e funcionamento

Os componentes principais dos sistemas de apoio à condução (Figura 1) são a antena, o recetor dGPS, o controlador e o monitor; este, na condução assistida, pode ser uma barra de luzes, um ecrã ou um sistema de som e, na condução automática, inclui ainda o mecanismo de atuação na direção.

A antena que capta o sinal dGPS deve ser montada no topo do trator ou alfaia, pois o local de instalação é importante para a captação do sinal; este dispositivo deve ser montado num local que permita ver o céu sob todos os ângulos.

O recetor dGPS determina a localização do veículo e envia essa informação para o controlador e este para o monitor de apoio à condução permitindo o delineamento da rota de navegação correta. A correção diferencial do sinal GPS é fundamental para o desempenho do sistema pois, sem correção, os dados não têm precisão suficiente para este tipo de utilização; nas situações em que se verificam erros superiores a 10 m não é viável a sua utilização pois, para a maioria das aplicações, é necessário que o erro de posicionamento seja menor que 10 cm. O fornecimento da correção diferencial tem de ser em tempo real para o que existem diversas formas de obtenção do sinal que podem ser utilizadas isoladamente ou combinadas. O EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) é uma fonte de sinal de correção diferencial disponível em tempo real e gratuitamente, proporcionando erros compatíveis com a utilização da condução por GPS; no mercado existem disponíveis sinais de correção diferencial, via rádio, sujeitos a subscrição paga.

Um aspeto importante do recetor dGPS nestes sistemas é a sua taxa de atualização, isto é, o número de vezes por segundo que o recetor envia o posicionamento ao controlador. A maior parte dos sistemas de condução assistidos por GPS necessitam de uma taxa de atualização de, pelo menos, 5 Hz, ou seja, o recetor deve enviar o posicionamento do veículo ao controlador 5 vezes por segundo.

Alguns sistemas integram a antena e o recetor dGPS numa só unidade compacta onde se ligam os cabos da alimentação e da antena.

Para além destes componentes alguns sistemas permitem adicionar outros dispositivos, nomeadamente armazenadores de dados (“data logger”) que gravam, por exemplo, as trajetórias e os pontos de interrupção das operações culturais, visualizadores dos dados armazenados, dispositivos para introdução de informação relativa à parcela como, por exemplo, localização de zonas pedregosas e zonas infestadas; o controlador e o armazenador de dados podem estar combinados numa só unidade.

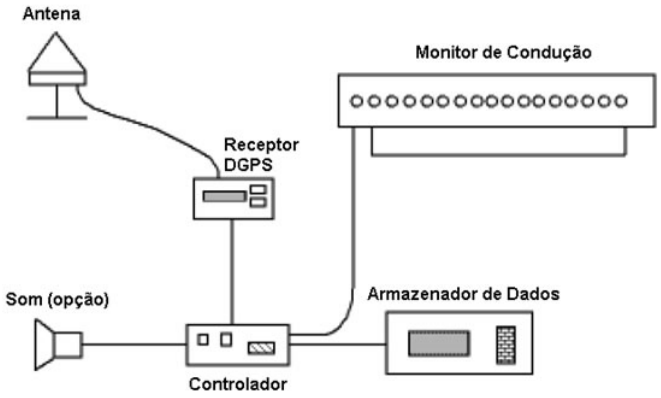


Figura 1- Componentes básicos de um sistema de apoio à condução por GPS com barra de luzes
Fonte: Sullivan e Ehsani (2002)

Figura 2- Comparação entre a utilização de um sistema tradicional (esquerda) e de um com condução assistida por GPS (direita)
Fonte: Márquez, L. (2009).

2- Sistemas de apoio à condução

Os sistemas de apoio à condução podem ser identificados como:

- de condução assistida por GPS;
- de condução automática por GPS.

2.1-Sistemas de condução assistida por GPS

Os sistemas de condução assistida por GPS podem utilizar deferentes monitores de condução, nomeadamente, os de barra de luzes, de ecrã e sistemas de som. Nos sistemas mais simples de barras de luzes existe apenas uma linha de luzes horizontal, em que a luz central, que tem geralmente uma cor ou forma diferente das restantes, indica que o veículo se encontra na direção desejada; quando esta se desvia as luzes laterais acendem-se sucessivamente em número tanto maior quanto maior for o desvio.

Na maioria dos equipamentos, os avisadores luminosos indicam o sentido em que aqueles se devem deslocar para voltar à direção pretendida; se o conjunto se desviar para a direita, as luzes da esquerda da barra vão acender-se indicando ao operador que deve desviar o trator nesse sentido e vice-versa. O papel desempenhado pelo operador é, assim, o de rodar o volante para manter acesa apenas a luz central.

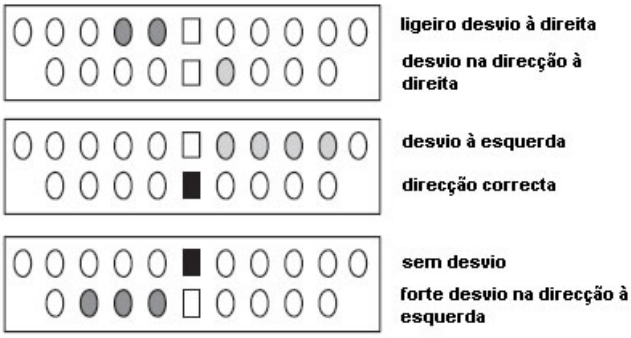


Figura 3- Representação das indicações dadas ao operador pelo monitor de condução.
Fonte: Márquez, L. (2009).

Os operadores menos experientes ao tomarem como referência apenas a barra de luzes, sem ter em consideração as cabeceiras das parcelas, podem fazer com que o trator se movimente em zig-zag, conduzindo a erros de sobreposição e falhas superiores aos que a não utilização do sistema conduziria. Para contornar esta situação é boa prática não olhar direta e constantemente, para a barra de luzes, mas para a cabeceira no sentido da qual o trator se desloca e apenas por visão periférica tomar as indicações da barra de luzes. A sensibilidade do sistema aos movimentos do trator pode ser ajustada, permitindo que a aproximação ao alinhamento seja mais suave.
A portabilidade da maior parte dos sistemas de condução assistida por GPS é total, desde que o equipamento seja adquirido à parte e não de série como parte integrante do trator.

Figura 4- Sistema de visualização para apoio à condução (condução assistida)
Fonte: Márquez, L. (2009).

Estes sistemas permitem, assim, manter o paralelismo das linhas durante as operações culturais e voltar ao local onde foi interrompida a operação obtendo-se um maior rigor na aplicação dos fatores de produção; com sistemas dGPS obtém-se uma precisão de ± 10 cm e com sistemas RTK ± 2 cm (sistema de correção colocado no solo e que usa o efeito Doppler para determinar o desfasamento da onda).). Os sistemas RTK são também designados por GPS cinemáticos, pois permitem determinar as posições de um recetor pelo desfasamento do sinal entre a onda transmitida e a recebida.

