

ISA



Agricultura Digital

Aula 2 – Introdução à Altimetria, Sensorização e Zonagem

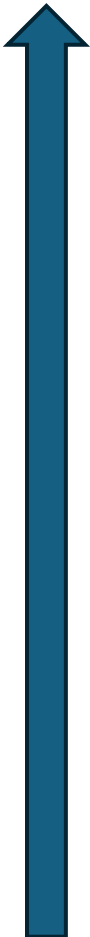


Gonçalo Victorino
gvictorino@isa.ulisboa.pt

Programa

1. Altimetria, Fotogrametria, LiDAR e Modelo Digital de Terreno
2. Global Navigation Satellite System
3. Formato ficheiros SIG & Interpolação
4. Termografia
5. Dados Estação Meteorológica
6. Condutividade Elétrica Aparente do solo e Zonagem

1. Altimetria e Modelo Digital de Terreno



Altimetria

Disciplina da engenharia que estuda e estabelece os procedimentos e métodos de medida de ângulos verticais e diferenças de nível (diferença de alturas) entre pontos do terreno.

Estereoscopia

Processo fisiológico através do qual se obtém uma sensação tridimensional, causada pela fusão numa única imagem de duas fotografias do mesmo objeto tiradas de centros de perspetiva diferentes. A faixa comum entre duas fotografias sucessivas, na direção da linha de voo, é chamada sobreposição longitudinal. Para que uma fotografia seja vista, estereoscopicamente, na sua totalidade, a sobreposição longitudinal deverá ser sempre superior a 50%

Fotogrametria

A arte, ciência e tecnologia que, a partir do registo, medição e interpretação de fotografias aéreas e terrestres, obtém informação fiável sobre os objetos físicos e meio ambiente fotografados. Utiliza modelos matemáticos para descrever as relações geométricas existentes entre os pontos do espaço objeto e as correspondentes imagens e erros do sistema fotogramétrico.

ASPRS(2013). Manual of Photogrammetry.Ed.porJ.ChrisMcGlone.6th.ASPRS-American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, p. 1318. ISBN: 1570830991, 9781570830990.

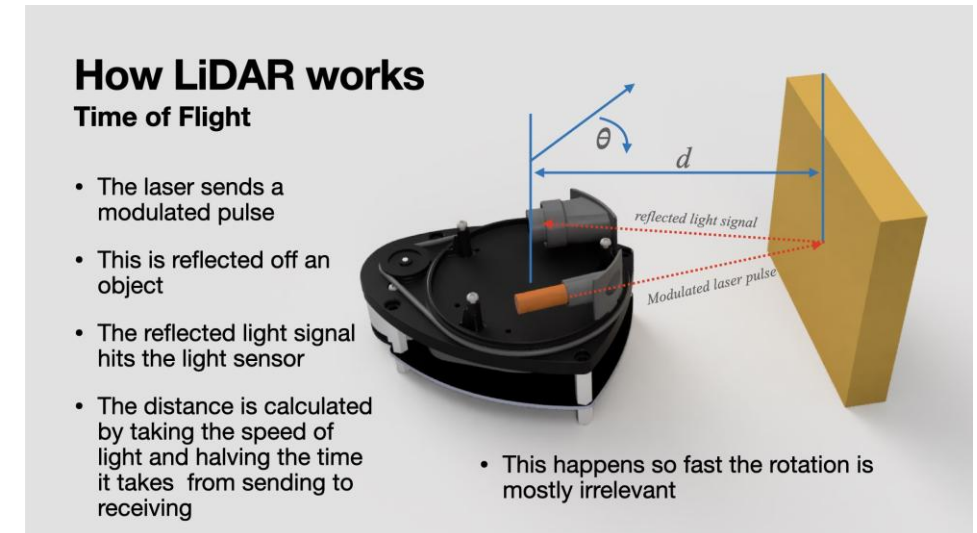
1. Altimetria e Modelo Digital de Terreno

Light Detection and Ranging (LiDAR)

Tecnologia óptica de deteção remota que mede propriedades da luz reflectida de modo a medir a distância de um determinado objecto através de um pulso de laser.

A tecnologia LiDAR é baseada nos mesmos princípios utilizados no sistema de RADAR, com a diferença de que, ao invés do uso de ondas de rádio para localizar os objetos de interesse, o sistema LiDAR utiliza pulsos laser. A tecnologia LiDAR foi inicialmente prevista para a utilização em levantamento de dados para a elaboração de Modelos Digitais de Elevação (MDE)

O LiDAR também é chamado *laser scanning* or *3-D scanning* e tem aplicações terrestres, aéreas e móveis. Quando montado em UTV, pode ser usado para estimar dimensões e arquitetura das plantas, em movimento.

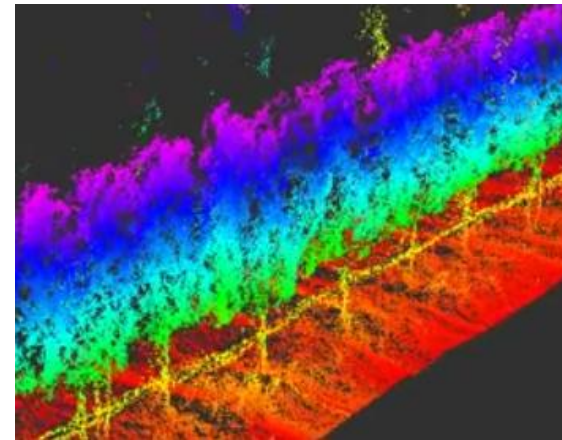
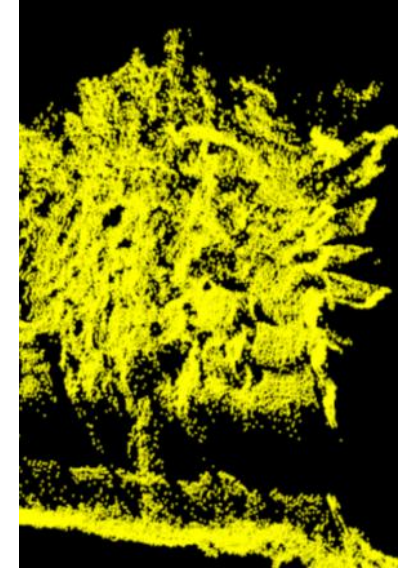
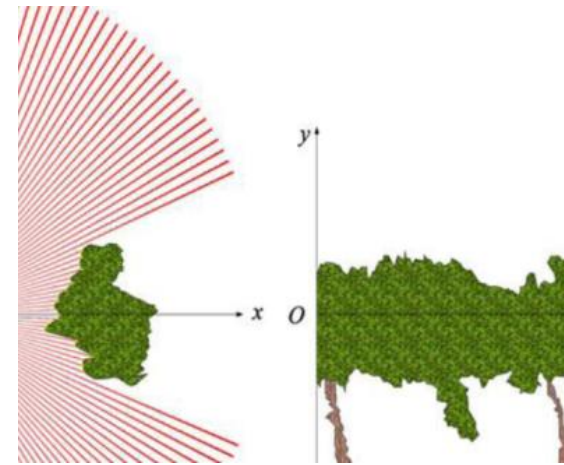


1. Altimetria e Modelo Digital de Terreno



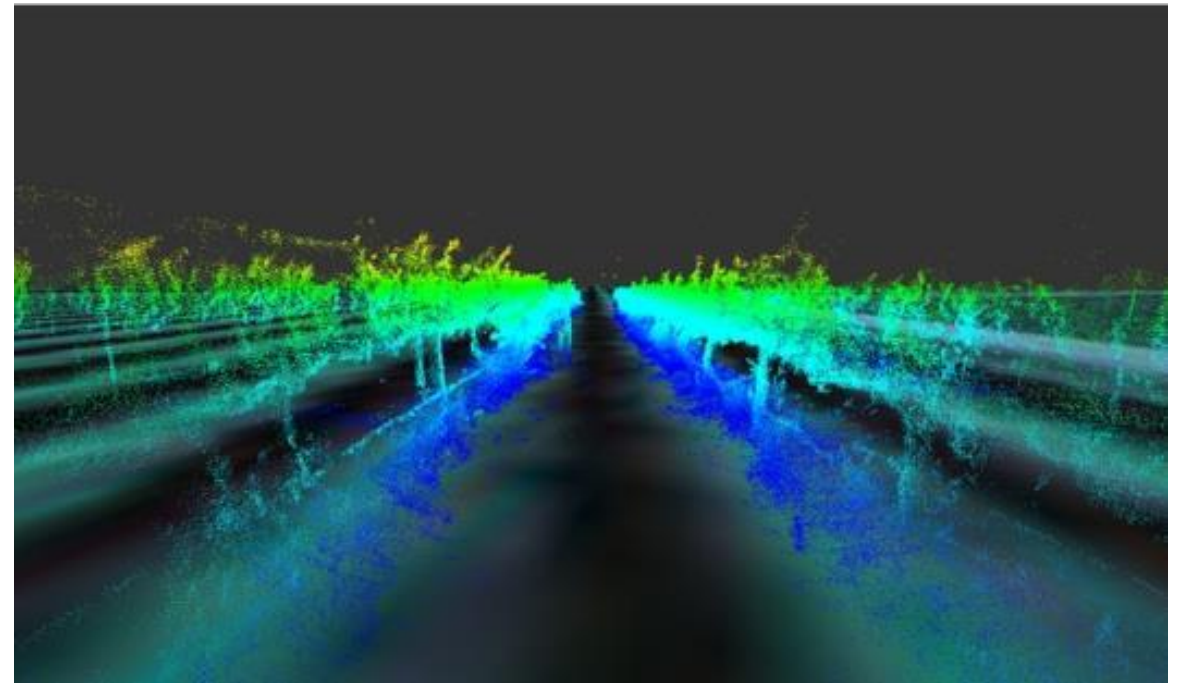
<https://www.youtube.com/watch?v=dOvMDbQKpwQ&t=28s>

Low cost version



1. Altimetria e Modelo Digital de Terreno

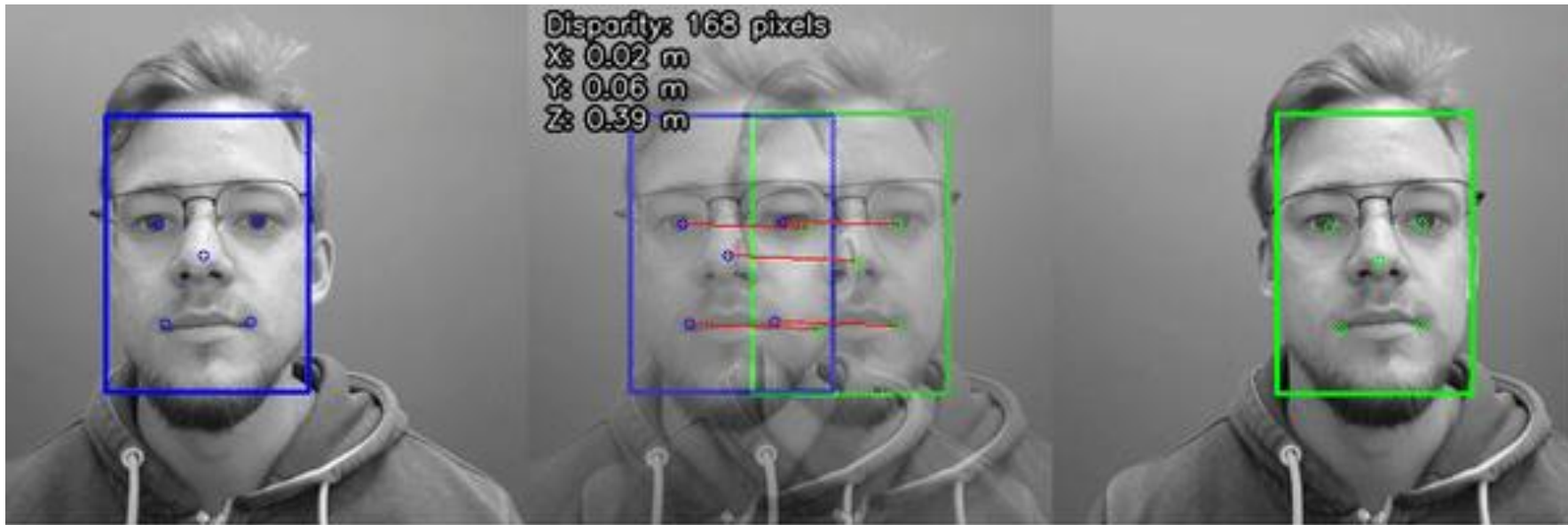
Sensor *Laser Range Finder* para reconstrução 3D da canóia



Fairlie *et al.* (2011)

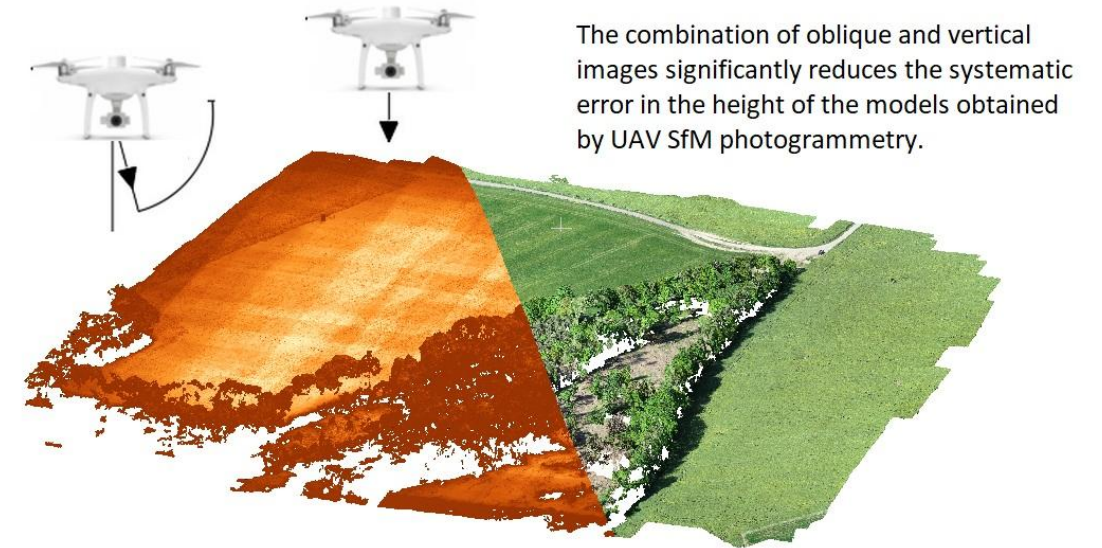
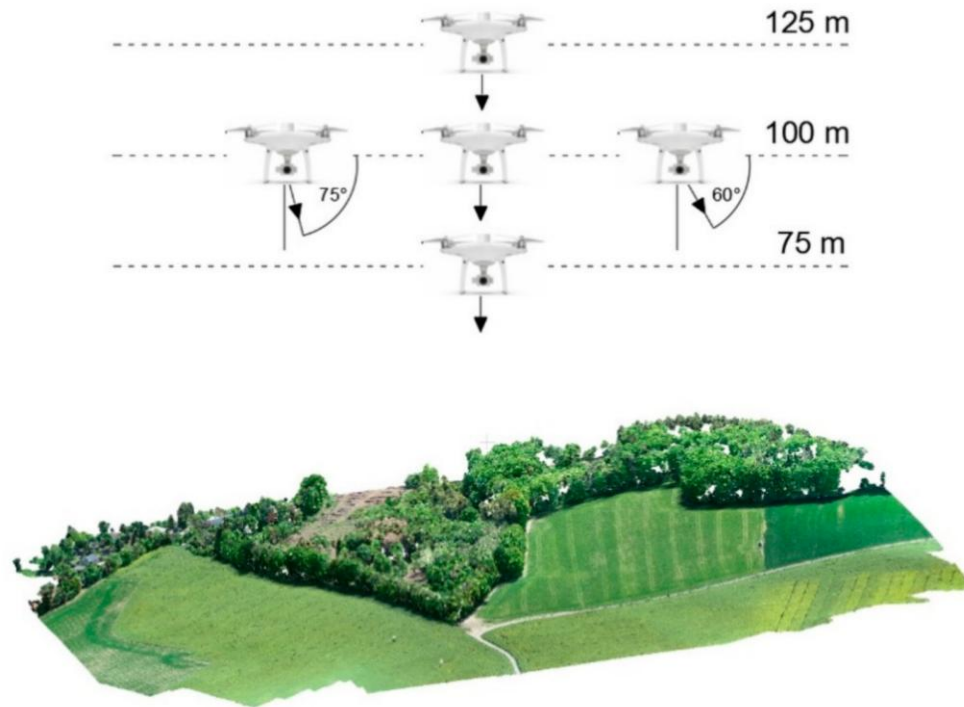
1. Altimetria e Modelo Digital de Terreno

Estereoscopia



<https://docs.luxonis.com/hardware/platform/features/depth/>

1. Altimetria e Modelo Digital de Terreno



A fotogrametria baseia-se na estereoscopia, o princípio de usar duas ou mais imagens do mesmo objeto obtidas de ângulos ligeiramente diferentes para estimar a profundidade e criar um modelo 3D

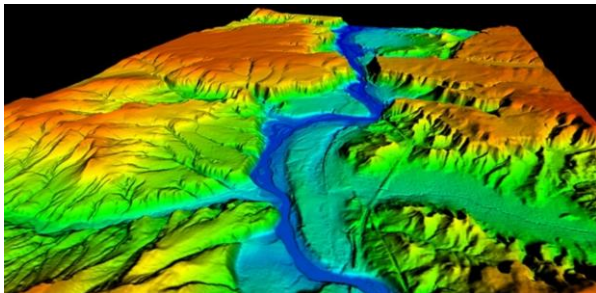
Štroner, M., Urban, R., Seidl, J., Reindl, T., & Brouček, J. (2021). Photogrammetry using UAV-mounted GNSS RTK: Georeferencing strategies without GCPs. *Remote Sensing*, 13(7), 1336.

1. Altimetria e Modelo Digital de Terreno

Algumas notas:

- Tanto a tecnologia LiDAR como a Fotogrametria podem ser utilizados para fazer mapas de altimetria ou Modelos Digitais de Superfície (MDS) e/ou Modelos Digitais de Terreno (MDT).
- A tecnologia LiDAR tem maior capacidade de penetrar na vegetação (entre os espaços das folhas) e, quando utilizados sistemas avançados, pode originar imagens 3D com elevado detalhe. Pode ainda ser integrado com imagens RGB. É, normalmente uma tecnologia mais cara.
- A Fotogrametria é, hoje, uma tecnologia cada vez mais utilizada para criar MDT/MDS devido ao seu custo mais reduzido.