2.2- Sistemas de condução automática por GPS

Nos sistemas de condução automática por GPS o operador fica totalmente liberto da tarefa de dirigir o trator/máquina, já que esta é garantida por um sistema de atuação direta nos hidráulicos da direção ou no volante.

Os sistemas de condução automática, com atuação direta no sistema hidráulico, são mais precisos e permitem que as voltas nas cabeceiras sejam feitas em modo automático, mas são mais caros e impedem a portabilidade entre tratores.
Os sistemas de condução automática, com atuação direta no volante (Figura 5), são constituídos por um motor elétrico que, através de uma roda de fricção, faz a orientação do volante de acordo com os desvios indicados pela barra de luzes. Não sendo necessária a atenção do operador para a condução este poderá dedicar a sua atenção ao que realmente é importante, ou seja, à qualidade do trabalho efetuado, ao abastecimento do distribuidor, etc.
Os sistemas com atuação no volante, geralmente vendidos como "upgrade" dos sistemas de condução assistida, são bastante mais baratos que os que atuam diretamente no sistema hidráulico da direção e podem ser utilizados em vários tratores. Nestes sistemas a portabilidade, embora elevada, não pode ser considerada total, já que o motor elétrico, montado num suporte específico, tem de ser corretamente ajustado ao diâmetro do volante de cada trator.

A **B**

Figura 5- Sistema de condução automática com atuação no volante por um motor elétrico.
Fonte: Sullivan e Ehsani (2002)

Os sistemas de condução automática, com atuação no volante, são totalmente seguros já que sempre que o operador agarre o volante, este deixa automaticamente de ser controlado pelo motor elétrico podendo o operador desviar o trator de eventuais obstáculos no terreno, regressando mais tarde, ao voltar a accionar a condução automática, à linha de passagem desejada. Nas cabeceiras a condução automática tem de ser interrompida uma vez que tem de ser o operador a alinhar o trator com a passagem seguinte, de acordo com a largura de trabalho; quando o trator estiver alinhado o operador apenas terá de voltar a accionar o sistema automático e o trator deslocar-se-á para a linha pretendida.
Em resumo nos sistemas de condução automática o GPS é utilizado para controlar o sistema hidráulico da direção ou o volante, tendo o operador como funções definir o início e fim da primeira linha e dar as voltas nas cabeceiras; o sistema GPS estabelece a distância entre linhas necessária à operação em causa.
Para além dos sistemas de apoio à condução com GPS existem outros, nomeadamente os óticos, que podem ser usados em várias situações (Figura 6).

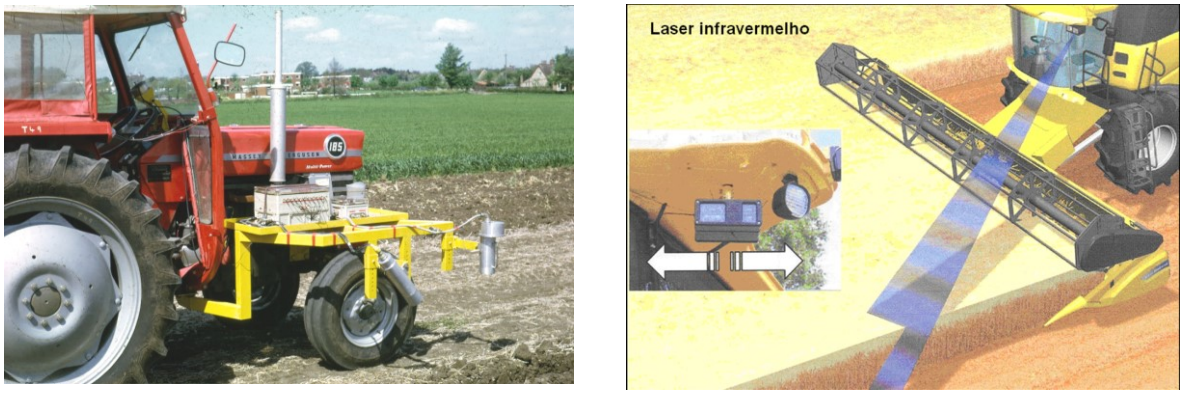
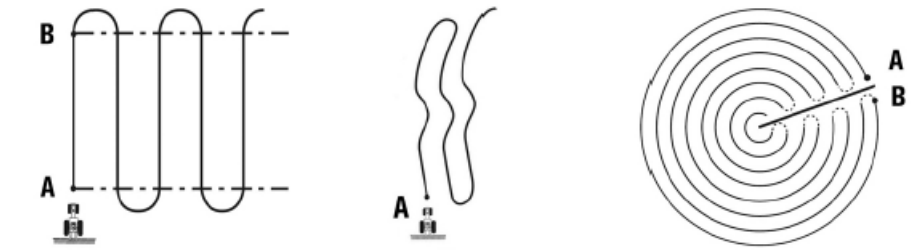


Figura 6- Sistema de condução automática com meios óticos
Fonte: Márquez, L. (2009).

3- Utilização dos sistemas de apoio à condução

A utilização dos sistemas de apoio à condução por GPS tem como principal objetivo a definição de trajetórias em linhas retas ou curvas no interior das parcelas. Nas trajetórias em linhas retas o operador introduz a largura de trabalho assumindo o sistema este valor para as passagens seguintes, ou seja, o operador define a primeira passagem A-B (figura 7A), sendo as restantes trajectórias geradas automaticamente pelo sistema; nas cabeceiras o operador conduz o trator em direção ao trajeto seguinte sendo a linha da trajectória indicada pelo sistema. Em relação às linhas curvas ou concêntricas, o operador conduz o trator até à primeira cabeceira finda a qual o sistema "guia" o trator segundo o trajeto inverso tendo como referência o trajeto inicial e a largura de trabalho.



A **B** **C**

Figura 7- Padrões de condução pré-definidos nos sistemas de condução apoiados por GPS.
A- Linhas retas, B- Linhas curvas, C- Linhas concêntricas.
Fonte: Stombaugh (2002)

Para além da informação relativa às trajetórias estes sistemas podem dar indicações sobre a operação em curso, nomeadamente no que se refere à área trabalhada, velocidade, número de passagens, local onde o trabalho foi interrompido ("waypoint"), etc.

4- Vantagens dos sistemas de apoio à condução

Para além das vantagens já referidas, relacionadas com a maior uniformidade na execução das operações e distribuição dos fatores de produção, os sistemas de apoio à condução permitem ainda:
- aumentar a velocidade (rendimentos) de trabalho, permitida pela maior precisão das trajetórias;
- aumentar a eficiência de campo (rendimento) resultante do maior aproveitamento da largura de trabalho;
- controlar as trajetórias nas sementeiras efetuadas a lanço e distribuição centrífuga dos adubos;

- utilização dos equipamentos independente das condições de visibilidade;
- eliminar erros que resultam de paragens durante o trabalho;
- registar as operações efetuadas, determinar a área trabalhada, etc.

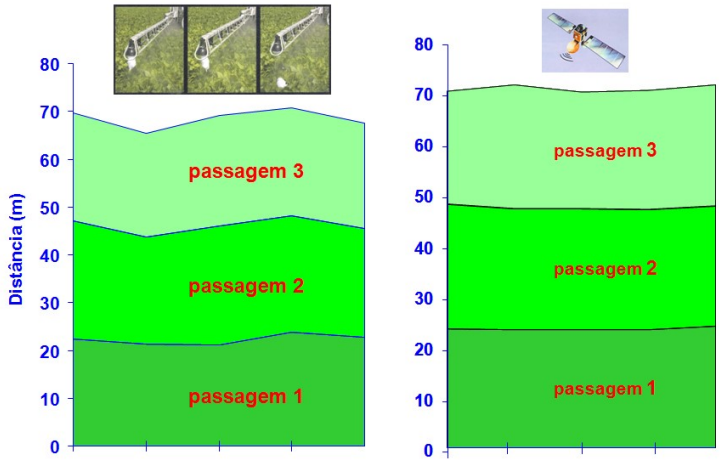
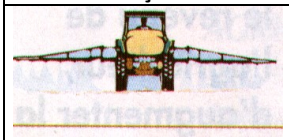


Figura 8- Comparação entre passagens consecutivas obtidas com um sistema tradicional e com um sistema de apoio à condução por GPS.
Fonte: Márquez, L. (2009).

Do referido pode-se afirmar que os sistemas de apoio à condução são soluções tecnicamente vantajosas para parcelas e explorações com uma certa dimensão devendo-se, no entanto, considerar os ganhos que resultam da sua utilização; em parcelas de pequena dimensão ou de configuração irregular a sua utilização torna-se redundante.

Anexos

Anexo 1- A agricultura de precisão: objetivos, evolução dos equipamentos e linhas de investigação

	Principais avanços dos métodos de racionalização para decisão	**Principais evoluções dos materiais**	**Objetivos da investigação**
Trabalho do solo	- Escolha da técnica (lavoura ou não lavoura) conforme o tipo de solo e rotação	- Polivalência dos materiais para se adaptarem às variações das condições tendo em consideração o ano e as parcelas.	- Regulação automática das alfaias de preparação da cama de sementeira, conforme o estado do solo e a cultura a semear.
Sementeira	- Escolha da variedade e densidade da sementeira, em conformidade com o meio e as condições da sementeira (data e estado da cama da sementeira); - Tratamento das sementes	- Aumento de precisão dos semeadores de cereais; - Sementeiras de precisão para os cereais.	- Modulação das doses durante a sementeira conforme o tipo (textura, profundidade, etc.) e o estado do solo (fraccionamento, humidade, etc.)
Fertilização azotada	- Racionalização da dose em conformidade com o rendimento e método de determinação do N. - Adaptação da dose às necessidades da cultura - Consideração pelos efluentes.	- Qualidade do trabalho dos distribuidores centrífugos; - Controlo da qualidade de espalhamento dos distribuidores centrífugos (dose e repartição)	- Modulação das doses na parcela conforme as caraterísticas do solo (tipo, profundidade), etc.), a história da parcela e o estado da cultura "medido" em tempo real.
Fertilização P e K	- Racionalização da fertilização à cultura e/ou tipo de solo e em confor-midade com os itinerários técnicos	- Melhoria da distribuição nos distribuidores centrífugos.	- Modulação das doses na parcela em conformidade com o teor de elementos.
 **Herbicidas**	- Ajuste da aplicação dos herbicidas à rotação - Modulação das doses e volumes.	- Sistemas que limitem a deriva dos herbicidas.	- Aplicação dos produtos só nas zonas com infestantes
Fungicidas	- Utilização de modelos de previsão, "kits" de diagnóstico, observação etc.; - Modulação das doses e seu fraccionamento.	- Sistemas que limitem a deriva dos fungicidas.	- Deteção precoce dos ataques das pragas e doenças.

Fonte: Adaptado de Perpectives Agricoles nº 222 - Mars 1997.

Anexo 2- Componentes de um sistema de AP

		Tipo de componente	Sistema operacional				Sistema manejo información
			Monitorización			CTR	
			AMBI	PROD	OPER		
A	1	Sensores para la medida de los parámetros químicos y físicos del ambiente y de la situación productiva	■■■	■■■	■■■	■■■	●
	2	Sistemas de identificación	●	■■	■■■	■	●
	3	Dispositivos de detección próxima o remota (ground sensing o remote sensing)	■	■■■	●	■	●
	4	Dispositivos actuadores para la regulación y automatización del funcionamiento de la máquina o apero, incluidos los sitemas de dosificación variable de factores (VTR *Variable Rate Technologies*)	●	●	●	■■■	●
B	5	Dispositivo para el control del tránsito (Gate Detecting)	●	●(c) ■■(g)	■■	●	●
	6	Sistemas GPS	■	■	■■■		●
	7	Sistemas DGPS		■■		■■■	●

●) no previsto
■) no indispensable, aunque potencialmente útil
■■) aconsejado, seguramente útil
■■■) necesario, extremadamente útil

c) cultivos
g) ganadería

AMBI: ambientales
PROD: productivas
OPER: operativas
CTR: control operativo

		Tipo de componente	Sistema operacional				Sistema manejo información
			Monitorización			CTR	
			AMBI	PROD	OPER		
C	8	Ordenador portátil (con funciones de recogida de datos)	■■	■■	■■■	■■■	●
	9	Ordenador fijo	■■	■■	■■	●	■■
	10	Redes de comunicación (Intranet local o Internet)	■	■	■	●	■■
	11	Sistemas de comunicación y transferencia de datos (CAN Bus, transmisiones en radio frecuencia, soluciones wireless o bluetooh, etc.)	■■	■■	■■	■■■	■
D	12	DBMS (*Database Management Systems*)	■■■	■■■	■■■	■	■■■
	13	GIS (*Geographical Information Systems*) incluidos procedimientos eventuales de soporte a la representación y e elaboración de datos cartográficos (geo-estadística, geo-referenciación, corrección de imagen)	■■■	■■■	■■■	■	■■■
	14	Paquete de software multifuncional y para las aplicaciones específicas (estadísticas, análisis de costes, prescripciones de abonado, análisis de imagen, diagnóstico multiespectral, etc.)	■■	■■	■■	●	■■■

●) no previsto
■) no indispensable, aunque potencialmente útil
■■) aconsejado, seguramente útil
■■■) necesario, extremadamente útil

c) cultivos
g) ganadería

AMBI: ambientales
PROD: productivas
OPER: operativas
CTR: control operativo

Fonte: F. Mazzetto; Universitat de Milán.