Não considera vegetação



isprs International Journal of
Geo-Information



Review

Digital Terrain Models Generated with Low-Cost UAV Photogrammetry: Methodology and Accuracy

Sergio Iván Jiménez-Jiménez ¹, Waldo Ojeda-Bustamante ^{2,*}, Mariana de Jesús Marcial-Pablo ¹ and Juan Enciso ³

<https://doi.org/10.3390/ijgi10050285>

1. Altimetria e Modelo Digital de Terreno

Modelo Digital de Terreno (MDT) ou Digital Terrain Model (DTM)

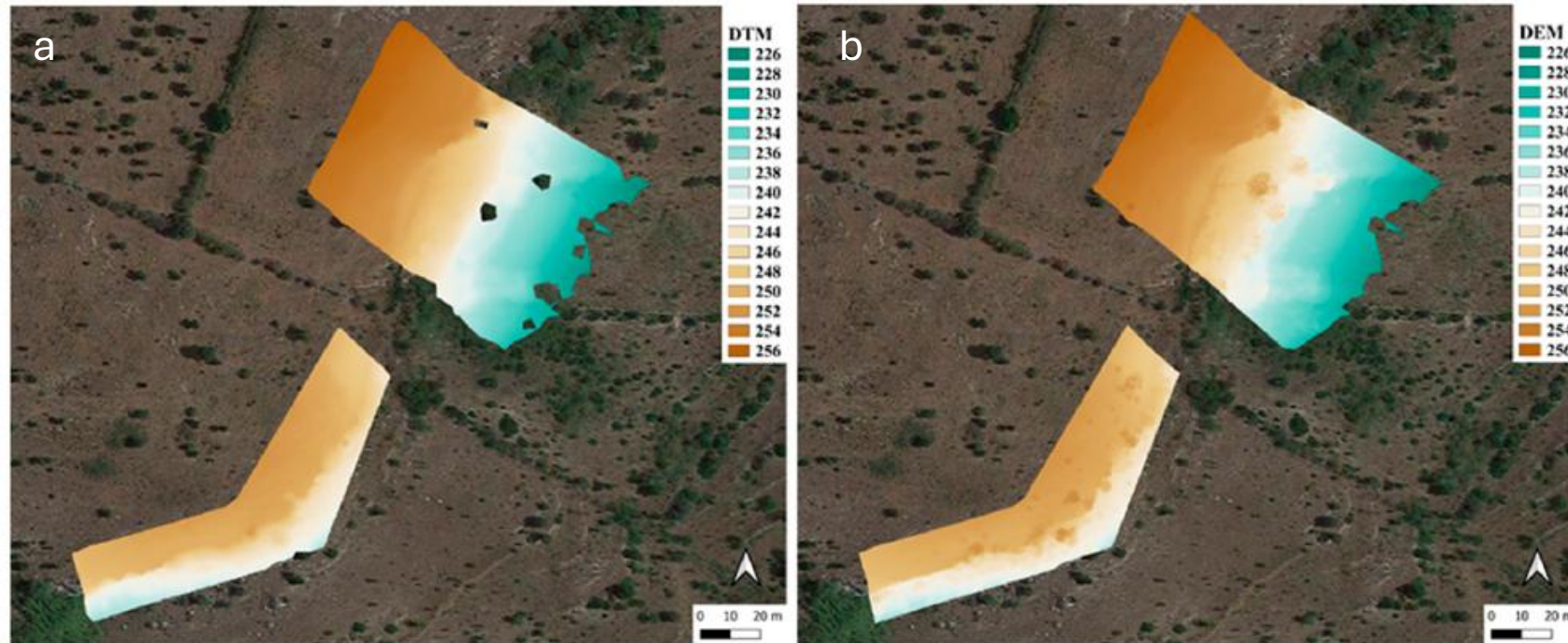


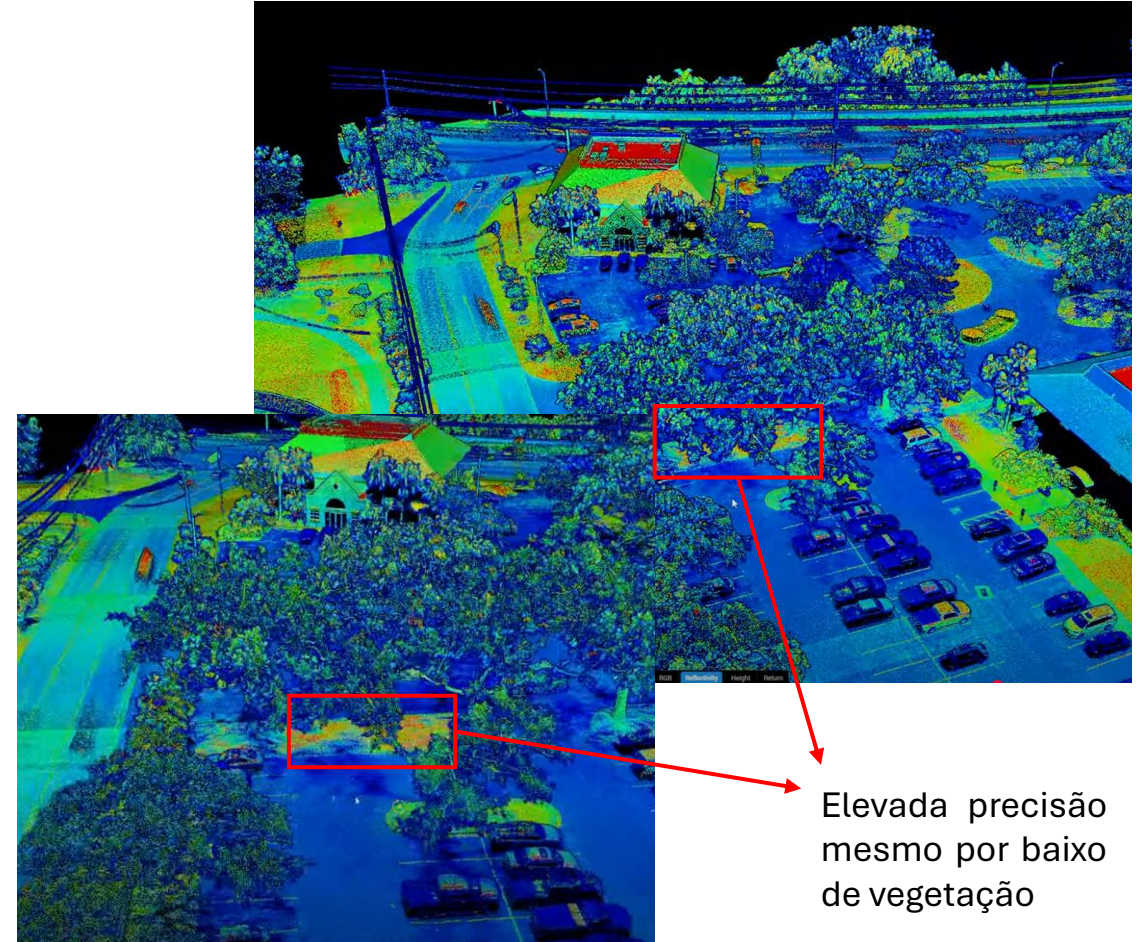
Figure 3. (a) Digital terrain model (DTM) and (b) digital elevation model (DEM).

1. Altimetria e Modelo Digital de Terreno

Output Fotogrametria



Output LiDAR



1. Altimetria e Modelo Digital de Terreno

**The
Guardian**

**Lost cities of the Amazon:
how science is revealing
ancient garden towns
hidden in the rainforest**

*Recent LIDAR scans have revealed ancient
cities deep in the Amazon rainforest*

Seria muito difícil com fotogrametria.



1. Altimetria e Modelo Digital de Terreno

Outras funções para além de MDT – Caracterização da vegetação

Fig. 3 – Aerial imagery processing workflow to estimate grapevine and apple canopy attributes.

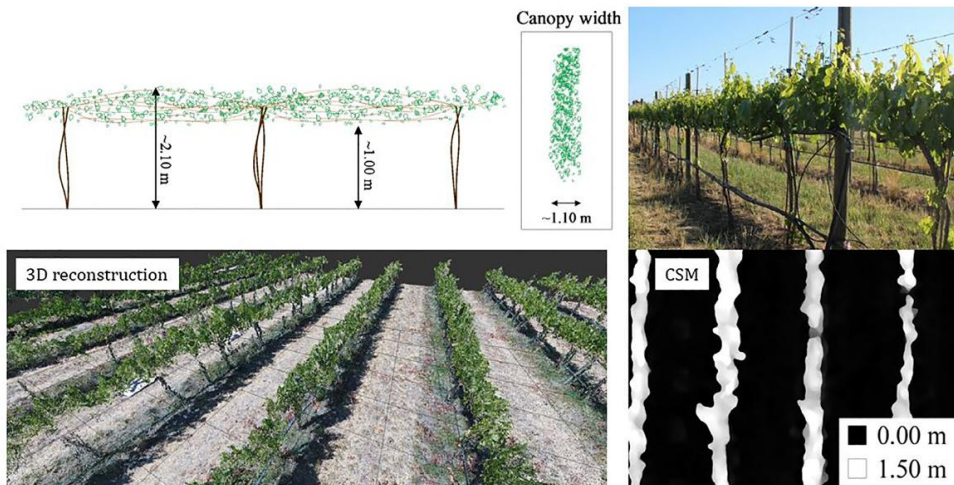


Fig. 4 – Geometry characterization of grapevines canopies in the study area (Ground images are presented as references to the field conditions).

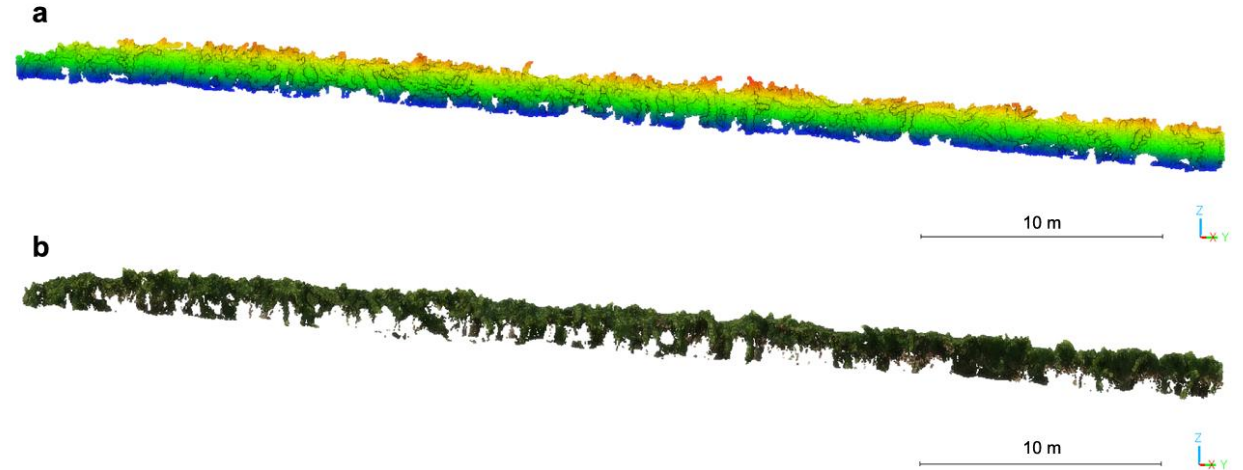


Fig. 4. Side view of the point clouds obtained with (a) the MTLs-LiDAR and (b) the UAV-DAP systems.

Available at www.sciencedirect.com

INFORMATION PROCESSING IN AGRICULTURE 9 (2022) 11–23

journal homepage: www.elsevier.com/locate/inpa

High resolution aerial photogrammetry based 3D mapping of fruit crop canopies for precision inputs management

Rajeev Sinha, Juan J. Quirós, Sindhuja Sankaran, Lav R. Khot*

<https://doi.org/10.1016/j.inpa.2021.01.006>

Contents lists available at ScienceDirect

Computers and Electronics in Agriculture

journal homepage: www.elsevier.com/locate/compag

Mobile terrestrial laser scanner vs. UAV photogrammetry to estimate woody crop canopy parameters – Part 1: Methodology and comparison in vineyards

Alexandre Escolà^{a,*}, José M. Peña^b, Francisca López-Granados^c, Joan R. Rosell-Polo^d, Ana I. de Castro^e, Eduard Gregorio^f, Francisco M. Jiménez-Brenes^{g,h}, Ricardo Sanzⁱ, Francesc Sebè^j, Jordi Llorens^k, Jorge Torres-Sánchez^{l,m}

<https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.108109>

1. Altimetria e Modelo Digital de Terreno

Measurement of canopy geometry characteristics using LiDAR laser altimetry: a feasibility study

Publisher: IEEE

[Cite This](#)



[10.1109/TGRS.2005.856639](https://doi.org/10.1109/TGRS.2005.856639)

Leaf area index estimation in vineyards using a ground-based LiDAR scanner

Published: 04 December 2012

Volume 14, pages 290–306, (2013) [Cite this article](#)

<https://link.springer.com/article/10.1007/s11119-012-9295-0>



Computers and Electronics in Agriculture

Volume 150, July 2018, Pages 5-13



Original papers

Estimation of the vertical leaf area profile of corn (*Zea mays*) plants using terrestrial laser scanning (TLS)

Wei Su  , Dehai Zhu  , Jianxi Huang, Hao Guo

<https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.03.037>

2. Global Navigation Satellite System

Global Navigation Satellite System (GNSS)

Termo geral para qualquer constelação de satélites que fornece serviços de posicionamento, navegação e tempo na Terra. O sistema mais conhecido é o GPS (Global Positioning System) dos Estados Unidos, mas o GNSS inclui outras constelações globais como o Galileo (UE), o GLONASS (Rússia) e o BeiDou (China).

Os satélites enviam o horário, via rádio, para os receptores, que calculam a distância que percorreram com base no tempo de transmissão.

Com a informação da posição de vários satélites e das distâncias percorridas pelo sinal até ao receptor, a posição do receptor é calculada com trilateração.

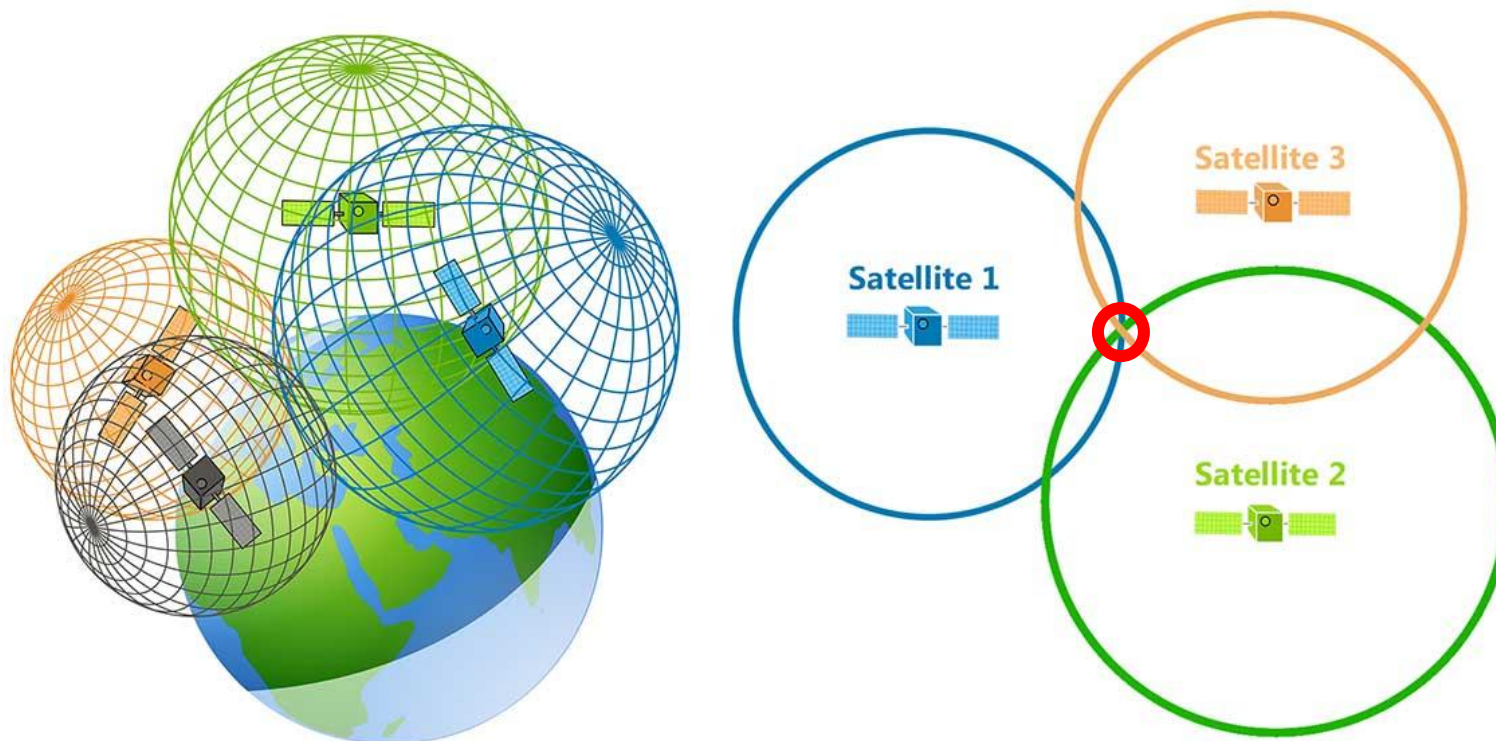
Quanto mais satélites disponíveis, maior a precisão do cálculo do posicionamento.



<https://www.youtube.com/watch?v=KTmUGf3P3ag>

2. Global Navigation Satellite System

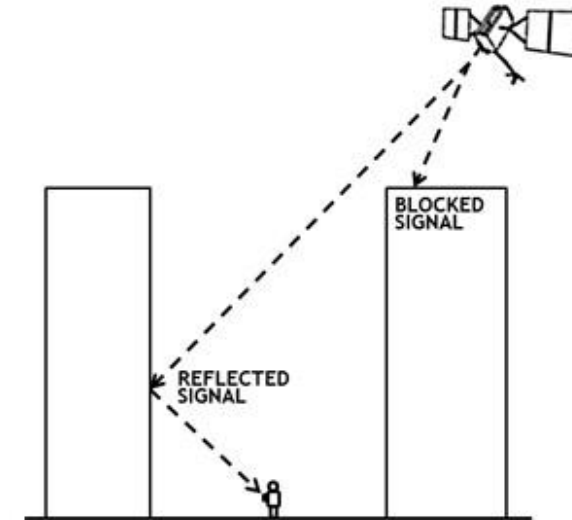
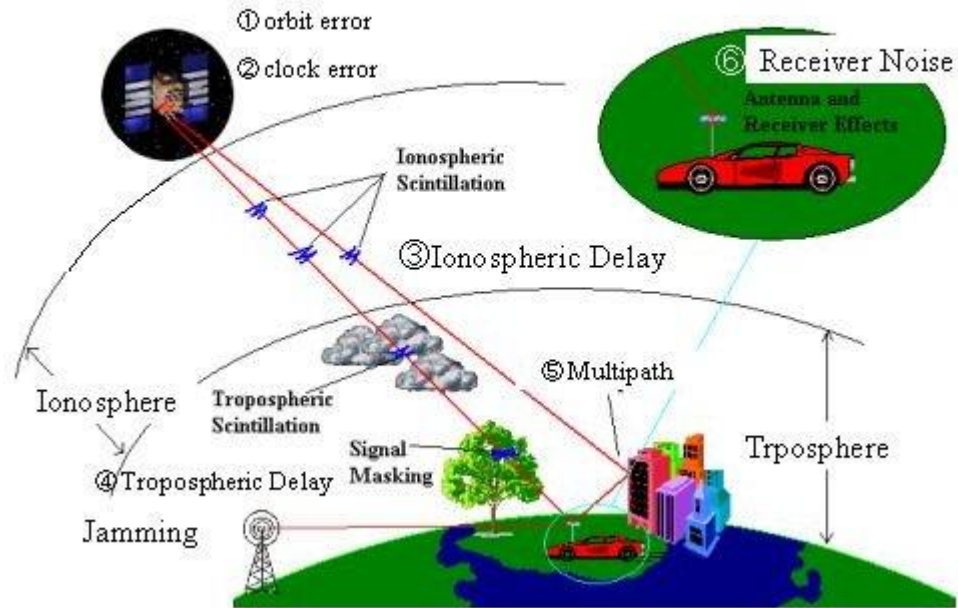
Trilateração



2. Global Navigation Satellite System

Existe **erro** associado ao sinal de GPS

Errors on GPS Signal

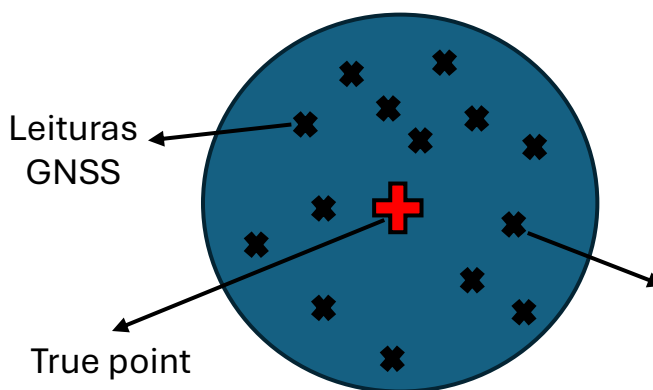


2. Global Navigation Satellite System

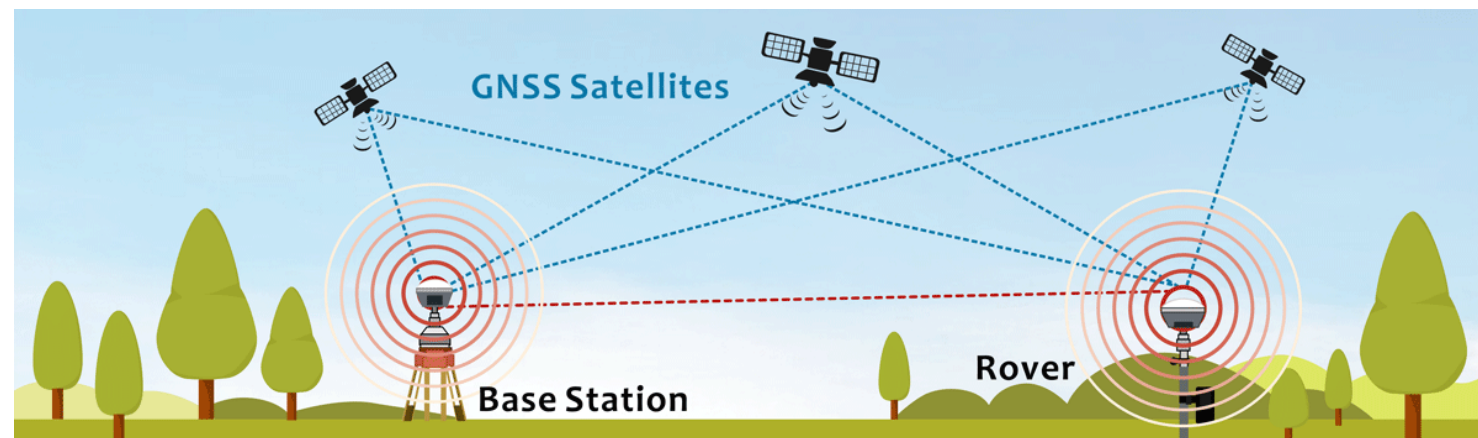
Real Time Kinematic (RTK)

Sistema de correção do sinal de GNSS com recurso a uma estação fixa que corrige a posição de um segundo receptor móvel a que está associado, em tempo real.