Anexo 3- Sensores atualmente disponíveis ou em desenvolvimento

Parâmetros medidos	Princípio da medição	Observações	Origem: trabalhos em curso ou sociedades comerciasi
No solo:			
Profundidade do solo	Resistividade elétrica	Utilizada para estudos pedológicos	Desenvolvido pelo CNRS de Garchy
	Condutividade eletromagnética do solo	Necessita de material de medição específico	Desenvolvido na Universidade do Missouri, USA.
Teor em MO	Refletómetris (sinais infravermelhos)	A medição só considera a taxa à superfície do solo	Desenvolvido na Universidade de Pardue, USA.
Estrutura do solo	Força de tração durante a lavoura	A medição depende de outros parâmetros, como a humidade e textura	Desenvolvido na Universidade de Wageningen, Holanda
	Radar (Ground-penetrating radar)	Necessita de material de medição específico	Desenvolvido no Natural Ressources Conservation Service. USA
Grau de fragmentação da cama de sementeira	Telemetria, análise de imagem	Esta informação pode ser utilizada para regulação da alfaia de mobilização ou para regular o semeador	Desenvolvido no CEMAGREF Antony, França
Medição da humidade do solo	Indução eletromagnética	Necessita de material de medição específico	Desenvolvido na Universidade de Minnesota, USA
	Refletometria (próximo dos infravermelhos)	Informação só dos primeiros cm do solo	Várias instituições em Inglaterra e USA
pH	Elétrodos rápidos, refletometria	Medição só dos primeiros cm do solo	Desenvolvido na Universidade de Pardue, USA
Teor em elementos minerais	Elétrodos rápidos, refletometria	Medição só dos primeiros cm do solo	Vários trabalhos em todo o mundo
Na planta:			
Medição da taxa de cobertura da cultura	Refletometria	Estimativa indireta da biomassa	Vários trabalhos em todo o mundo
Medição do teor de clorofila	Refletometria	Estimativa indireta do teor de nitratos contidos na planta	Em desenvolvimento pela sociedade Norsk-Hydro
Contagem e distância entre plantas (tipo milho)	Células fotoelétricas ligadas a um radar para medir a velocidade	A medição efetua-se durante a recolha. A informação permite explicar em parte a variabilidade do rendimento	Desenvolvido na Universidade de Illinois, USA
Contagem do número de espigas (cereais de palha)	Análise de imagem	Uma carta do nº de espigas / m2 permite explicar, em parte, a variabilidade do rendimento	Desenvolvido pelo ENITA de Bordéus
Outros:			
Localização das infestantes	Reflexão de um sinal infravermelho	Identificação do tipo tudo ou nada utilizado entre culturas	Comercializado nos USA pela sociedade Concord
Parâmetros climáticos	Estações meteorológicas automáticas ligadas em rede	Determinam a variabilidade climática à escala de várias explorações (previsão de doenças, explicação da variabilidade, ...)	Comercializado pela Hardi na Dinamarca e por várias empresas nos EUA

Fonte: Adaptado de Perpectives Agricoles nº 222 - Mars 1997.

Anexo 4- Principais sensores utilizados em AP

Tipos de sensores	Princípios e marcas	Informações fornecidas	Notas
Informações sobre plantas			
Rendimento de grão	Medição do fluxo ou do volume do grão, com diferentes princípios conforme as marcas (Case-IH, RDS, John-Deere e Massey - Ferguson)	Associado a um recetor GPS, a informação fornecida pelo sensor permite a realização de mapas de rendimento	Mesmo se a precisão dos monitores de rendimento pareça suficiente para a realização de mapas de rendimento fiáveis, a informação que fornecessem deve ser utilizada com prudência
Rendimento da beterraba	Medição do peso em movimento (Klein)	Associado a um recetor GPS, a informação dada pelo sensor permite a realização de cartas de rendimento	As cartas realizadas correspondem à soma do peso da beterraba e à tara, pelo que é necessário prudência em relação à informações fornecida.
Informações sobre o solo			
Zonas com grandes contrastes	Medição da condutividade elétrica do solo (Sté Véris)	A informação fornecida pelos sensores, associada ao recetor GPS, permite realizar cartas de rendimento que põem em evidência os resultados das variações dos parâmetros físicos e químicos do solo	Este tipo de cartas fornece uma informação global sobre as zonas com fortes contrastes o que pode ser útil para orientar a tomada a recolha de amostras do solo para medição “direta ” dos seus parâmetros físicos (profundidade, textura, compactação, etc.)
Teor de MO	Medição da refletividade por IV (Sté Tyler *)	O sensor permite, em tempo real, medir a taxa de MO à superfície do solo	A sociedade Tyler utiliza este tipo de captador para a aplicação modulada de herbicidas e adubos em função do teor de MO detetado pelo sensor
Parâmetros químicos	Elétrodo “rápido” rolante /Sté Crop Technology)	O captador permite medir, em tempo real, o teor de MO, a capacidade de troca catiónica, a humidade do solo e o teot em nitratos, nos primeiros centímetros do solo	Este tipo de sensor é utilizado para modular a aplicação de adubos. A medição limita-se aos primeiros centímetros de profundidade.
Informações sobre infestantes			
Deteção da presença da vegetação	Medição da refletividade por IV (Detectspray comercializada nos EU e Austrália pela sociedade Concord *)	O captador permite, em tempo real, detetar a presença da vegetação em relação ao solo nu ou coberto de resíduos vegetais.	A associação de um captador a cada bico do pulverizador permite o tratamento completo entre culturas
Informações “globais” sobre o meio			
Fotos aéreas ou imagens de satélites	Medição da refletividade da luz natural nas diferentes gamas de comprimentos de ondas	A informação fornecida permite por em evidência a heterogeneidade da parcela resultante do estado do solo, dos estados de desenvolvimento ou fisiológico das plantas (stress hídrico, doenças, etc.)	As imagens dos satélites e fotos aéreas podem-se referir: - a anos anteriores (histórico), - ao ano em curso.

Fonte: Perpectives Agricoles nº 234_14

Anexo 5- Comportamento espetral da vegetação a vários comprimentos de onda VIS- visível; IVP- infravermelho próximo; IM- infravermelho médio

As propriedades físicas da FOLHA	Interação da REM e a FOLHA
- no VIS -> Pigmentos - no IVP -> arranjo espacial do mesofilo - no IVM -> moléculas de água	no VIS -> absorção pelos cloroplastos no IVP -> retroespalhamento - variação de coeficiente de refração entre os espaços inrtercelulares e os espaços aéreos o IVM -> absorção pelas moléculas de H_2O presente nas células

Fatores que interferem nesta interação	A Reflectância tem relação:
- idade das folhas - outras variáveis fenológicas - arquitetura dos indivíduos - porcentagem de solo exposto - porcentagem de necromassa	- DIRETA com: - Índice de Área Foliar - Fitomassa foliar verde - INDIRETA com: - Pigmentos na célula - Teor de água na célula

Fonte: Bitencourt, M.
http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=%22defini%C3%A7%C3%A3o%20de%20sensoriamento%20remoto%22&source=web&cd=1&ved=0CB0QFjAA&url=http%3A%2F%2Feco.ib.usp.br%2Flepac%2Fbie426%2FAulasTodas.pdf&ei=IRC0Tq3oFMGj8QPh3P3mBA&usg=AFQjCNGuTp6wCEHjrH0J-yJ97HNP9hvaUw&cad=rja

Anexo 6- Principais parâmetros e sua forma de obtenção para as diferentes operações culturais

Operação cultural	**Principais parâmetros a ter em consideração**	**Meios disponíveis**	
		Atuais	**Futuros**
Trabalho do solo	textura	- cartas de solo; - sondagens manuais com uma malha pré-determinada; - sondagens manuais efetuadas a partir de cartas de rendimento, fotografia aérea, imagens de satélite, etc.,	- sondagens manuais com uma malha orientada a partir de carta de resistividade ou condutividade elétrica.
	compactação	- apreciação visual a partir de fotografias aéreas ou imagens de satélite históricas	- sondagem manual com uma escala orientada a partir de uma carta de resistividade ou condutividade elétrica; - captador existente num equipamento para medição de forças, onda de radar penetrante, etc.
	grau de fragmentação	- sondagem manual com uma malha fixa predeterminada	- captador existente num equipamento para medição do tipo de telemetria, análise de imagens, etc.
Sementeira	textura	- ver o trabalho do solo / textura	- ver o trabalho do solo / textura
	grau de fragmentação	- sondagem manual com uma malha fixa pré-determinada	- ver o trabalho do solo / grau de fragmentação
	profundidade do solo	- ver trabalho do solo / textura	- sondagem manual com a malha orientada a partir de uma carta de resistividade ou condutividade elétrica, cartas de rendimento, imagens de satélite, fotografias aéreas, etc.
Correções cálcicas	pH	- sondagem manual com malha fixa pré-determinada	- captador do tipo “elétrodos rápidos” montados nos equipamentos (medição de superfícies)
Fertilização fosfo-potásica	teor em P e K	- sondagem manual com malha pré-determinada	- captadores do tipo “elétrodos rápidos” montados nos equipamentos (medição de superfícies)
Fertilização azotada	objetivo do rendimento	- carta de rendimento	- carta de rendimento
	azoto no solo	- sondagem manual com malha pré-determinada	- captadores do tipo “elétrodos rápidos” montados nos equipamentos (medição de superfícies)
	estado do azoto da cultura	- sondagem manual com malha fixa pré-determinada; - sondagem manual orientada a partir de fotografias aéreas ou imagens de satélite.	- imagens de satélite; - captadores montados nos equipamentos para medição da taxa de clorofila
Controlo de infestantes	presença de infestantes	- área da parcela	- captador de infestantes montado nos equipamentos
Combate a doenças	presença das doenças	- área da parcela	- imagens de satélite ou fotografias aéreas
Rega	textura	- ver o trabalho do solo / textura	- ver o trabalho do solo / textura
	profundidade do solo	- ver a sementeira / textura	- ver a sementeira / textura

Fonte: Boisgontier, D. (1998). Agriculture de précision. Comment la pratiquer dès aujourd’ hui. Perpectives Agricoles nº 236

Anexo 7- Gestão de dados

Información o dato	Frecuencia de adquisición	Utilización y finalidad	Operación que cumplir
MONITORIZACIÓN AMBIENTAL			
Mapa topográfico	Una vez	Posicionamiento geográfico, situación general	Digitalización del mapa, importación sobre GIS
Definición de las parcelas	Una vez	Posición geo-referenciada, medida de la superficie, base de datos sobre la parcelación	Digitalización del mapa, o medida topográfica directa (convencional o GPS), importación sobre GIS
Perfil altimétrico de las parcelas	Una vez	Orientación de las parcelas	Medida topográfica directa (convencional o GPS), importación sobre GIS
Posicionamiento de las líneas	Una vez	Situación geo-referenciada de las líneas en la parcela	Medida topográfica directa (convencional o GPS), importación sobre GIS
Mapa de suelos (texturas)	Una vez	Mapa de suelos geo-referenciado de las parcelas	Análisis físico del terreno mediante muestreo, elaboración geo-estadística de datos, importación a GIS
Datos meteorológicos	Diaria (control continuo)	Previsión y planificación de las intervenciones culturales	Archivo y consulta de la base de datos
Nutrientes del suelo	Anual o plurianual	Situación geo-referenciada de los nutrientes en cada zona	Análisis químico del terreno mediante muestreo, elaboración geo-estadística de datos, importación a GIS

Información o dato	Frecuencia de adquisición	Utilización y finalidad	Operación que cumplir
MONITORIZACIÓN OPERATIVA			
Ejecución de operaciones	Periódica (control continuo)	Recogida y organización de las actividades (cuaderno de campo): análisis de tiempos y métodos de trabajo	Registro de datos de las operaciones efectuadas (manual o automático), activación y consulta de la base de datos
Volumen/dosis de factores productivos distribuidos	Periódica	Geo-referencia de la cantidad de factores productivos distribuidos en la parcela, prescripción para el futuro	Registro con elaboración geo-estadística de datos, importación al GIS
MONITORIZACIÓN PRODUCTIVA			
Observaciones fenológicas	Periódica	Monitorización de la fase productiva y del estado fitosanitario, adaptación de las técnicas culturales	Recogida de datos e importación al GIS
Sensores remotos	Una vez o periódica	Diferenciación de zonas homogéneas con respecto a parámetros representativos; estimación de cosecha	Digitalización e importación al GIS, análisis del espectro multi-banda
Producción	anual	Conocimiento de la producción real, eficiencia de los factores utilizados, pérdidas de cosecha, detección de problemas	Medida de la producción en continuo, elaboración geo-estadística de datos, importación al GIS

Fonte: F. Mazzetto; Universitat de Milán.