A posição da estação fixa pode ser conhecida à priori ou, após algum tempo, o erro associado ao sinal de GNSS é anulado.



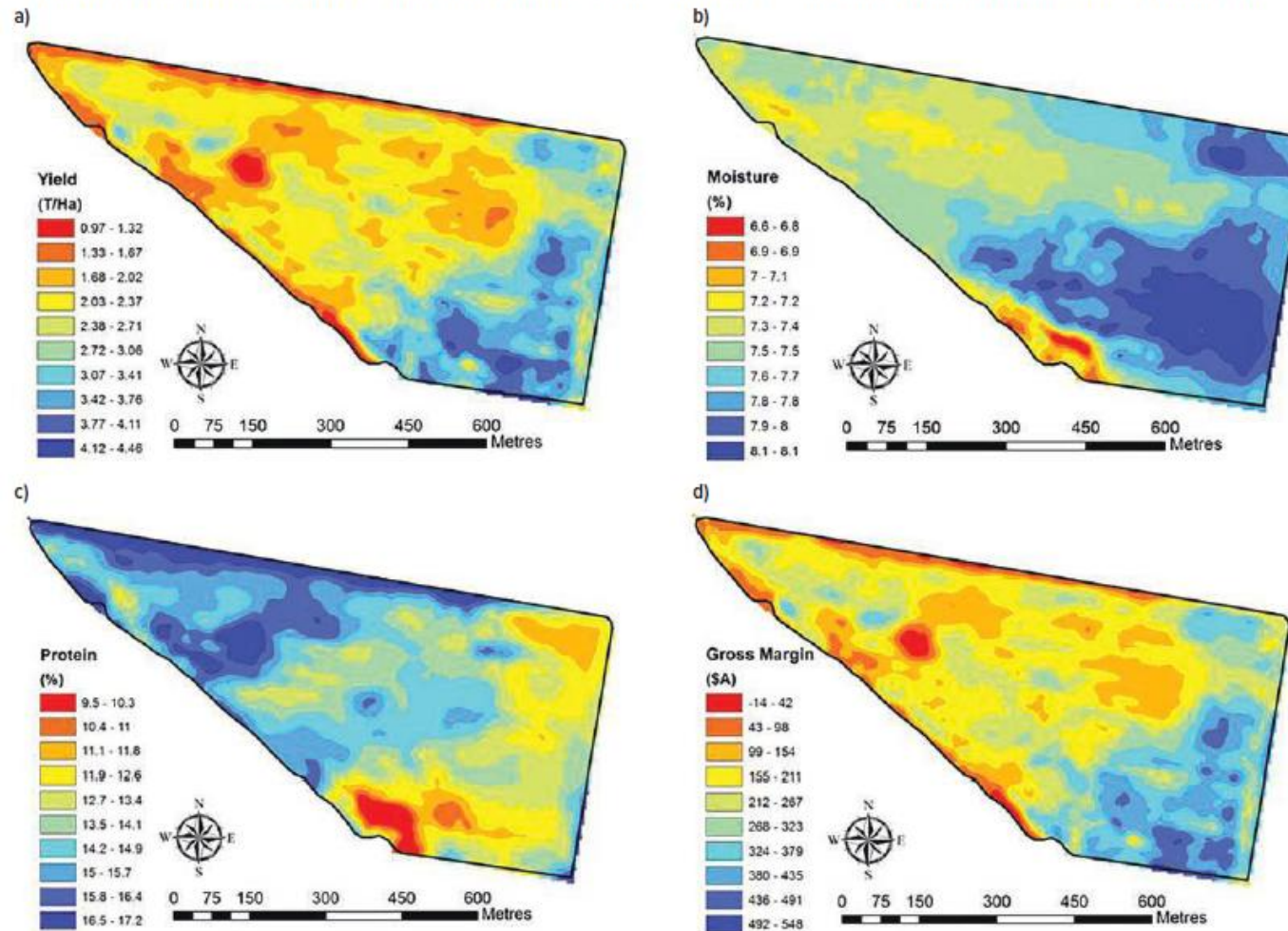
Se o *true point* não mexer, quanto mais leituras menor o erro (média das leituras = *true point*)



Corrige erros de GNSS de 4-5 m para centímetros

2. Global Navigation Satellite System

Figure 4.17: Grain yield (a) grain moisture (b) grain protein content (c) and site-specific gross margin (d) maps made by combining all three data layers, applying quality premiums/discounts and subtracting uniform variable costs of production.



Exemplo de utilidade

Grains Research & Development Corporation. (2019). *Precision agriculture in practice III* [PDF]. GRDC. https://grdc.com.au/_data/assets/pdf_file/0045/598/977/GRDC_PA-in-practice-III_WEB.pdf

3. Formato ficheiros SIG & Interpolação

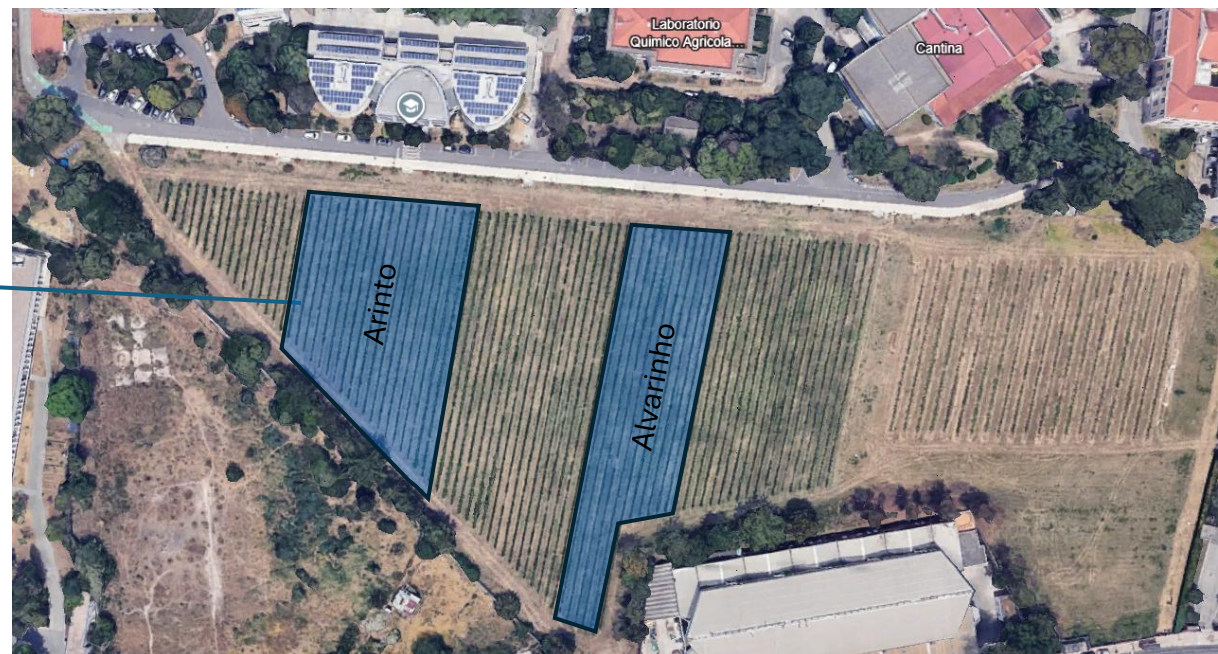
Os dados espaciais, em SIG, têm dois formatos primários: formato **vetorial** e formato **raster** (matricial).

Dados vetoriais

No formato **vetorial** – que pode ser um ponto, linha ou polígono – os dados apresentam uma representação gráfica sem o efeito de generalização de uma grade matricial. As linhas são contínuas, não sendo divididas em células ou fragmentos. Os vetores podem ter atributos (numéricos ou texto) que os descrevem.

Ex. polígono “vinha” com diferentes atributos (“castas”):

“Um” polígono com
dois atributos:
Arinto e Alvarinho



3. Formato ficheiros SIG & Interpolação

Dados vetoriais – exemplos de formatos

<https://gisgeography.com/gis-formats/>

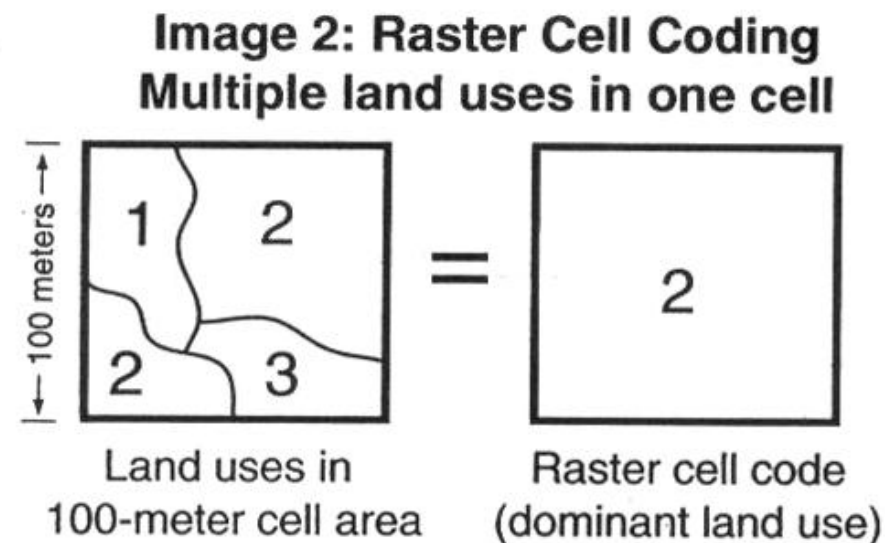
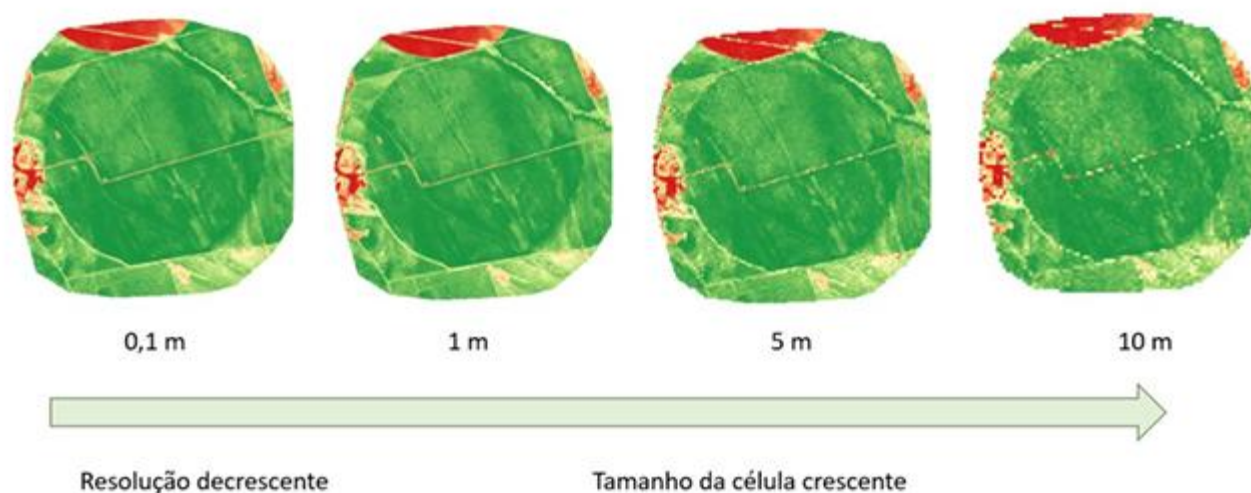
File Type and Extension	Description
Esri Shapefile .SHP, .DBF, .SHX	The shapefile is BY FAR the most common geospatial file type you'll encounter. All commercial and open source accept shapefile as a GIS format. It's so ubiquitous that it's become the industry standard. But you'll need a complete set of three files that are mandatory to make up a shapefile. The three required files are: –SHP is the feature geometry. –SHX is the shape index position. –DBF is the attribute data.
Geographic JavaScript Object Notation (GeoJSON) .GEOJSON .JSON	GeoJSON is a format for encoding geographic data structures, such as points, lines, and polygons, using JavaScript Object Notation (JSON). It is one of the most common open-standard formats for online web mapping applications.
Geography Markup Language .GML	GML allows for the use of geographic coordinates extension of XML. And eXtensible Markup Language (XML) is both human-readable and machine-readable. GML stores geographic entities (features) in the form of text. Similar to GeoJSON, GML can be updated in any text editor. Each feature has a list of properties, geometry (points, lines, curves, surfaces, and polygons), and a spatial reference system.
Google Keyhole Markup Language .KML .KMZ	KML stands for Keyhole Markup Language. This GIS format is XML-based and is primarily used for Google Earth. KML was developed by Keyhole Inc which was later acquired by Google. KMZ (KML-Zipped) replaced KML as being the default Google Earth geospatial format because it is a compressed version of the file.

File Type and Extension	Description
GPS eXchange Format .GPX	GPS Exchange format is an XML schema that describes waypoints, tracks, and routes captured from a GPS receiver. Because GPX is an exchange format, you can openly transfer GPS data from one program to another based on its description properties. The minimum requirements for GPX are latitude and longitude coordinates. In addition, GPX files optionally store location properties including time, elevation and geoid height as tags.
IDRISI Vector .VCT .VDC	The IDRISI .VCT format stores the geometry of vector data in IDRISI GIS software. The .VDC format contains metadata about the vector data. For example, it includes the coordinate system, attributes, and layer information.
MapInfo TAB .TAB .DAT .ID .MAP .IND	MapInfo TAB files are a proprietary format for MapInfo software. Similar to shapefiles, they require a set of files to represent geographic information and attributes. –TAB files are in ASCII format that link the associated ID, DAT, MAP, and IND files. –DAT files contain the tabular data associated as a dBase DBF file. –ID files are index files that link graphical objects to database information. –MAP files are the map objects that store geographic information. –IND files are index files for the tabular data.
Open Street Map OSM .XML	OSM files are the native file for OpenStreetMap which had become the largest crowdsourcing GIS data project in the world. These files are a collection of vector features from crowd-sourced contributions from the open community. The GIS format OSM is OpenStreetMap's XML-based file format. The more efficient, smaller PBF Format ("Protocolbuffer Binary Format") is an alternative to the XML-based format. The data interoperability in QGIS can load native OSM files. The OpenStreetMap plugin can convert PBF to OSM, which then can be used in QGIS.

3. Formato ficheiros SIG & Interpolação

Dados matriciais ou *raster*

No formato matricial os dados são representados em células, sendo a unidade mínima o pixel/célula. Dependendo da resolução, poderá perder-se informação. Por outro lado têm a possibilidade de incluir informação diversa (ex. variabilidade espacial) para além de um posicionamento geográfico, ponto, linha ou polígono.



3. Formato ficheiros SIG & Interpolação

Dados matriciais – exemplos de formatos

<https://gisgeography.com/gis-formats/>

File Type and Extension	Description
ERDAS Imagine .IMG	ERDAS Imagine IMG files is a proprietary file format developed by Hexagon Geospatial. IMG files are commonly used for raster data to store single and multiple bands of satellite data. IMG files use a hierarchical format (HFA) that is optional to store basic information about the file. For example, this can include file information, ground control points, and sensor type. Each raster layer as part of an IMG file contains information about its data values. For example, this includes projection, statistics, attributes, pyramids and whether or not it's a continuous or discrete type of raster.
American Standard Code for Information Interchange ASCII Grid .ASC	ASCII uses a set of numbers (including floats) between 0 and 255 for information storage and processing. They also contain header information with a set of keywords. In their native form, ASCII text files store GIS data in a delimited format. This could be comma, space or tab-delimited format. Going from non-spatial to spatial data, you can run a conversion process tool like ASCII to raster.
GeoTIFF .TIF .TIFF .OVR	The GeoTIFF has become an industry image standard file for GIS and satellite remote sensing applications. GeoTIFFs may be accompanied by other files: –TFW is the world file that is required to give your raster geolocation. –XML optionally accompany GeoTIFFs and are your metadata. –AUX auxiliary files store projections and other information. –OVR pyramid files improves performance for raster display.

File Type and Extension	Description
IDRISI Raster .RST .RDC	IDRISI assigns RST extensions to all raster layers. They consist of numeric grid cell values as integers, real numbers, bytes and RGB24. The raster documentation file (RDC) is a companion text file for RST files. They assign the number of columns and rows to RST files. Further to this, they record the file type, coordinate system, reference units and positional error.
IDRISI Vector .VCT .VDC	The IDRISI .VCT format stores the geometry of vector data in IDRISI GIS software. The .VDC format contains metadata about the vector data. For example, it includes the coordinate system, attributes, and layer information.
Envi RAW Raster .BIL .BIP .BSQ	Band Interleaved files are a raster storage extension for single/multi-band aerial and satellite imagery. –BIL (Band Interleaved for Line) stores pixel information based on rows for all bands in an image. –BIP (Band interleaved by pixel) assigns pixel values for each band by rows. –BSQ (Band sequential format) stores separate bands by rows. BIL files consist of a header file (HDR) that describes the number of columns, rows, bands, bit depth and layout in an image.
Esri Grid	Grid files are a proprietary format developed by Esri. Grids have no extension and are unique because they can hold attribute data in a raster file. But the catch is that you can only add attributes to integer grids. Attributes are stored in a value attribute table (VAT) – one record for each unique value in the grid, and the count representing the number of cells. The two types of Esri Grid files are integer and floating point grids. Land cover would be an example of a discrete grid. Each class has a unique integer cell value. Elevation data is an example of a floating point grid. Each cell represents an elevation floating value.