Bibliografia

Agostini, R. (2005). Sistemas de aquisição de dados geoposicionado aplicado à medida da resistência ao corte do solo. http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/7137/000539644.pdf?sequence=1

AGSM 489 ( ). GIS Geographic Information System AGSM 489 Lecture 2. 489lec2

Baio, M. (2007). Deteção remota. http://websig.civil.ist.utl.pt/jmatos/Modules/StandardToolkit/Documents/ViewDocument.aspx?Mid=744&ItemId=36

Berry, B. (2008). So Where Is Precision Ag? a brief history, current expression and future directions. http://www.innovativegis.com/basis/present/AgNeb07/NeATA_Keynote07.pdf

Berry, J. (2000). Analyzing Precision Ag Data.

Bitencourt, M.D. ( ). Sensoriamento remoto e geoprocessamento nos estudos da vegetação. http://ecologia.ib.usp.br/ecovegetal/aulas/teorica/SensoriamentoRemotoMarisa.pdf

Brandão, Z. (2012). Determinação dos índices de vegetação usando imagens de satélite para agricultura de precisão. http://www.cnpa.embrapa.br/produtos/algodao/publicacoes/trabalhos_cba5/409.pdf

Brixey, K. (2002). Precision Agriculture at University of ILLinois, TX A&M. http://soil4213.okstate.edu/2002/2002_Student_Presentations/Brixey_Kere.ppt

Bruno, T. (2002). Un point sur la viticulture de precision. http://www.transferts-lr.org/content/download/16056/163133/version/2/file/M4+Tisseyre+Bruno.pdf

Caetano, M (2008). Cartografia temática de ocupação do solo (IGP). http://www.igeo.pt/gdr/pdf/clc_cartograf.pdf Crager, S. (2008). Geospatial techniques and agriculture. How GPS and GIS are helping improve Ag Industry. http://www.authorstream.com/Presentation/Silvestre-44365-crager-xmastree1-Geospatial-Technologies-AgricultureHow-GPS-GIS-Helping-Improve-Ag-Industry-Sean-Crage-xmastree-Education-ppt-powerpoint/

CRSC (2004). Remote sensing. http://www.docstoc.com/docs/74991293/Remote-Sensing-What-is-Precision-Agriculture

Delenne, C. (2006). Extraction et caractérisation de vignes à partir de données de télédétection à très haute resolution spatial http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/13/04/07/PDF/These_DELENNE.pdfDan Frank, D.; Spiess, M. (2002). Soil sampling.

Dimitrios, D. (2003). The European Approach to Augmented Satellite Based Positioning Systems and Application in Precision Agriculture http://scholar.google.pt/scholar?q=The+European+Approach+to+Augmented+Satellite+Based+Positioning&hl=pt-BR&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholart

Donald, T. ( ). Precision Agriculture and Precision Forestry. http://www.eng.auburn.edu/users/fultojp/BSEN_Seminar_2006.pdf

Eaton, R. (2008). Precision Guidance of Agricultural Trators for Autonomous Farming. http://www.mendeley.com/research/precision-guidance-agricultural-trators-autonomous-farming-1/

Ehsani, R. (2002). Soil electrical conductivity sensors. http://ohioline.osu.edu/aex-fact/0565.html

ES D.Sancho II ( ). Espetros, radiação e energia. http://luispedro.wikispaces.com/file/view/Apresenta%C3%A7%C3%A3o+espetros+radia%C3%A7%C3%A3o+e+energia.pdf

Ess, D. (2001). Implementing site specific management map- versus sensor based variable rate application http://www.ces.purdue.edu/extmedia/AE/SSM-2-W.pdf

Ferreira, L. (2005). Introdução ao Sensoriamento Remoto Geológico. http://www.ufg.br/lapig

Ferreira, L. (2005). Sensoriamento remoto aplicado à Ciencia Ambiental. http://h200137221230.ufg.br/siadgoias/tutoriais/Sensoriamento_Remoto_geral.pad.pdf

Figueiredo, D. (2005). Conceitos básicos de sensoriamento remoto . Fonseca, A. D. (2003). Introdução à deteção remota.

Francis, D. (2004). Active canopy sensors for Precision Agriculture.Fujikawa, S. (2008). Developing the use of unmanned aerial vehicles in precision agriculture. http://www.google.pt/url?sa=t&source=web&cd=3&sqi=2&ved=0CDQQFjAC&url=http%3A%2F%2Fwww.flcmidatlantic.org%2Fpower_point%2F2008%2Feastern_shore%2FIntelli%2520tech%2520FLC%2520eastern%2520shore.ppt&rct=j&q=Developing%20the%20use%20of%20unmanned%20aerial%20vehicles%20in%20precision%20agriculture&ei=x2ZwTsB8w7qEB9DExLUJ&usg=AFQjCNEbQXNO3ryi6xwyEEUF8YnmUd6wZg&cad=rja

Gautam, R. (2006). Neural network optimization sensed maize leaf nitrogen. Biosystems Engineering 95 (3), 359-370.

Gil, E. (1997). Situación atual y possibilidades de la agricultura de precision.

Godoy, L.. (2009). Medida Indireta da Clorofila. http://www.nutricaodeplantas.agr.br/site/downloads/unesp_jaboticabal/Palestras_2simposio/palestra_12_roberto_villas_boas_2.pdf

Grigera, G. ( ). Forage production monitoring system: parameterization of fPAR and RUE.

Grigera, G. ( ). Monitoring forage production for farmers' decision making . http://www.agro.uba.ar/users/ggrigera/arch/outlineplus1.doc Hernandez, J. (2007). Applications of GIS in Precision Agriculture. http://www.soils.umn.edu/academics/classes/soil4111/files/2008-03-31_handout.pdf

Inc. ( ). Agriculture mechanics and technology cluster. http://www.senecahs.org/pages/uploaded_files/Legal%20Descriptions%20for%20notes.ppt

Inc. ( ). Definição de Sensoriamento Remoto. http://www.google.com/search?q=%22Defini%C3%A7%C3%A3o+de+Sensoriamento+Remoto%22&hl=pt-BR&biw=1280&bih=871&num=10&lr=&ft=i&cr=&safe=images

Inc. ( ). Définition de la caractérisation des terroirs.

Inc. ( ). GPS What is it ? How does it work ?