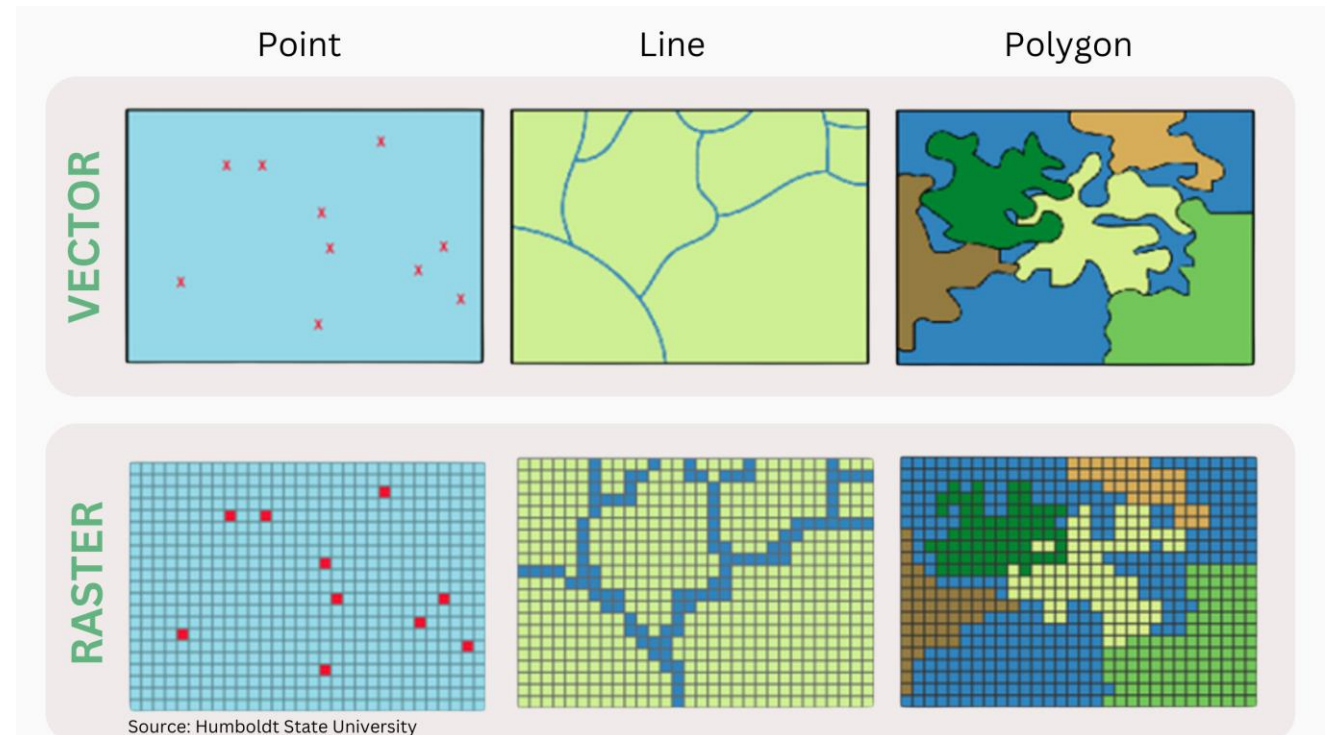
3. Formato ficheiros SIG & Interpolação

Dados vetoriais vs Dados *raster*

Os dados **vetoriais** são mais adequados para representar **limites de áreas geográficas**, como estradas, linhas de fronteira, edifícios e fontes de água, enquanto os dados **raster** são mais adequados para representar dados **com variabilidade espacial**, como mapas de elevação, mapas climáticos, fotografias aéreas e imagens de satélite.

Os dados **vetoriais** podem representar características espaciais com **maior precisão**, podendo determinar limites geográficos com exatidão.

Os dados **matriciais**, por outro lado, são determinados pela **resolução** (tamanho do pixel) e a qualidade da imagem pode se deteriorar quando dimensionada.

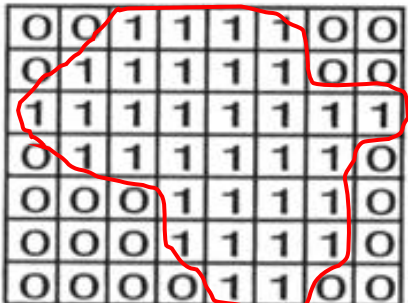


3. Formato ficheiros SIG & Interpolação

Image 1: Vector and Raster Data Structure

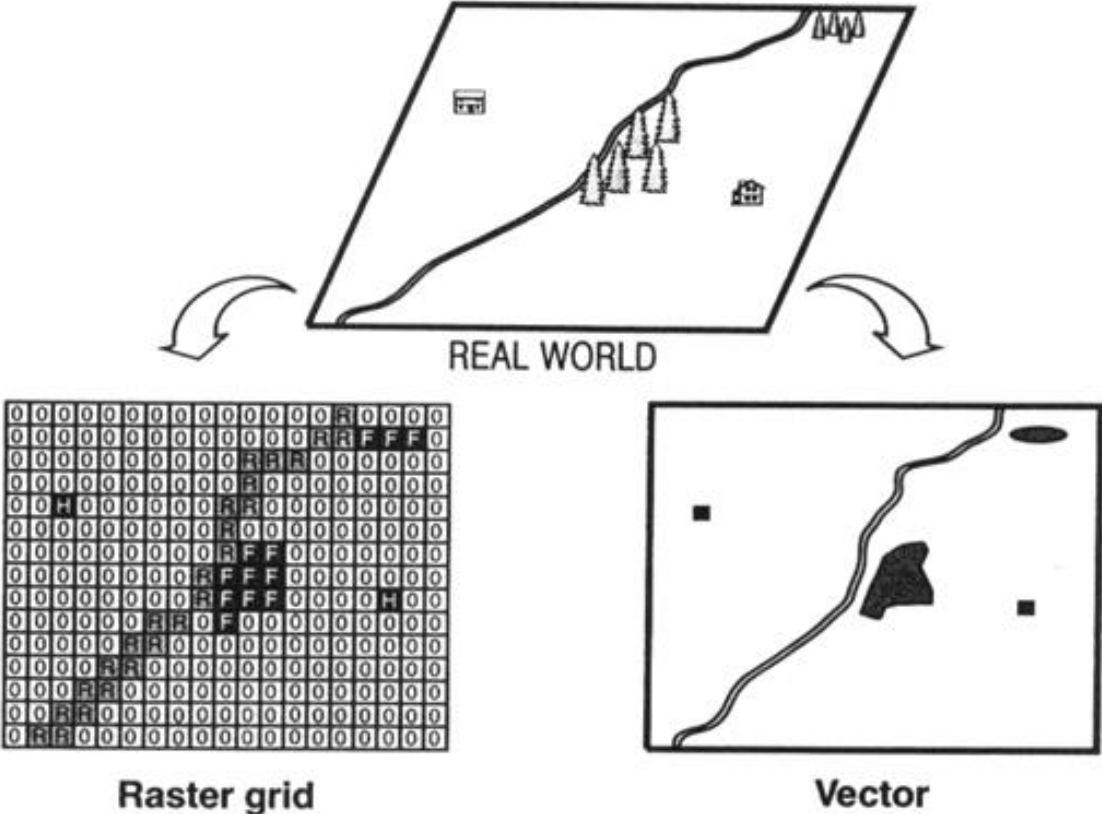


Vector
Points, lines, polygons
Map analog



Raster
Grid structure
Generalized reality

Image 1: Raster and Vector Data Formats



REAL WORLD

Raster grid

Vector

3. Formato ficheiros SIG & Interpolação

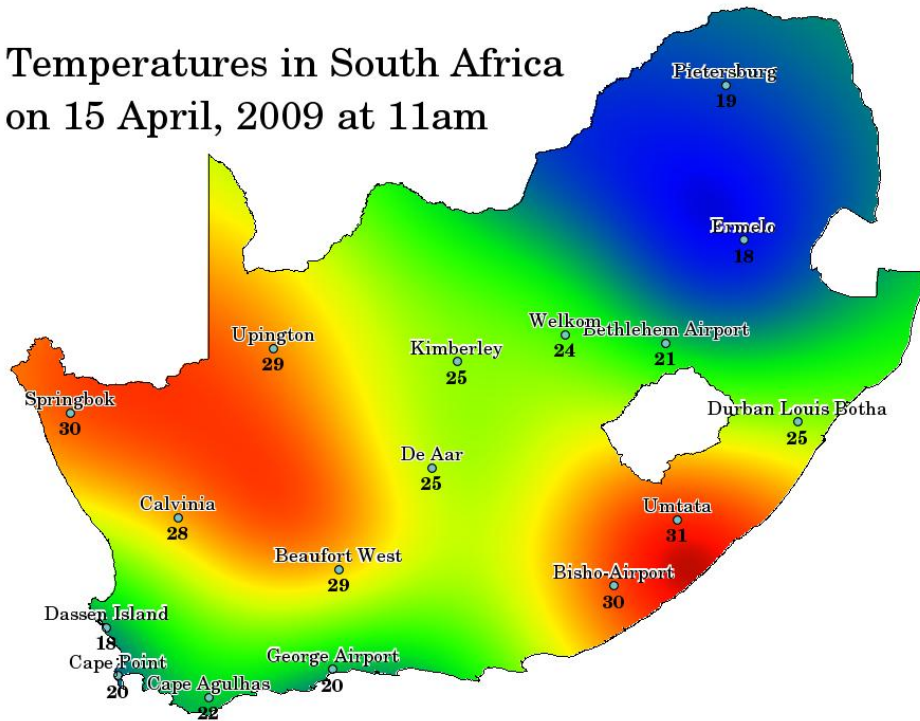
Como interpretar dados de amostras de campo?



3. Formato ficheiros SIG & Interpolação

Interpolação espacial é o processo de estimar valores em pontos desconhecidos a partir de pontos com valores conhecidos. Possibilita a conversão de observações pontuais em superfícies contínuas produzindo padrões espaciais.

Temperatures in South Africa
on 15 April, 2009 at 11am



Devido ao elevado custo e à limitação de recursos, a recolha de dados é geralmente realizada apenas num número restrito de pontos amostrais selecionados. Em SIG, a interpolação espacial desses pontos pode ser utilizada para gerar uma superfície raster com estimativas atribuídas a todas as suas células.

Existem vários métodos de interpolação, exemplos:

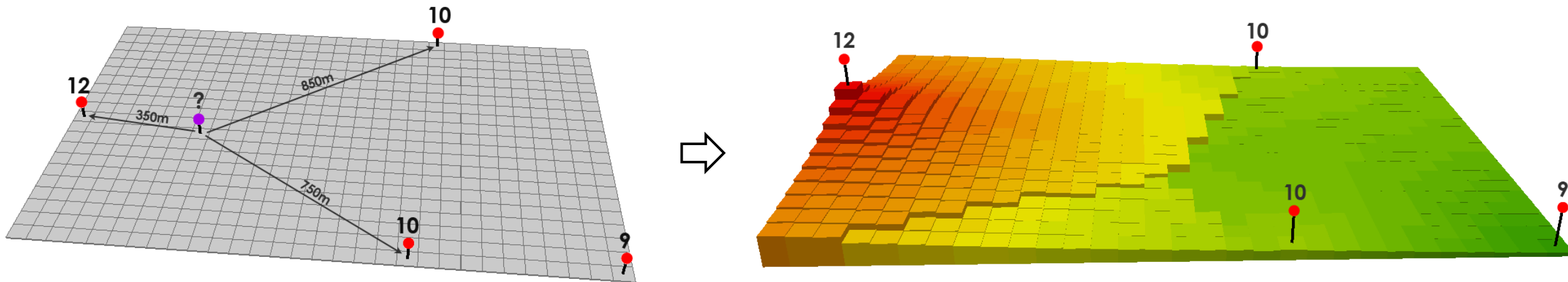
- IDW (*Inverse distance weighting*)
- *Kriging*

https://docs.qgis.org/3.40/pt_BR/docs/gentle_gis_introduction/spatial_analysis_interpolation.html

3. Formato ficheiros SIG & Interpolação

IDW (*Inverse distance weighting*)

Na interpolação **IDW** (Inverse Distance Weighting), os valores desconhecidos são estimados através de uma **média ponderada inversamente proporcional à distância entre os pontos amostrais e a localização de previsão**. Os pontos mais próximos exercem maior influência na estimativa, independentemente da sua disposição espacial. Trata-se de um método determinístico, adequado para conjuntos de dados ruidosos e com densidade de amostragem moderada face à variabilidade local.



https://docs.qgis.org/3.40/pt_BR/docs/gentle_gis_introduction/spatial_analysis_interpolation.html

3. Formato ficheiros SIG & Interpolação

Desvantagens do método IDW:

- Pode exagerar a influência de valores anómalos próximos.
- Não capta tendências globais (apenas considera distâncias).
- Ignora variações direcionais.

Quando usar:

- Conjuntos de dados com amostragem **moderadamente densa e bem distribuída**.
- Quando interessa realçar a **variação local** e não uma tendência espacial global.
- Útil em análises **exploratórias** ou com dados com algum ruído.

Munyati, C., & Sinthumule, N. I. (2021). Comparative suitability of ordinary kriging and Inverse Distance Weighted interpolation for indicating intactness gradients on threatened savannah woodland and forest stands. *Environmental and Sustainability Indicators*, 12, 100151.

3. Formato ficheiros SIG & Interpolação

Kriging

O Kriging é um método de interpolação pertencente à família das técnicas geoestatísticas. Tal como o IDW, baseia-se na ponderação dos valores amostrais para predizer valores desconhecidos. No entanto, ao contrário do IDW, o Kriging considera não só a distância entre os pontos amostrais e o ponto de previsão, mas também a **disposição espacial geral dos pontos**.

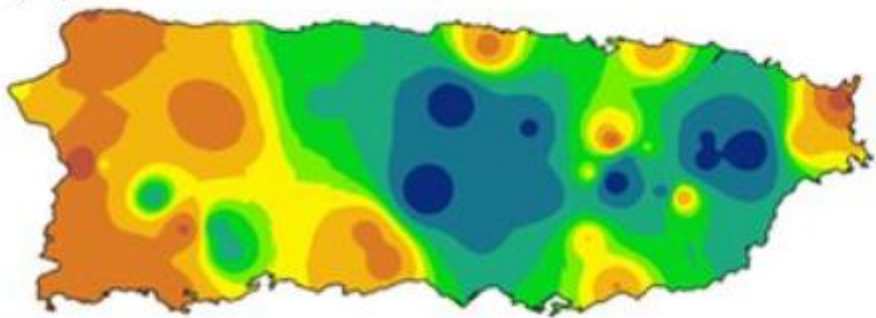
Baseia-se na autocorrelação espacial, ou seja, na tendência de os valores observados numa localização dependerem dos valores em localizações vizinhas. Kriging é capaz de identificar padrões ou correlações espaciais nos dados, produzindo estimativas mais confiáveis quando existem relações espaciais significativas.

Sensível a dados fora de tendência: Outliers ou dados muito ruidosos podem afetar os resultados se não forem tratados previamente.

Munyati, C., & Sinthumule, N. I. (2021). Comparative suitability of ordinary kriging and Inverse Distance Weighted interpolation for indicating intactness gradients on threatened savannah woodland and forest stands. *Environmental and Sustainability Indicators*, 12, 100151.

3. Formato ficheiros SIG & Interpolação

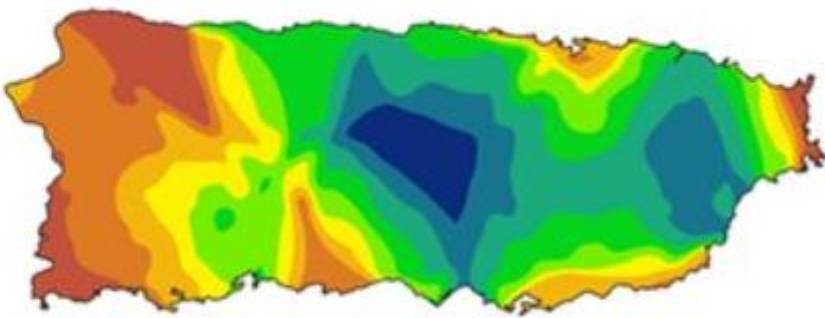
IDW



Rainfall (mm)

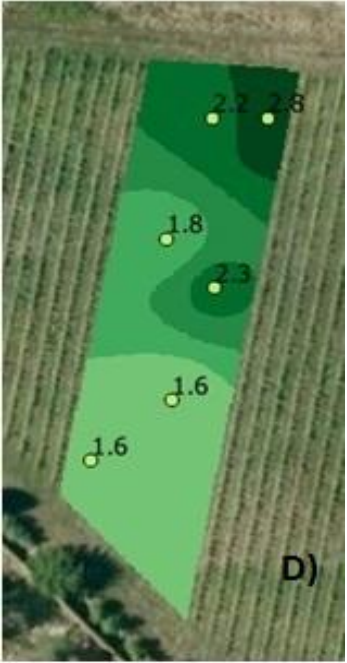
<= 178.5	<= 377.3	<= 509.9
<= 272.6	<= 405.2	<= 604
<= 335.4	<= 447.1	<= 745

Kriging



Rainfall (mm)

<= 238.7	<= 360.4	<= 516.3
<= 289.6	<= 400.2	<= 599.9
<= 329.4	<= 451.1	<= 706.8



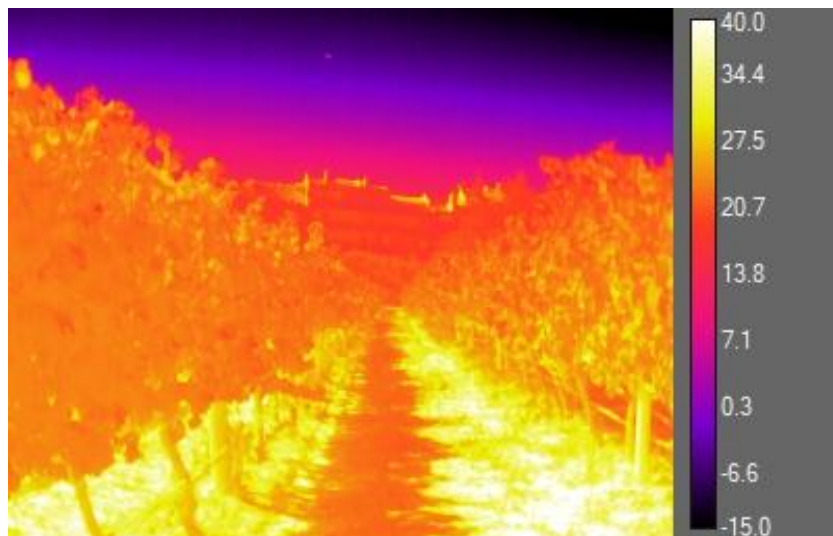
Color	Range (kg/m)
Light Green	1.6-1.8
Medium Green	1.8-2
Dark Green	2-2.2
Very Dark Green	2.2-2.46
Black	>2.4



4. Termografia

Termografia é uma técnica de deteção e visualização da radiação infravermelha emitida por objetos, permitindo medir a sua temperatura à distância e identificar variações térmicas na superfície.

Todos os corpos com temperatura acima do zero absoluto ($-273,15\text{ °C} = 0\text{ Kelvin}$) emitem radiação térmica, e a intensidade e comprimento de onda dessa radiação **dependem da temperatura do corpo e da sua emissividade**.

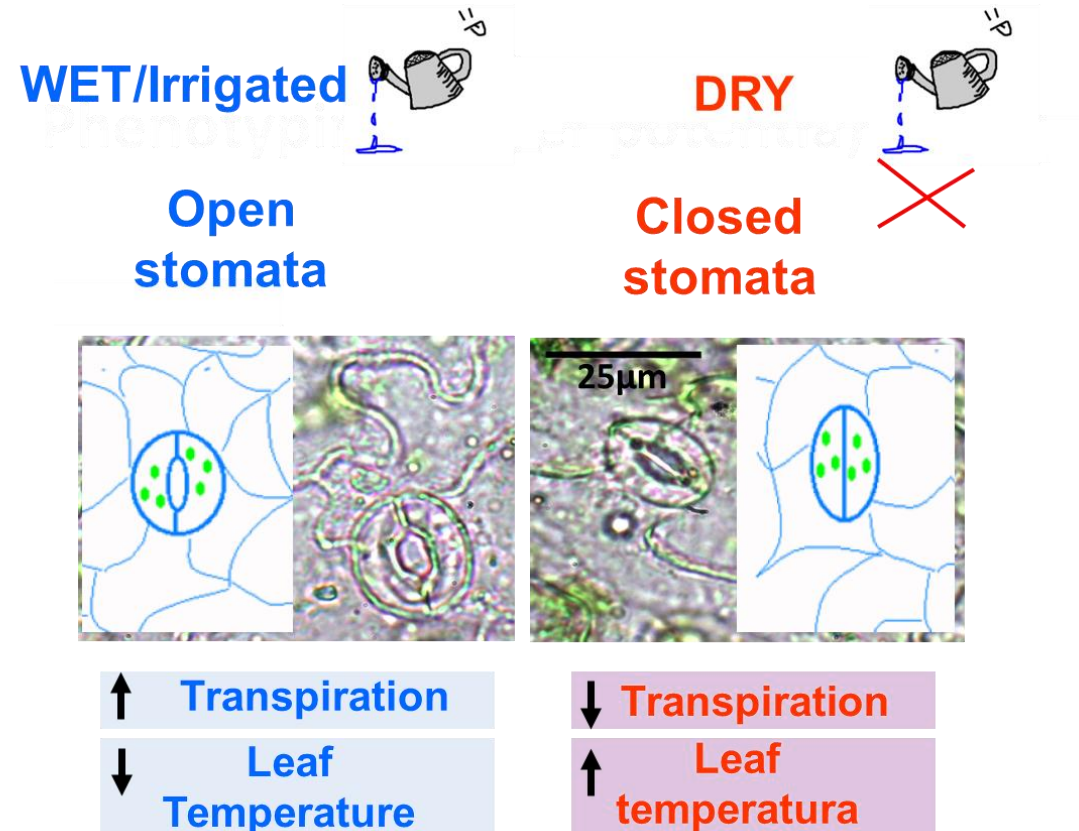


Capacidade de
um material
emitir radiação
térmica

De que forma pode ser útil na monitorização de plantas?

4. Termografia

- Leaves TEMPERATURE vs “Water stress”



4. Termografia

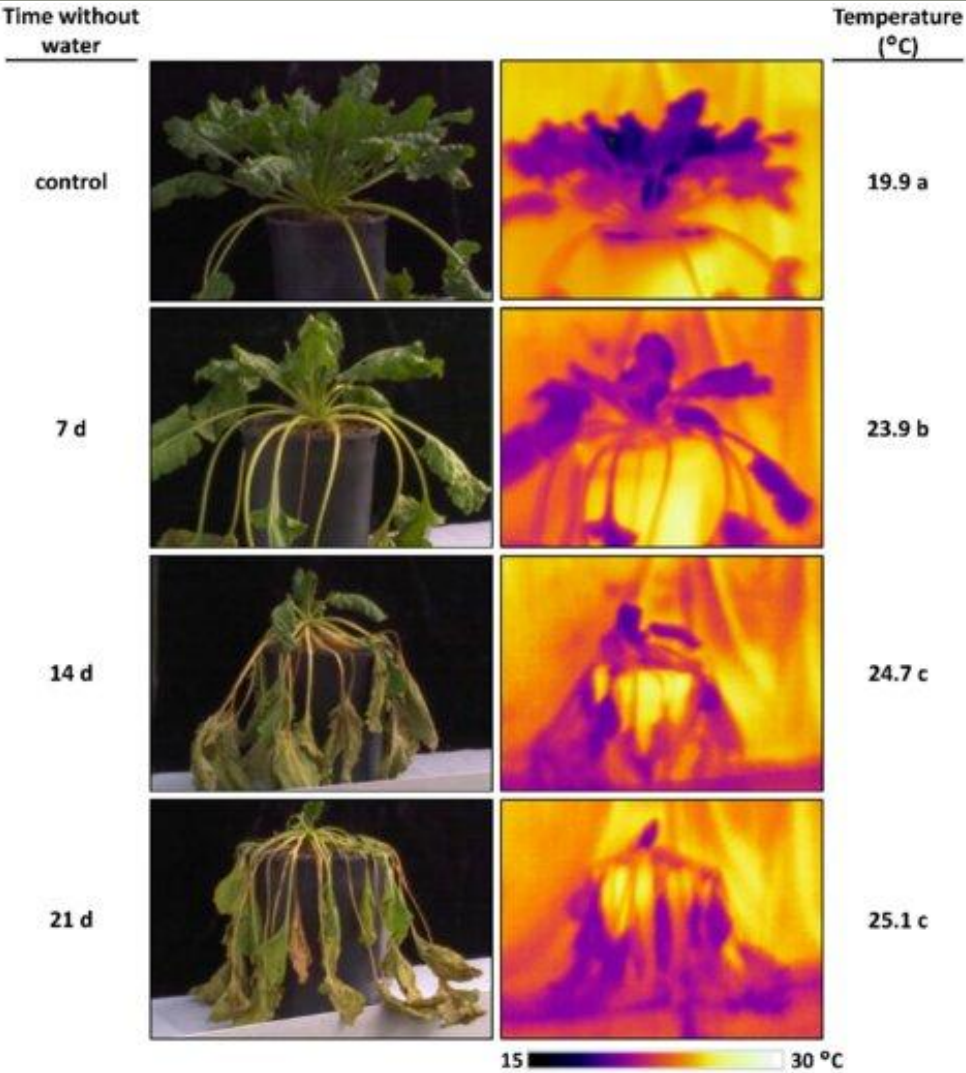


FIGURE 1 | Effect of drought stress on sugar-beet plant phenotype and leaf temperature. Symptoms of drought stress on the day of harvest for wellwatered control plants and plants receiving no water for 7, 14 or 21 days prior to harvest as recorded with visible light and infrared photography. A representative individual from each treatment is shown.

Lafta, A. M., Eide, J. D., Khan, M. F., Finger, F. L., & Fugate, K. K. (2024). Severe preharvest drought elevates respiration and storage rot in postharvest sugarbeet roots. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 210(4), e12718.

4. Termografia

Exemplos de câmaras térmicas



FLIR A35

IR Resolution 320 × 256 pixels

Spectral Range 7.5–13 μm



FLIR E96

IR Resolution 640 × 480 pixels

Spectral Range 7.5–14 μm



FLIR ONE pro

IR Resolution 160 × 120 pixels

Spectral Range 8–14 μm



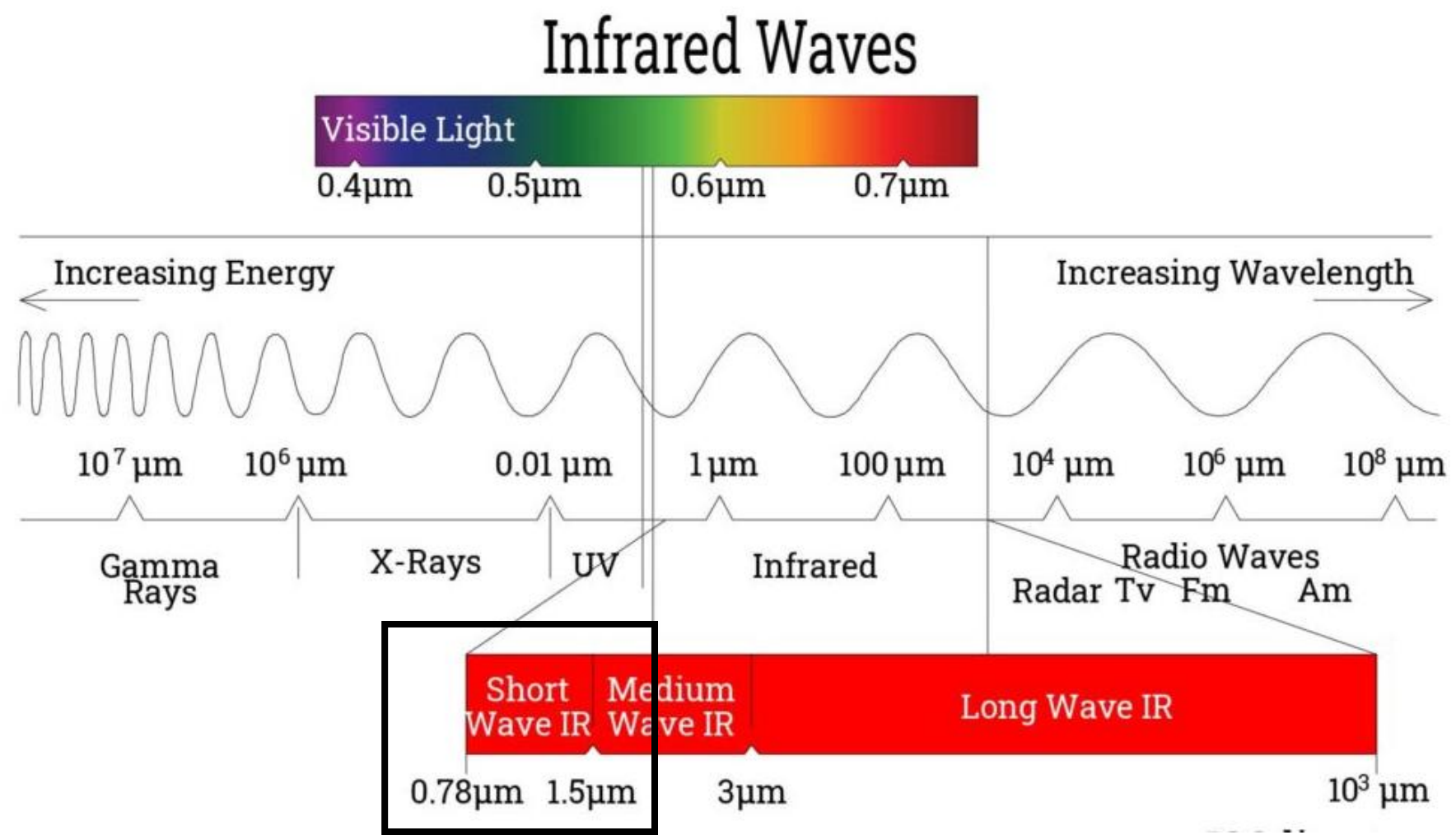
DJI Mavic 3T

IR Resolution 640 × 512 pixels

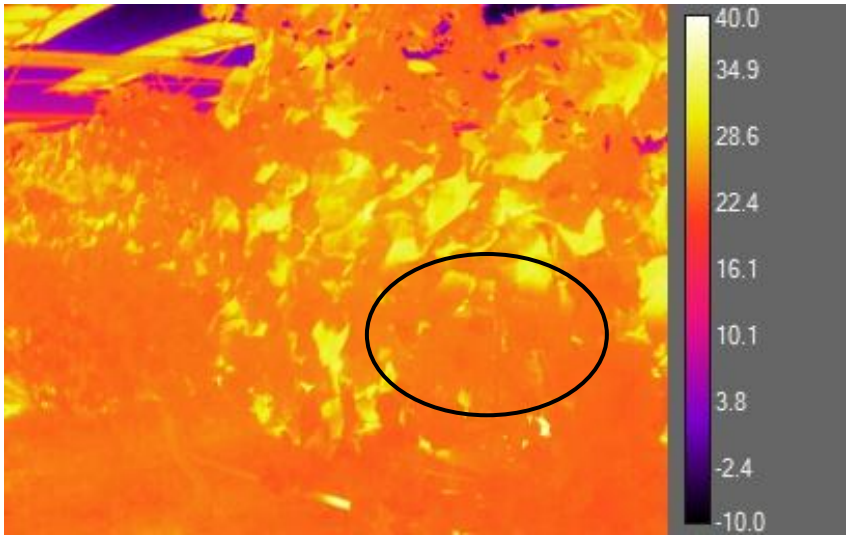
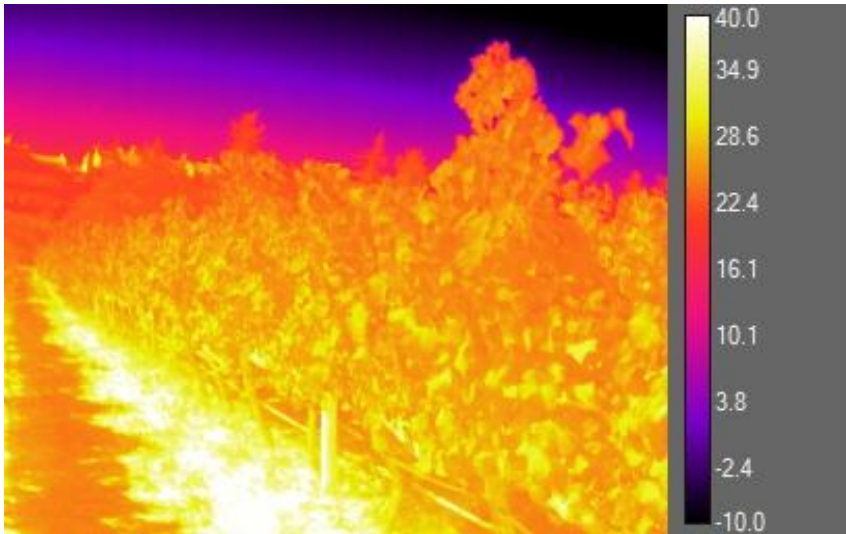
Spectral Range 8–14 μm



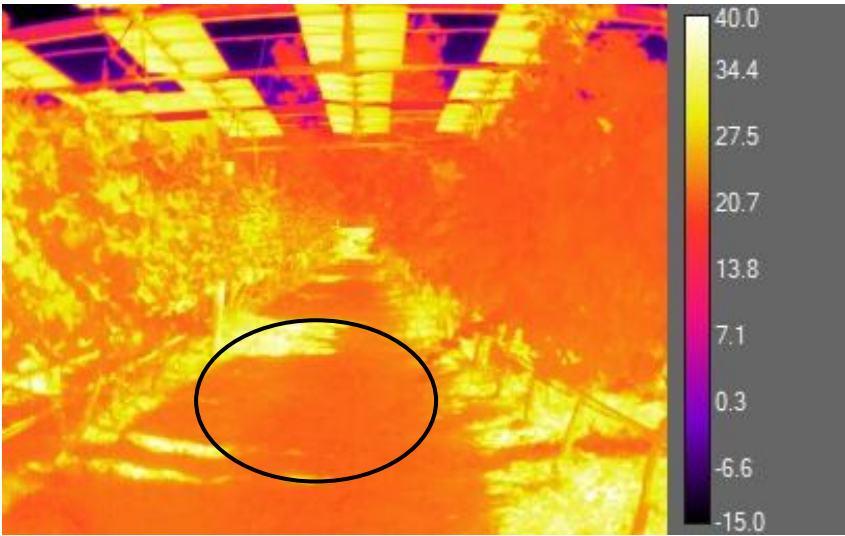
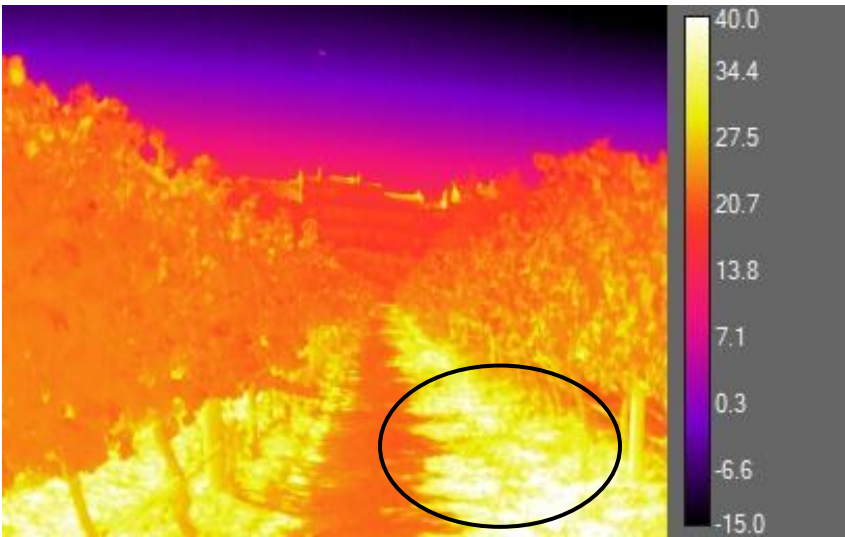
4. Termografia



4. Termografia



4. Termografia



4. Termografia

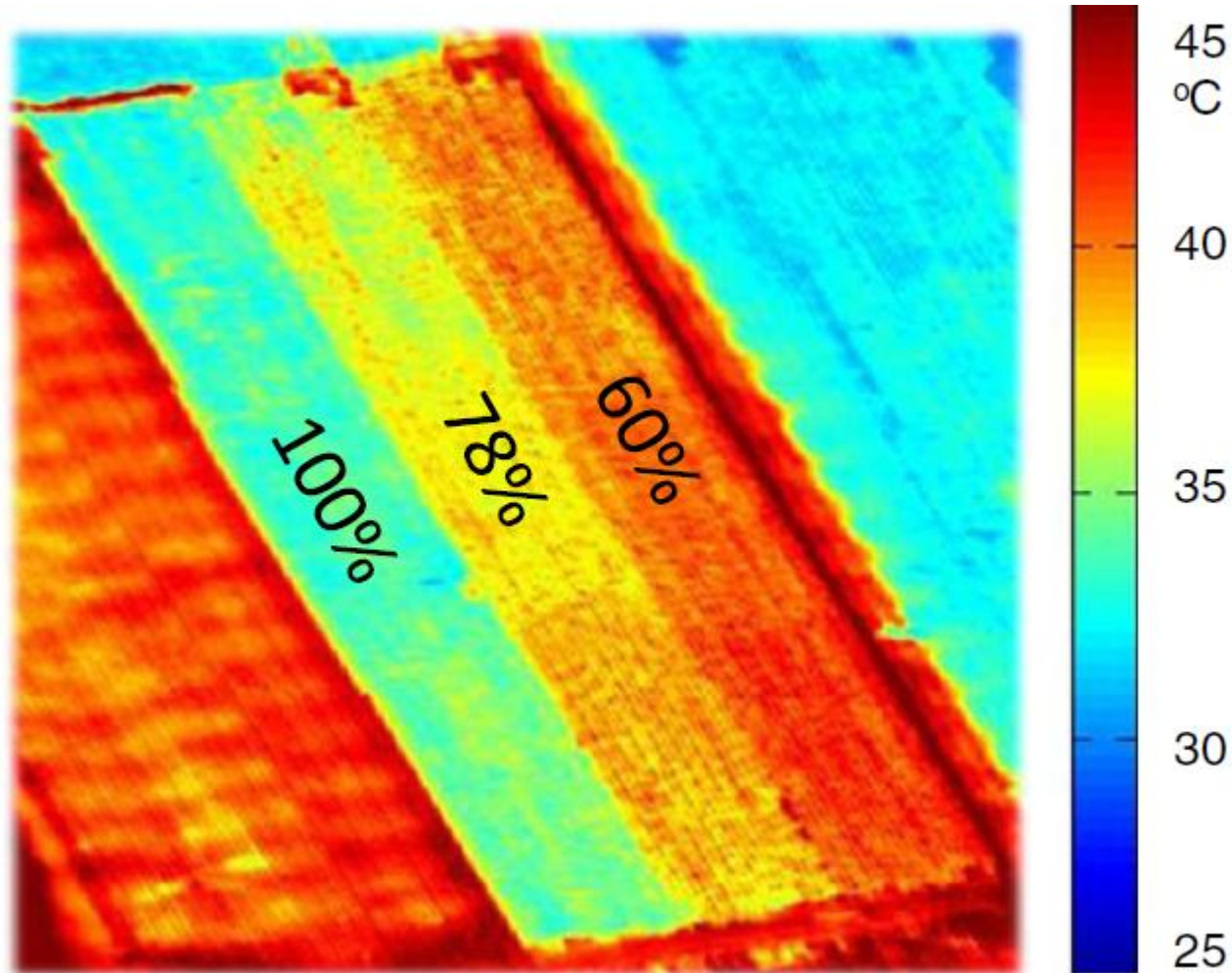
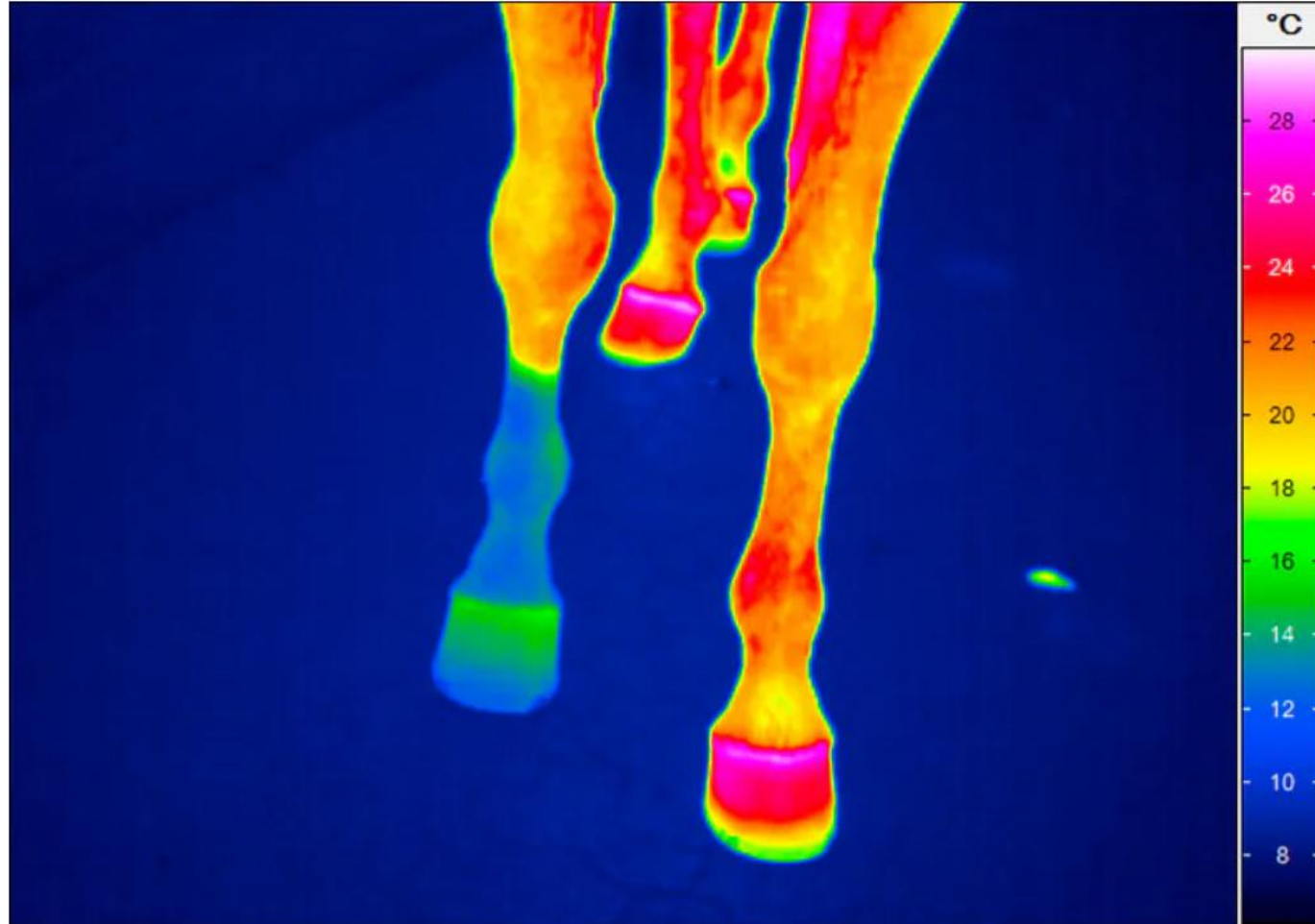


Fig. 2 Aerial thermal images of leaf water potential of experimental field plots of potato (cv. Desiree). The three colored stripes represent three irrigation regimes: 100 %, 78 % and 60 % of pan evaporation

A temperatura superficial pode indicar stresses nas culturas antes dos seus sintomas visuais.