Inc. ( ). Ìndices espetrais. http://www.google.pt/url?sa=t&source=web&cd=1&sqi=2&ved=0CBsQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.ufrrj.br%2Finstitutos%2Fit%2Fdeng%2Fvarella%2FDownloads%2FIT190_principios_em_agricultura_de_precisao%2FApresenta%2FIndices%2520espetrais.ppt&rct=j&q=%C3%8DNDICES%20ESPETRAIS&ei=Nd6BTtbuIemx0AXFtZC2AQ&usg=AFQjCNHecpAlrHsqsjecRFstuEl8bZBM4w

Inc. ( ). LBB 344 Introduction to Precision Agriculture

José Coelho, J.; Silva, L. e outros (2004). Agricultura de precisão. Inovação e Tecnologia na Formação Agrícola.
http://agrinov.ajap.pt/diapositos/aprecisao_final/Agricultura/Diapositivos_Agricultura_de_Precisao.pdf
http://www.youtube.com/watch?v=pnzJ8VNX6GE

Kahabka, J. (2003). Concepts in Precision Agriculture and Integrated pest Management.
http://www.authorstream.com/Presentation/Semprone-44541-IPMPresentation-Concepts-Precision-Agricultureand-Integrated-pest-Management-Education-ppt-powerpoint/

Kaye, O. (2005). Using Near-Infrared Spectroscopy as an Analytical Tool in Vineyards and Wineries.

Khalilian, A. (2001). Precision ag/Nematode management in S.C.
http://www.cottoninc.com/CropManagementSeminar2006/SeminarProceedings/images/Cotton%20Nematode%20Management%20Utilizing%20Precision%20Agriculture_John%20D.%20Mueller.pdf

Lopes, C. (2008). Viticultura de precisão. Potencialidades e limitações. http://www.i-farm.pt/UserFiles/File/CLopes%20Palestra%20Workshop%20Viti%20precisao_30Jn08.pdf

LTC (). GPS, Golbal Position System
http://www.ltc.ufes.br/geomaticsee/Aula15_Geom%C3%A1tica_GPS.pdf

Luis, A. (2006). Sensoriamento remoto agrícola. http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/lise/2002/06.26.18.13/doc/homepage.pdf

Manes, G. (2004). ICT applications in agriculture from Precision Agriculture to AmI.
http://www.powershow.com/view/9869d-ZDllN/ICT_applications_in_agriculture_from_Precision_Agriculture_to_AmI_flash_ppt_presentation

Marçal, D. (2004). Aquisição de atributos das culturas.
http://www.google.pt/url?sa=t&source=web&cd=2&sqi=2&ved=0CB4QFjAB&url=ftp%3A%2F%2Fwww.ufv.br%2FDea%2FDisciplinas%2FChico%2FEng531%2Fmapeamento_de_atributos_do_solo.ppt&rct=j&q=Daniel%20mar%C3%A7al%20atributos&ei=gtlpTtyfFsPD8QPMmYwO&usg=AFQjCNFPy_NIvhQ_cSk31o4QzOKDdu6roA

Marchal, L. (2003). Agriculture de précision. http://www.cnes.fr/web/CNES-fr/4555-agriculture-de-precision-le-retour-dune-pratique-ancestrale.php

Marquez, L. (2009). Presente y futuro de la Agricultura de Precisión.
http://vinificatum.blogspot.pt/2012/06/presente-y-futuro-de-la-viticultura-de.html

Molin, J. (2010). Oficina de aplicações de GPS de Navegação na Agricultura.
http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&source=web&cd=2&cad=rja&ved=0CDgQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.agriculturadeprecisao.org.br%2Fconteudo-menu.asp%3Fz%3Doficina&ei=Wsf2ULv3IseShgew7oDYBw&usg=AFQjCNEA2iyffz7M2LRoGUDCESoX_nF-TQ&bvm=bv.41018144,d.ZG4

Molin, J. (2010). Precision agriculture. The theory of SSM: overview of concepts and techniques used to identify and manage within field variability. http://ucanr.org/sites/paica/files/36572.pdf

Moreira, M. (2001). Sistemas sensores.
http://www.leb.esalq.usp.br/disciplinas/Topo/leb210/Angulo/sensores.pdf.

Neto, S. (2003). Sistemas de Informação Geográfica na Agricultura.

Neto, M.; Pinto, A.; Coelho, J. (2005). Tecnologias da informação e comunicação e a agricultura. http://www2.spi.pt/agrovalorizacao/docs/Manual_V.pdf

New Holland. Gestão de precisão do terreno na New Holland. http://agriculture.newholland.com/pt/pt/PartsServices/precisionfarming/Pages/GestaodePrecisaodoTerreno.aspx

Nissen, K. (2005).Technical solutions in Precision Agriculture. http://www.google.pt/url?sa=t&source=web&cd=2&sqi=2&ved=0CCEQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.njf.nu%2Ffilebank%2Ffiles%2F20081001%24210444%24fil%24K7BtrNvxt07yJTIY0sh8.pdf&rct=j&q=Knud%20Nissen%20Technical%20solutions%20in%20Precision%20Agriculture&ei=G4BwTuq0H8WM-wbhoJyiCQ&v6u=http%3A%2F%2Fdualstack.ipv6-exp.l.google.com%2Fgen_204%3Fip%3D193.136.157.65%26ts%3D1315995579662630%26auth%3Dbjpoepd3xsq4ongwndumjf5npoduxaaw%26rndm%3D0.8729145363500276&v6s=2&v6t=114624&usg=AFQjCNHVfp4g9Owm5GWZ6mUW-9zFq9-9uw&cad=rja

Norton, R. (2005). Utilizing GPS / GIS Technologies in Arizona Cotton Production Systems. http://ag.arizona.edu/pubs/crops/az1366/az13664a.pdf

Patenaude, G. (2010). Introduction to remote sensing. http://www.forestry.gov.uk/pdf/Introduction_to_Remote_Sensing.pdf/$FILE/Introduction_to_Remote_Sensing.pdfPinto, F. (2000). Processamento de imagens http://www.ufrrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/IT190_principios_em_agricultura_de_precisao/Apresenta/Chico_Processamento%20de%20imagens.ppt

Pinto, F. (2004). Agricultura de precisão; realidade ou mito? http://www.ufrrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/IT190_principios_em_agricultura_de_precisao/Apresenta/Chico_AgP%20realidade%20ou%20mito.ppt

Pinto, F. (2010). Sensoriamento remoto. http://www.sbea.org.br/conbap2010/downloads/27.09_Painel_1-Francisco.Assis.pdf

Pires, E. (2005). Sensoriamento remoto. http://www.cefet-to.org/~erikapires/SensoriamentoRemoto_2011_1_Modulo_IV/Introd_SR_Comp_Espetral.pdf

Plant, R. ( ). Applications of precision agriculture and remote sensing. http://ucanr.org/sites/paica/files/34496.pdf

Prado, A. (2001). Análise da acurácia nos posicionamentos diferenciais aplicando as técnicas DGPS e RTK. Revista Brasileira de cartografia nº 55/01 http://www.researchgate.net/publication/26467955_ANLISE_DA_ACURCIA_NOS_POSICIONAMENTOS_DIFERENCIAIS_APLICANDO_AS_TCNICAS_DGPS_E_RTK

Procisur (2006). Agricultura de precisión: Integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable http://www.procisur.org.uy/data/documentos/135050.pdf.