Levy, D., Coleman, W. K., & Veilleux, R. E. (2013). Adaptation of potato to water shortage: irrigation management and enhancement of tolerance to drought and salinity. *American Journal of Potato Research*, 90(2), 186-206.

4. Termografia



Outras utilidades

4. Termografia



Contents lists available at [ScienceDirect](#)

Computers and Electronics in Agriculture

journal homepage: www.elsevier.com/locate/compag



Review

An overview of current and potential applications of thermal remote sensing in precision agriculture



Sami Khanal ^{a,*}, John Fulton ^b, Scott Shearer ^b

Khanal, S., Fulton, J., & Shearer, S. (2017). An overview of current and potential applications of thermal remote sensing in precision agriculture. *Computers and electronics in agriculture*, 139, 22-32.

4. Termografia

Table 2

Applications of thermal imaging at various geographic scales in the agricultural sector.

Areas in agriculture	Problem	Results	Geographic scale	Platform	References
<i>Irrigation scheduling</i>					
Soil moisture	Map the spatial distribution of soil moisture conditions and monitor its change over time	Coarse resolution airborne thermal images performed better than a handheld thermal gun; thermal images can be used for operational monitoring of soil moisture conditions at the field or regional scales	Regional, vineyards, fields	Satellite, aerial, ground	Shafian and Maas (2015), Hassan-Esfahani et al. (2015), Soliman et al. (2013) and Carlson (2007)
Crop water stress	Spatial and temporal variability in canopy temperature for water stress detection	Suitable for precision irrigation management	Regional, Orchard	Satellite, aerial, ground	Osroosh et al. (2015), Gonzalez-Dugo et al. (2013), O'Shaughnessy et al. (2012), O'Shaughnessy and Evett (2010), Barbagallo et al. (2009) and Testi et al. (2008)
Evapotranspiration (ET) and drought stress	Improve confidence in signals of emerging drought; need for a diagnostic fast-response indicator describing ET deficits	RS based ET estimates compare well with ET recorded at field level; provide early warning of drought conditions	National, regional, field	Satellite, aerial	Anderson et al. (2013), Barbagallo et al. (2009), Chávez et al. (2008) and Gowda et al. (2008)
Plant disease detection	Need for higher pesticide application efficiency through early detection of pathogens	An early stage of pathogen development can be detected using thermal images	Greenhouse, orchard	Ground, aerial	Mahlein (2016), Berdugo et al. (2014), Calderón et al. (2014), Oerke et al. (2011, 2006), Calderón et al. (2013), Stoll et al. (2008) and Chaerle et al. (2004)
(...)					

4. Termografia

Table 2

Applications of thermal imaging at various geographic scales in the agricultural sector.

Areas in agriculture	Problem	Results	Geographic scale	Platform	References
(...)					
Soil texture mapping	Better understanding of the relationship between soil texture and land surface temperature during different periods of the day	Thermal images could be used for digital mapping of regional soil texture variations	Regional	Satellite	Chaerle et al. (2004) Wang et al. (2012, 2015)
Residue cover and tillage mapping	Existing methods that measure crop residues are laborious, and largely inappropriate for field-scale to regional estimates; quantify residue effects on soil temperature and water	Thermal images can be used for crop residue variability assessment; plots with greater amounts of residue cover have lower surface temperature	Regional	Airborne	Sullivan et al. (2004) and Kozak et al. (2007)
Crop maturity mapping	Characteristics of produce (i.e., fruit and vegetables) at pre- and post-harvest stages are unknown	Thermal imaging could be used for-analysis of pre-harvest conditions, evaluation of post-harvest climate, microbial infestation, freshness status of produce	Laboratory	Ground	Linke et al. (2000)
Crop yield mapping	Hand harvesting of specialty crops is expensive; fruit recognition is difficult; need for an easy method for counting of fruits and estimating their yield	Possible to predict the yield of fruit; aids in developing robotic fruit harvesting	Orchard	Ground	Bulanon et al. (2008) and Stajniko et al. (2004)

4. Termografia

Crop Water Stress Index (CWSI)

CWSI é definido como a diferença entre a temperatura do ar (T_a) e da canóia (T_c), normalizada para a demanda evaporativa determinada por meio de um limite inferior (quando a canóia transpira à sua taxa potencial máxima) e um limite superior (quando a canóia não transpira).

$$CWSI = \frac{T_c - T_{wet}}{T_{dry} - T_{wet}}$$

T_c = Temperatura da canóia

T_{wet} = Temperatura à taxa máxima de transpiração (referência)

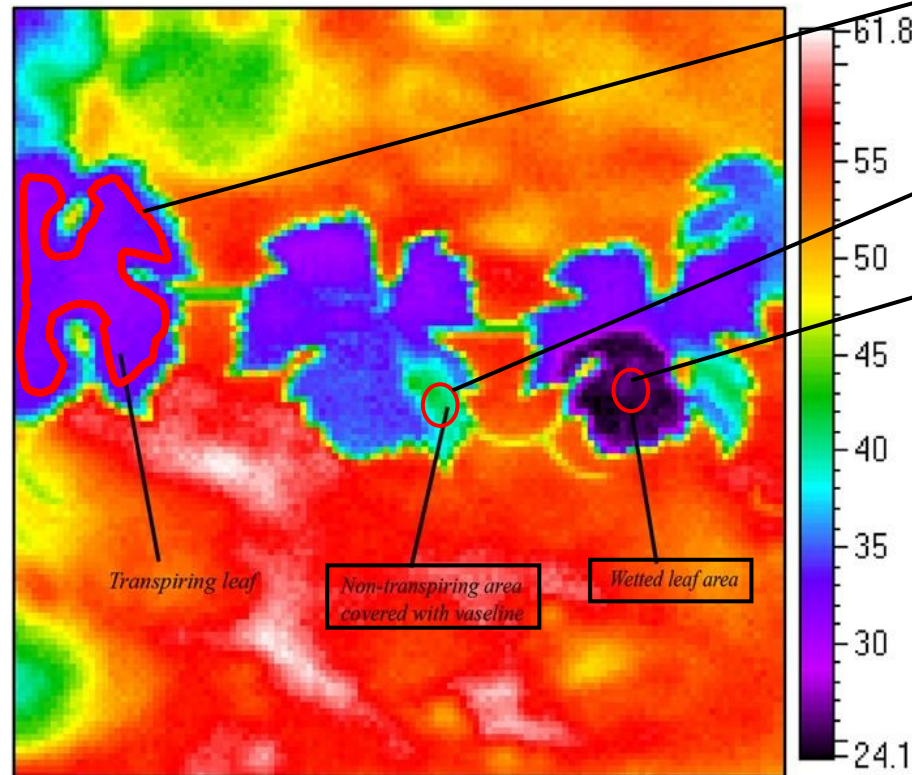
T_{dry} = Temperatura à taxa mínima de transpiração (referência)

Jackson, R. D., Idso, S. B., Reginato, R. J., & Pinter Jr, P. J. (1981). Canopy temperature as a crop water stress indicator. Water resources research, 17(4), 1133-1138.

4. Termografia

Crop Water Stress Index (CWSI)

Como calcular:



$T_c = \sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}$

$T_{dry} = \sim 45\text{ }^{\circ}\text{C}$

$T_{wet} = \sim 25\text{ }^{\circ}\text{C}$

$$CWSI = \frac{T_c - T_{wet}}{T_{dry} - T_{wet}}$$

$$CWSI = \frac{30 - 25}{45 - 25} = 0,25$$

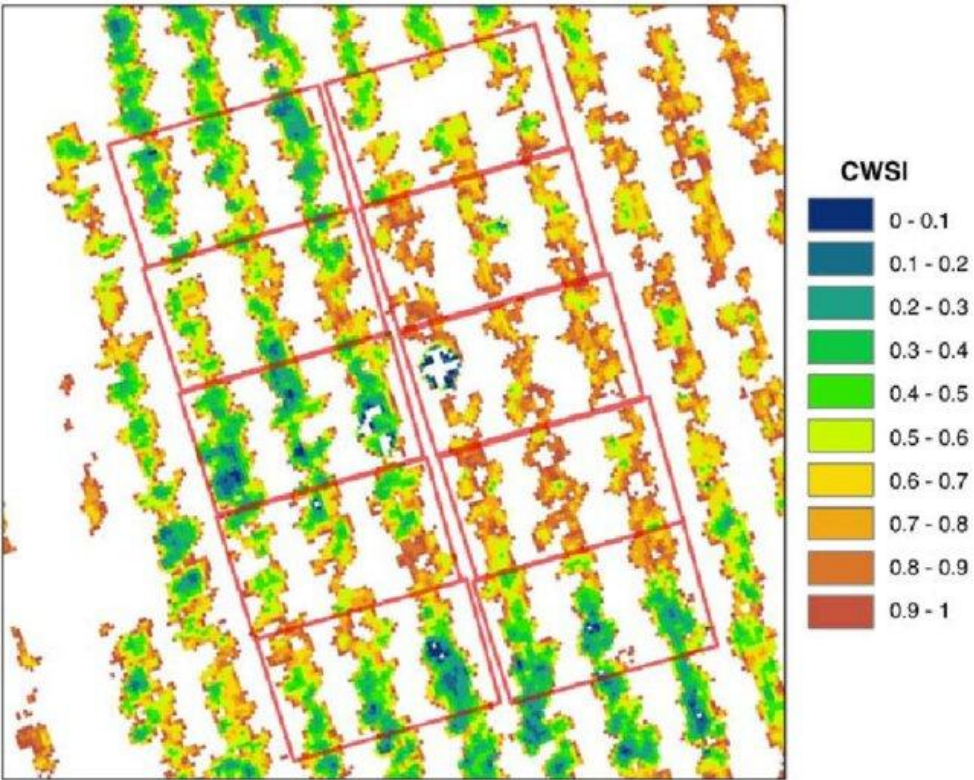
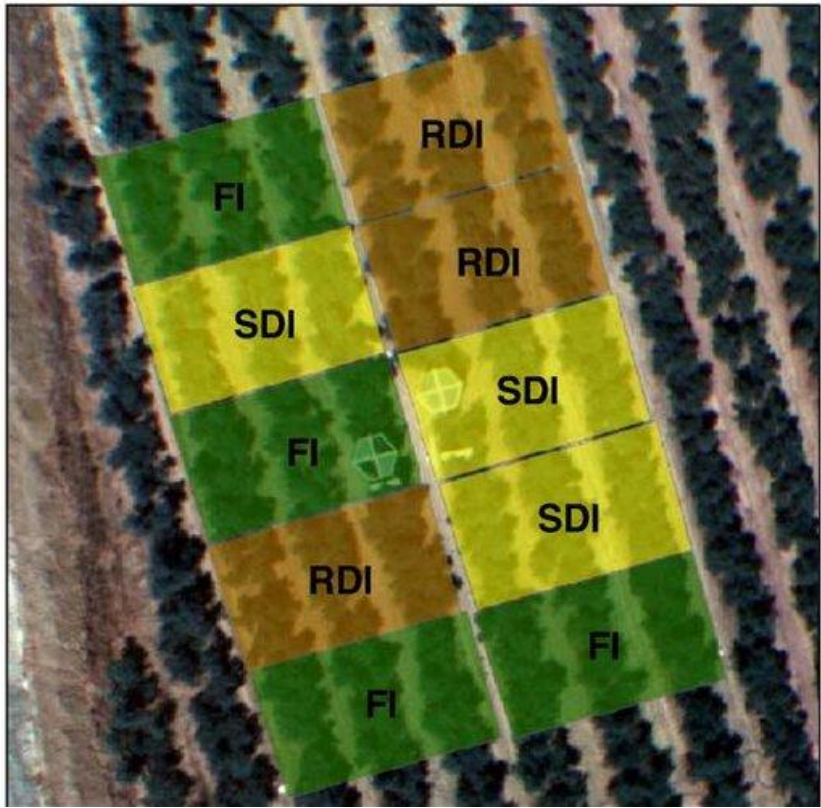
Varia entre 0 e 1

O que significa um valor baixo vs elevado?

4. Termografia

Olival

Berni, J. A. J. (2009). Determinación del estado hídrico de la vegetación mediante teledetección basada en vehículos aéreos no tripulados. Universidad de Córdoba: Córdoba, Spain.



FI = Full irrigation (100% ETc); **SDI** = Sustained Deficit Irrigation (25% ETc);
RDI = Regulated Deficit Irrigation (40% Etc (1 month) followed by no irrigation (2 months))

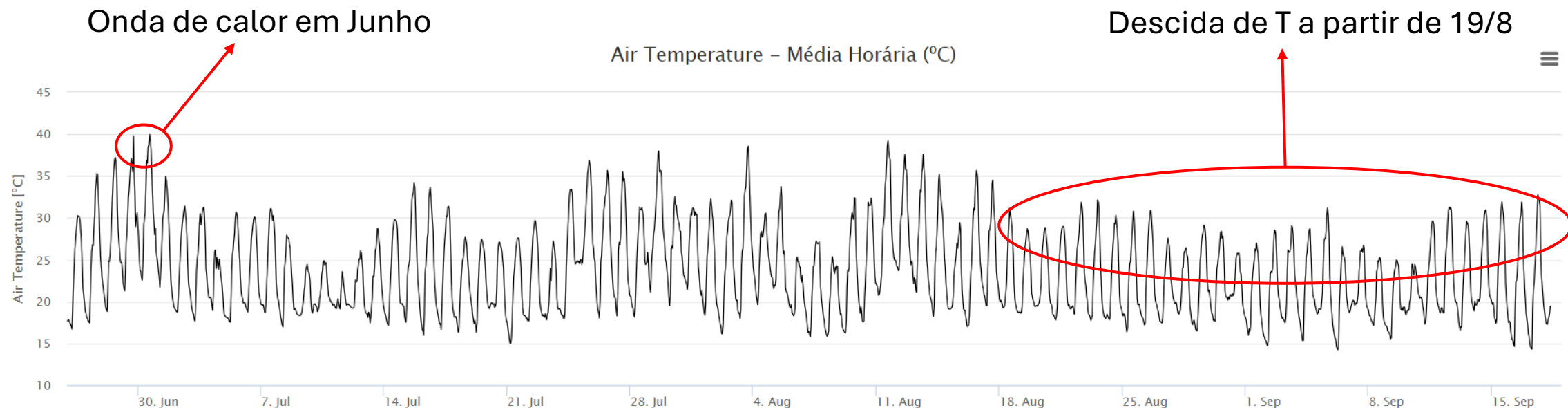
Twet and Tdry replaced by physical models in this study

5. Estações Meteorológicas

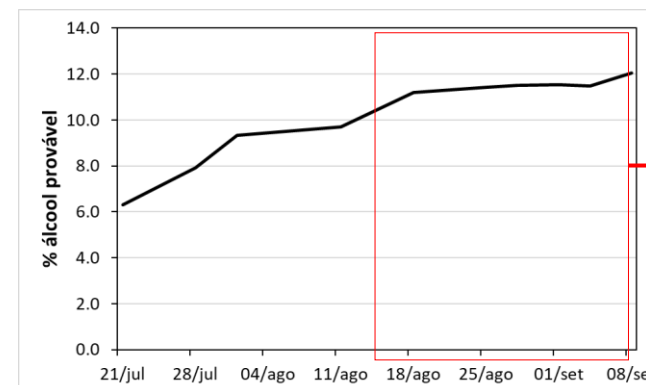


5. Estações Meteorológicas

Alguns exemplos de dados obtidos e relação agronómica



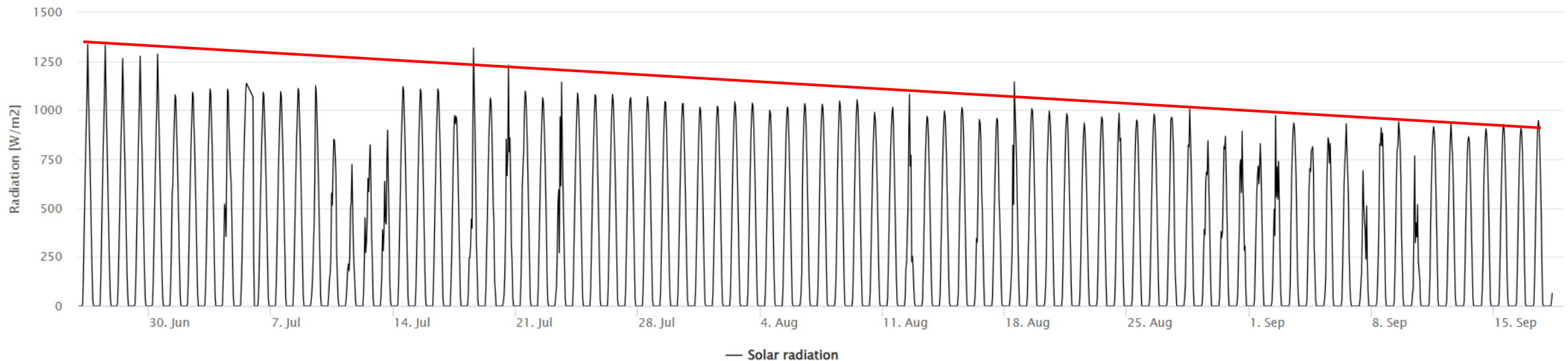
Escaldão
solar nas uvas



Estagnação
da maturação
das uvas

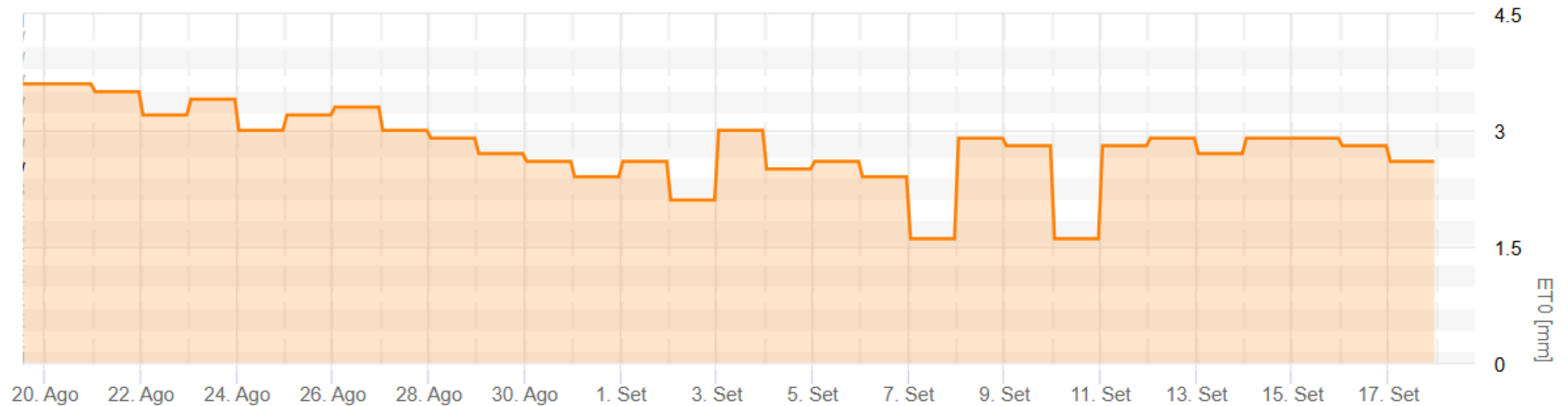
5. Estações Meteorológicas

Alguns exemplos de dados obtidos e relação agronómica



5. Estações Meteorológicas

Alguns exemplos de dados obtidos e relação agronómica



6. Condutividade elétrica do solo (CEa) e Zonagem



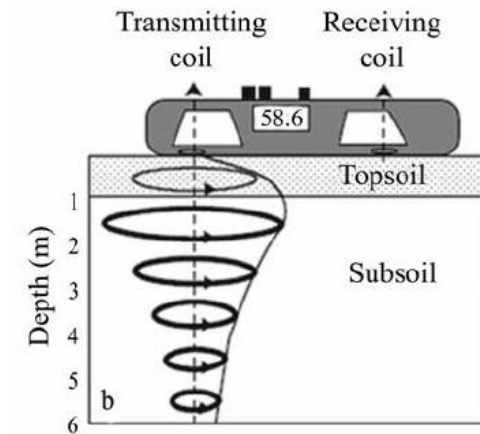
EM38 device

EMI (Electromagnetic induction sensor)

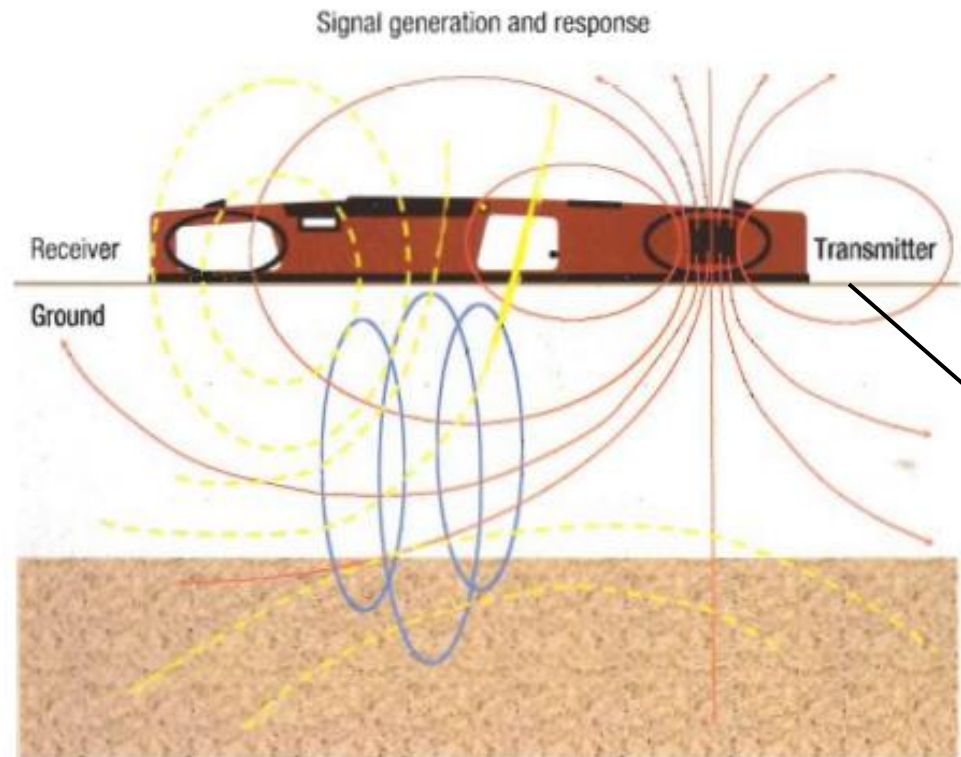
Profundidade teórica de medição

(Eléktodos separados de 1 m e 0.5 m do emissor):

- 1.5 m e 0.75 m quando vertical
- 0.75 m e 0.375 m quando horizontal

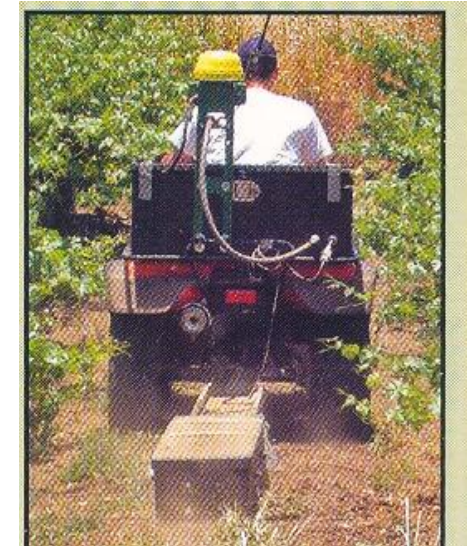


6. Condutividade elétrica do solo (CEa) e Zonagem



Campo
eletromagnético

Desenvolvido inicialmente
para estudar salinidade
dos solos



Proffitt, T. (2006). *Precision viticulture: a new era in vineyard management and wine production*. Winetitles.

6. Condutividade elétrica do solo (CEa) e Zonagem

A **condutividade elétrica aparente do solo** resulta de três vias principais de condução:

- pela **água** no solo que contém sais dissolvidos
- pela **interação entre a água e as superfícies das argilas** com capacidade de troca catiónica, e
- pelo contacto direto entre as **próprias partículas do solo**.

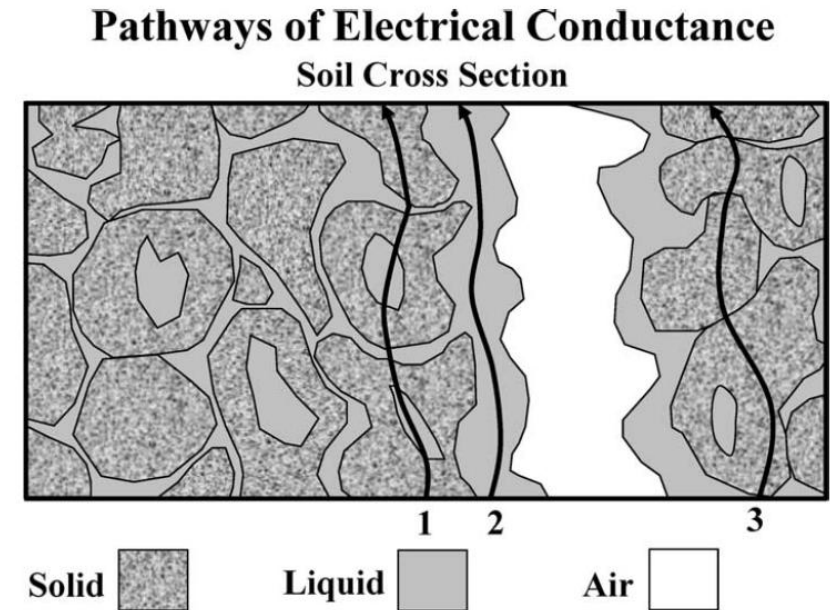


Fig. 1. Three conductance pathways for the EC_a measurement. Modified from Rhoades et al. (1989).

O teor de humidade varia ao longo do tempo – influenciando a medição

Rhoades, J.D., Corwin, D.L., Lesch, S.M., 1999a. Geospatial measurements of soil electrical conductivity to assess soil salinity and diffuse salt loading from irrigation. In: Corwin, D.L., Loague, K., Ellsworth, T.R. (Eds.), Assessment of Non-point Source Pollution in the Vadose Zone. Geophysical Monograph 108. American Geophysical Union, Washington, DC, USA, pp. 197–215.

6. Condutividade elétrica do solo (CEa) e Zonagem

Fatores que influenciam a condutividade elétrica aparente (ECa)

- **Salinidade do solo (concentração de íons na solução do solo)** → os sais dissolvidos são os principais responsáveis pela condutividade em solos húmidos.
- **Humidade do solo (teor de água)** → a água aumenta a condutividade porque permite o movimento dos íons.
- **Textura e estrutura do solo** → solos mais finos (argilosos) retêm mais água e íons, resultando geralmente em valores de ECa mais altos do que areias.
- **Temperatura do solo** → afeta a mobilidade iónica.

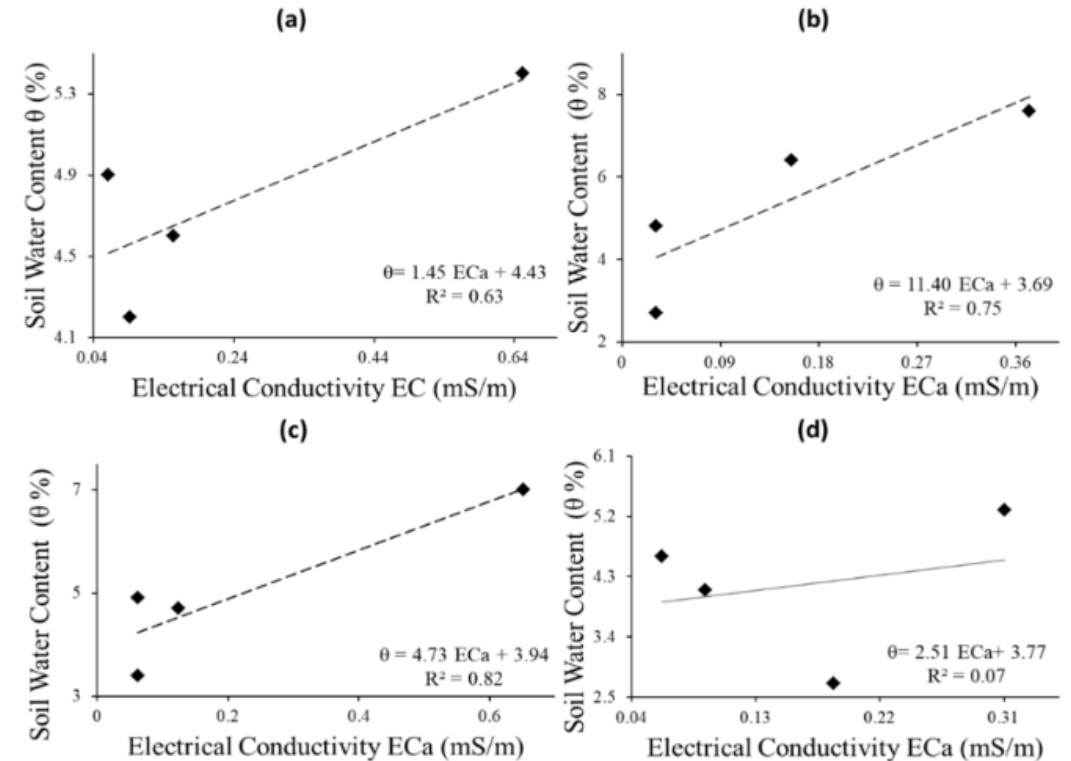


Figure 8. Relationship between in situ soil electrical conductivity and soil water content at varying soil depths at sampled locations, (a) represent the relationship of ECa and Soil water content at 0 to 0.25 m depth, (b) 0.25 to 0.50 m depth, (c) 0.50 to 0.75 m depth and (d) denotes a relationship at 0.75 to 1 m depth.

D.L. Corwin, S.M. Lesch (2005). Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. Computers and Electronics in Agriculture, Volume 46, Issues 1–3, Pages 11-43, ISSN 0168-1699

Ratshiedana, P. E., Abd Elbasit, M. A., Adam, E., Chirima, J. G., Liu, G., & Economon, E. B. (2023). Determination of soil electrical conductivity and moisture on different soil layers using electromagnetic techniques in irrigated arid environments in South Africa. *Water*, 15(10), 1911.

6. Condutividade elétrica do solo (CEa) e Zonagem

Uso relativo do CEa

- Útil para **detetar padrões espaciais** no campo.
- Requer **condições de humidade uniformes** (mesmo dia, teor de água semelhante).
- Os padrões refletem diferenças de:
 - Textura do solo
 - Teor de matéria orgânica
 - Compactação

6. Condutividade elétrica do solo (CEa) e Zonagem

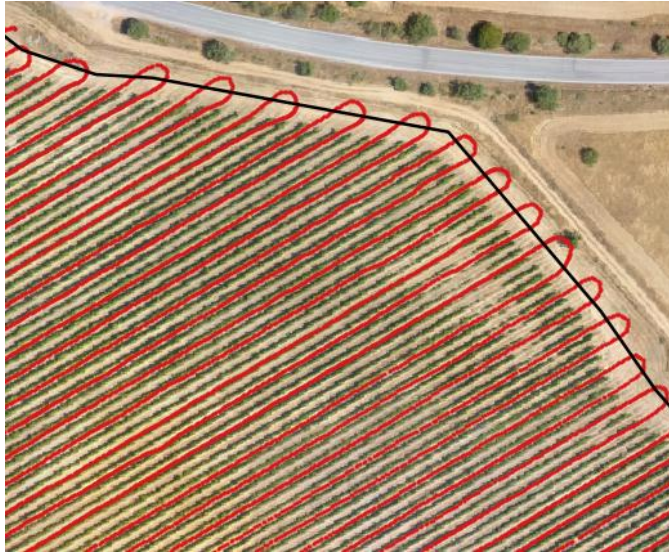


57

<https://www.youtube.com/watch?v=6ZCv9FHST-w>

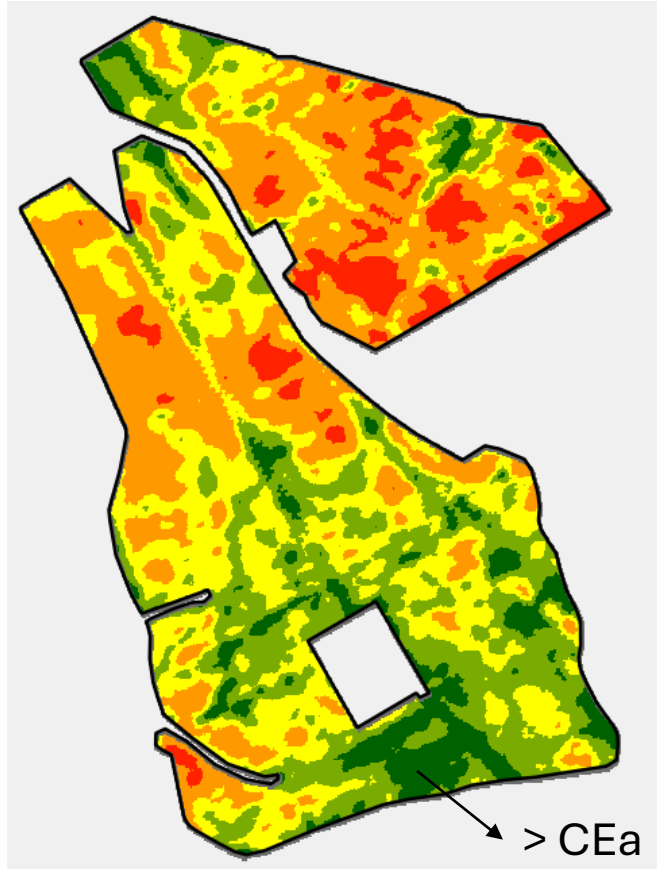
6. Condutividade elétrica do solo (CEa) e Zonagem