Prasad, B. (2001). Precision agriculture in plant breedinghttp://soil4213.okstate.edu/2004/Student_Presentations/presentation.ppt .

Price, K. (2007). Using remote sensing to measure vegetation charactheristics in natural and agro-ecosystems. http://kartaonline.org/events/10thconference2007/10thSpeaker/PriceKU_RemoteSensing.pdf

Raynal, M. (2008). Agriculture de précision: un potentiel de technologie au service de la maîtrise qualitative et environnementale de la production viricole. http://www.matevi-france.com/experimentations/0811MATA371VIG.pdf

Rousseau, J. (2009). Utilisation d' images aériennes: application à la caractérisation de vignobles. http://www.icv.fr/documents/Bibliotheque/Biblio_Articles/Articles_Viti/Teledetection_en_viticulture_Vinitech08.pdf

Salem, R. (2007). GNSS for Precision Agriculture. http://galileo.cs.telespazio.it/metis/public/METIS%20Egypt%20Training%20&%20Seminar/Proceedings/8-%20GNSS%20for%20Precision%20Agriculture.pdf

Santos, A. ( ). Geomática aplicada à gestão de recursos hídricos. http://www.mundogeomatica.com.br/SR/MestradoGEOMEA/TrabalhoFinalSIGMEA.doc

Schepers, J. (2008). Approach to Sensor Evaluation. http://www.naicc.org/meeting/2008/Nsensor.pdf

Schepers, J. (2008). N sensor Technology. http://www.naicc.org/meeting/2008/Nsensor.pdf

Seixas, J. (2007). Monitorização de Sistemas ambientais. http://air.dcea.fct.unl.pt/aulas/msa/

Stombaugh (2002). Guidance control of agricultural vehicles at hight field speeds. http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=1241029

Sullivan; Ehsani (2002). Componentes de um sistema de condução assistido por GPS. http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=%3A%20sullivan%20ehsani%20gps&source=web&cd=4&sqi=2&ved=0CDMQFjAD&url=http%3A%2F%2Fagriprecisao.agrinov.wikispaces.net%2F5.2%2BConstitui%25C3%25A7%25C3%25A3o%2Be%2Bfuncionamento&ei=eenETv3WKsnB8QOGsPjlCg&usg=AFQjCNFBZ9ZBTbjN8lfSRHPsUymA1m7pVA

Sullivan; Ehsani (2002). Soil Electrical Conductivity Sensors. http://ohioline.osu.edu/aex-fact/0565.html

Taylor, J. (1999). Precision Agriculture in Australian Viticulture. http://sydney.edu.au/agriculture/acpa/documents/Symposium_1999.pdf

Thomé, A. Fundamentos sobre processamento de imagens. http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CDEQFjAA&url=http%3A%2F%2Fequipe.nce.ufrj.br%2Fthome%2Fp_grad%2Fnn_img%2Ftransp%2Fc1_introd_v1a.pdf&ei=0sX2UMS9NcyAhQfsiIGADw&usg=AFQjCNFNnjE-uUDTkvNPIlGsKNPnpPxVdg&bvm=bv.41018144,d.ZG4.

Vale, M. (2008). Representação espacial 2: dados matriciais. http://www.duke.edu/~mmv3/geomatica/documents/Aula%204%20Teorica%20Dados%20Matriciais.pdf

Vale, M. (2010). Introdução a Geomática para Ecologia. http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CDEQFjAA&url=http%3A%2F%2Fpeople.duke.edu%2F~mmv3%2Fgeomatica%2Fdocuments%2FAula%25201%2520Teorica%2520Intro%2520Cartografia.pdf&ei=dsX2UJ_sKoi4hAfRooGoAw&usg=AFQjCNHflLFtxi-7t3bOU5hS0M0lteToUQ&bvm=bv.41018144,d.ZG4 .

Varella, C. (2005). Geoprocessamento na Agricultura de Precisão. http://www.slidefinder.net/G/Geoprocessamento_Agricultura_Precis%C3%A3o/geo_ap/31699866

Varella, C. (2005). Processamento de imagens digitais na Agricultura de precisão. http://www.google.pt/url?sa=t&source=web&cd=1&ved=0CCcQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.ufrrj.br%2Fi

nstitutos%2Fit%2Fdeng%2Fvarella%2FDownloads%2FIA1328_agricultura_de_%2520precisao%2Fimagens%2520digitais%2Fprocessamento%2520de%2520imagens%2520digitais.ppt&ei=52

Varella, C. (2007). Imagens digitais na Agricultura de Precisão http://www.ufrrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/IT190_principios_em_agricultura_de_precisao/Apresenta/Imagens_digitais_na_agricultura_de_precisao.ppt .

Varella, C. (2007). Mapeamento de produtividade com colhedoras. http://www.ufrrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/IT190_principios_em_agricultura_de_precisao/Apresenta/mapeamento_com_colhedoras.ppt

Varella, C. (2008). Geração de mapas digitais no programa GS+ http://www.ufrrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/IT190_principios_em_agricultura_de_precisao/Apresenta/geracao_de_mapas_digitais.ppt

Varella, C. (2009). Introdução ao estudo da agricultura de precisão. http://www.google.pt/url?sa=t&source=web&cd=3&sqi=2&ved=0CCsQFjAC&url=http%3A%2F%2Fwww.ufrrj.br%2Finstitutos%2Fit%2Fdeng%2Fvarella%2FDownloads%2FIT190_principios_em_agricultura_de_precisao%2FAvaliacoes%2F3a_avaliacao.doc&ei=7lx3TuGLGoPD8QOf_InIDQ&usg=AFQj

Walsh, O.S. (2007). Precision agriculture in Europe. http://www.docstoc.com/docs/53138291/Precision-Agriculture-in-Europe

West Hills College (2004). Remote Sensing. http://www.docstoc.com/docs/74991293/Remote-Sensing-What-is-Precision-Agriculture

West Hills College (2004). The Precision-Farming Guide for Agriculturalists. http://farmofthefuture.org/Chapter_6.ppt

West Hills College (2004). What is Precision Agriculture? http://sydney.edu.au/agriculture/acpa/about/what_is_precision_agriculture.shtml

Wing, M.G. (2009). Geographic Information Systems. Applications in Natural Resource Management. http://www.oupcanada.com/catalog/9780195426106.html

Wood, G. (2006). Precision farming: using remote sensing to manage the application of nitrogen. http://www.silsoe.cranfield.ac.uk/cpf