Exemplo de output

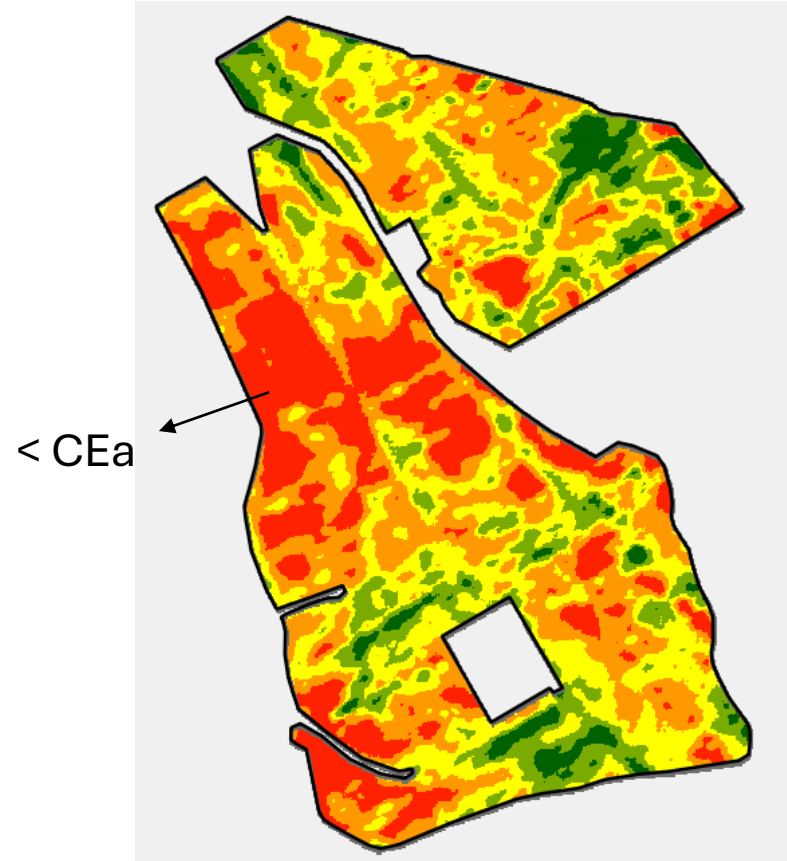


ECa = Eletroconductivity = CEa

6. Condutividade elétrica do solo (CEa) e Zonagem



Profundidade: 0.5 m



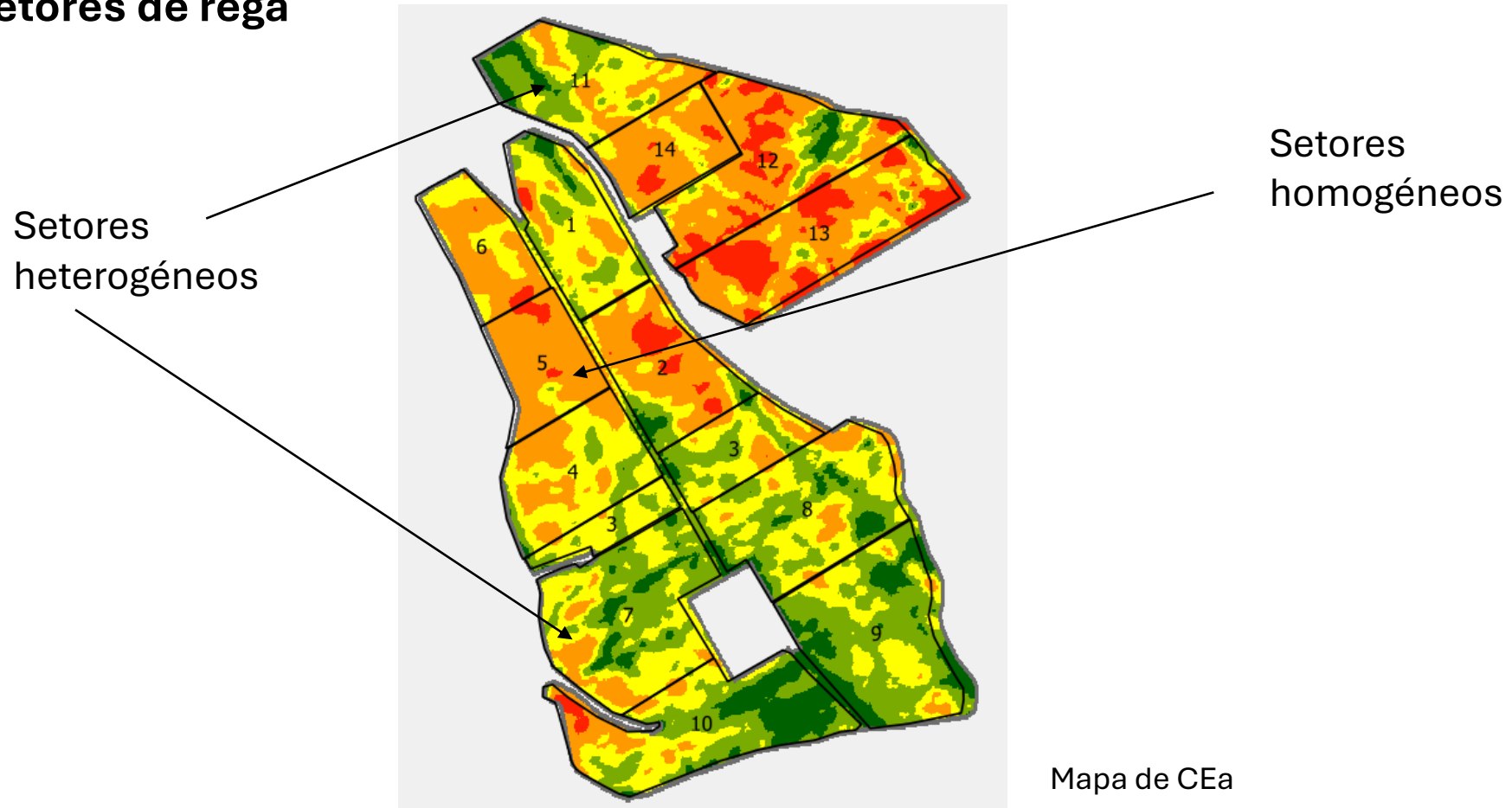
Profundidade: 1 m



NDVI

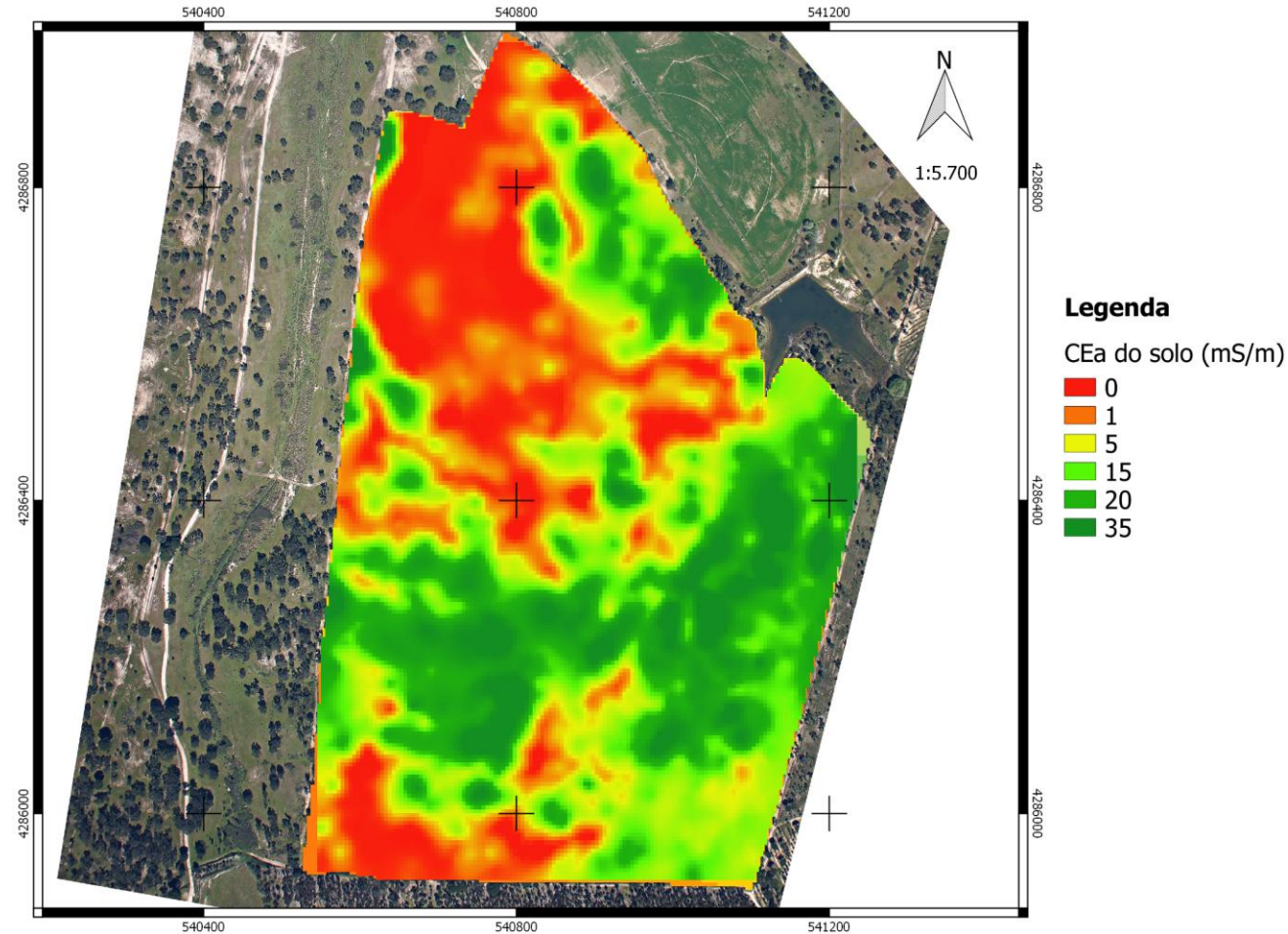
6. Condutividade elétrica do solo (CEa) e Zonagem

Definição de setores de rega



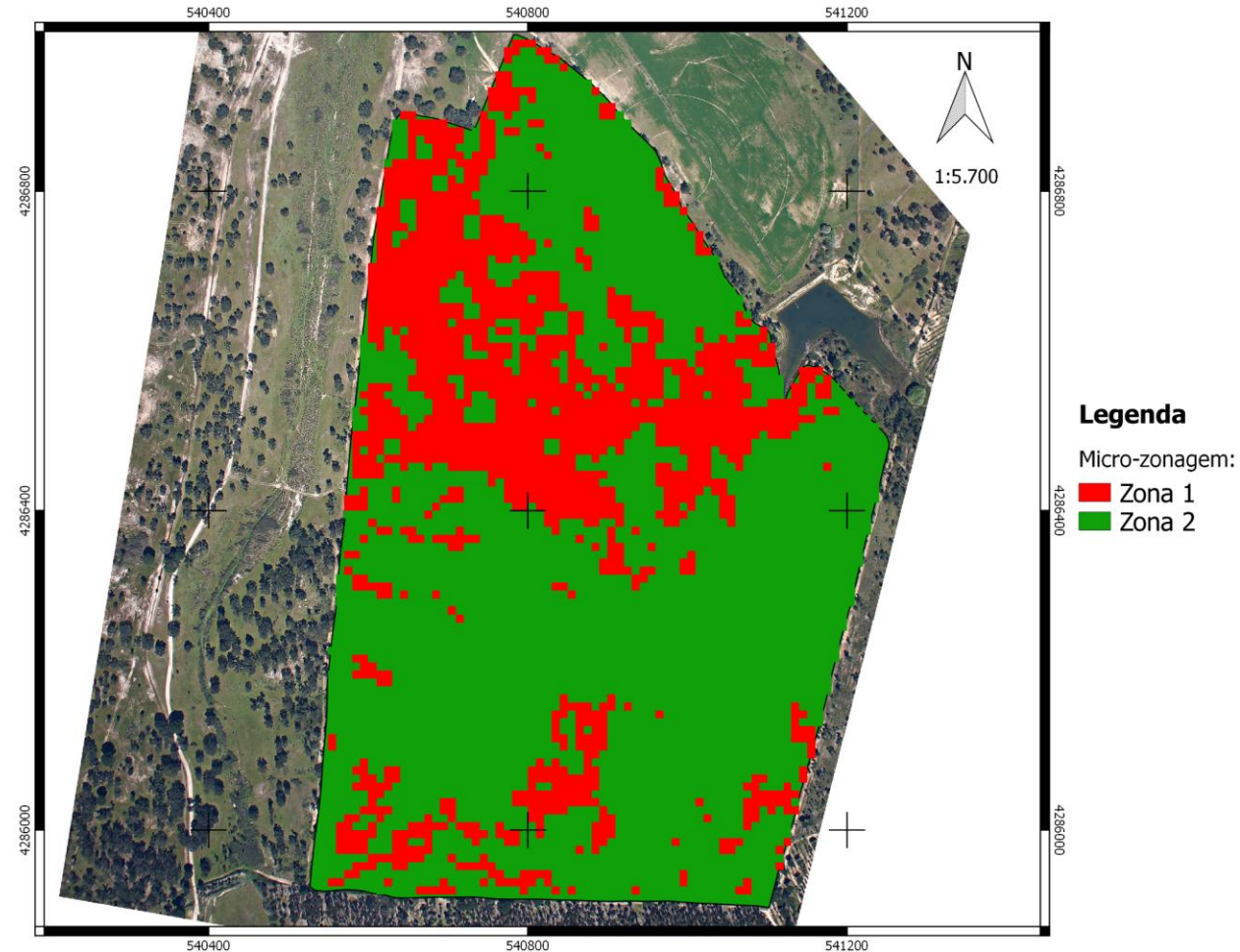
6. Condutividade elétrica do solo (CEa) e Zonagem

Localização de sondas de humidade do solo



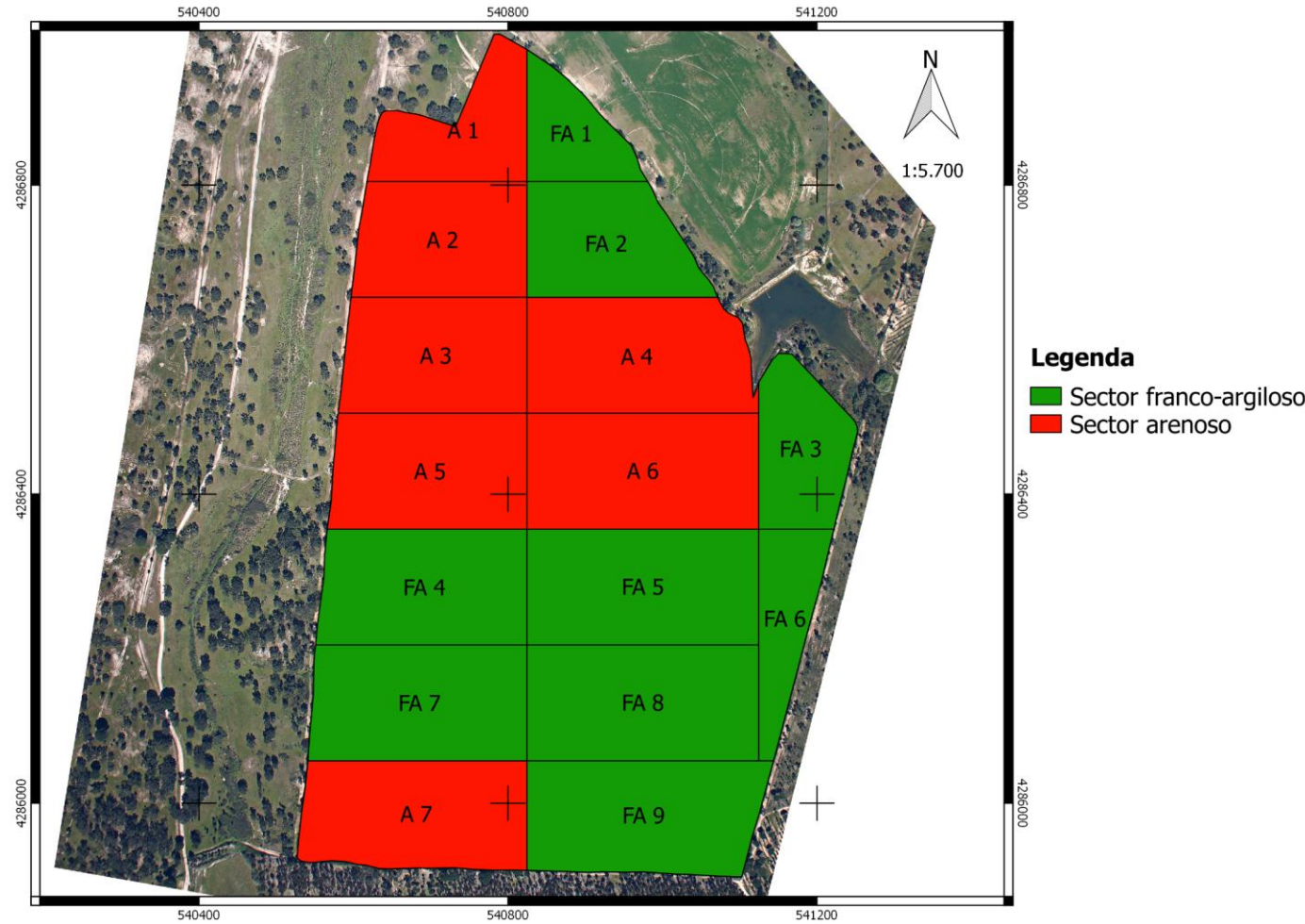
6. Condutividade elétrica do solo (CEa) e Zonagem

Localização de sondas de humidade do solo



6. Condutividade elétrica do solo (CEa) e Zonagem

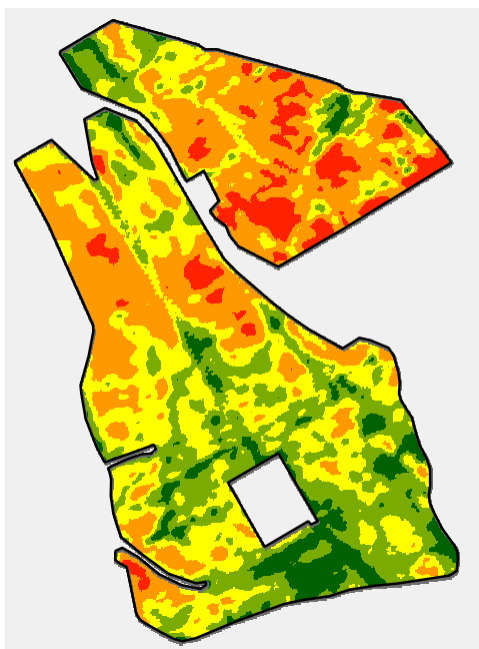
Localização de sondas de humidade do solo



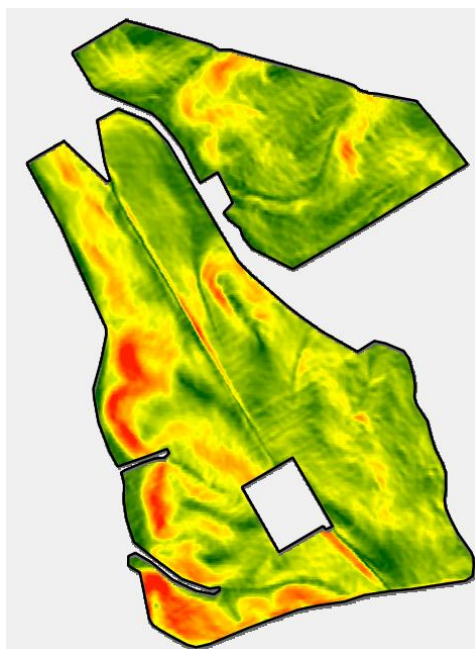
6. Condutividade elétrica do solo (CEa) e Zonagem

Zonagem com várias camadas de informação

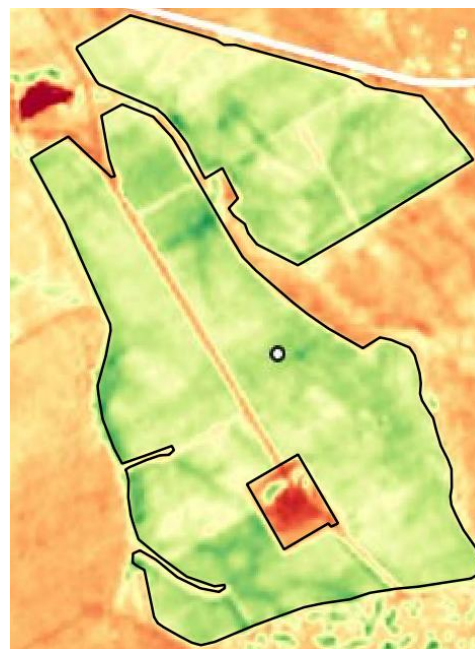
Ex. ECa, MDT, NDVI e PRODUTIVIDADE



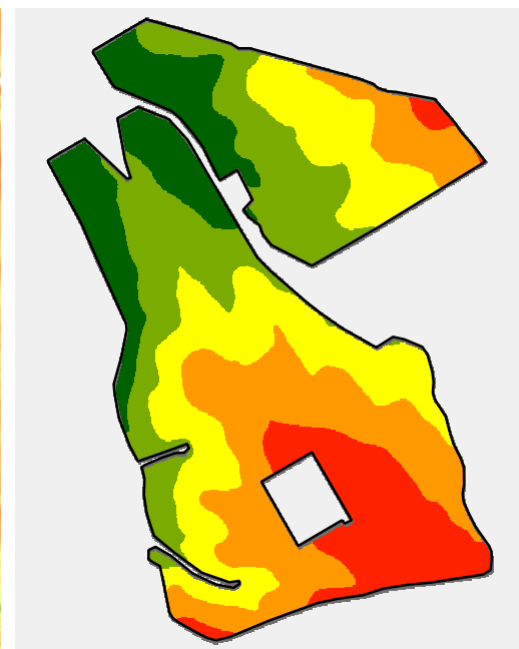
ECa



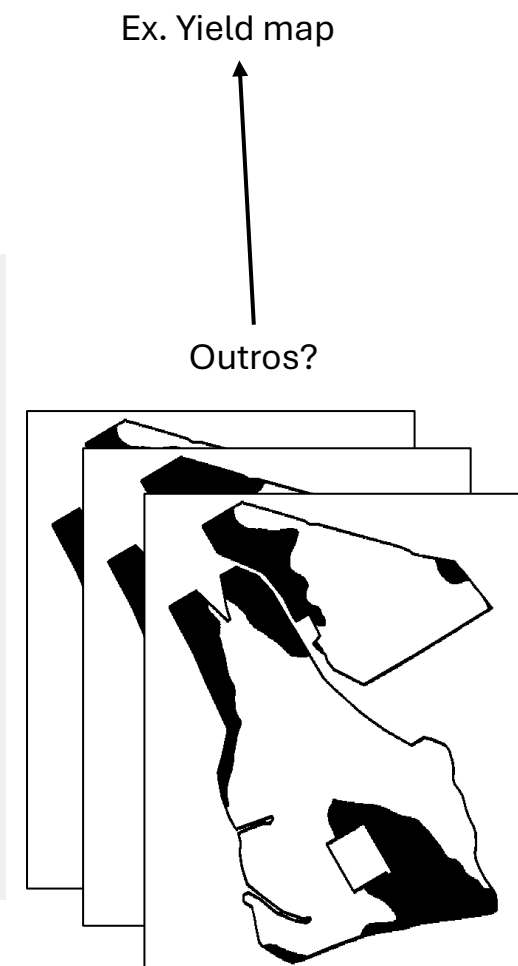
Declive



NDVI



Altimetria



Decisões: mobilização do solo, porta-enxertos, castas, correções, setores de rega, orientação de linhas, etc.

6. Condutividade elétrica do solo (CEa) e Zonagem

Aplicação diferenciada de estrume

