

**Análise da variabilidade espacial e temporal da  
fertilidade do solo e do estado nutricional das plantas  
para fertilização da vinha com apoio da Tecnologia a  
Taxa Variável (VRT)**

**Mafalda Pessoa Fragoso Bento**

Dissertação para obtenção de Grau de Mestre em

**Engenharia Agronómica**

Orientadores: Doutor Ricardo Nuno Fonseca Garcia Pereira Braga  
Doutor Henrique Manuel Filipe Ribeiro

**Júri:**

Presidente: Doutora Maria do Rosário da Conceição Cameira, Professora Associada do  
Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Vogais: Doutor José Paulo Pimentel de Castro Coelho, Professor Associado com Agregação  
do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Doutor Ricardo Nuno Fonseca Garcia Pereira Braga, Professor Auxiliar do Instituto  
Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Lisboa, 2018



## Resumo

Este trabalho consiste no estudo do potencial de uso de uma tecnologia da Agricultura de Precisão – Tecnologia a Taxa Variável (VRT) - numa parcela de 1,7 ha de vinha, localizada na Tapada da Ajuda, em Lisboa. Se corretamente implementada, a VRT possibilita o aumento da eficiência do uso de recursos, do rendimento das culturas e a redução do impacto ambiental da atividade agrícola.

A variabilidade espacial da parcela foi monitorizada através da recolha e análise de amostras de solo e de folhas para 80 pontos da vinha e extrapolados os valores dos pontos não amostrados, através do método de interpolação *kriging*, criando-se cartas da distribuição espacial de cada um dos parâmetros analisados. Foram utilizados os resultados da amostragem do ano anterior para avaliar a variabilidade temporal dos parâmetros. Foi efetuada uma recomendação de fertilização de precisão, considerando os 80 pontos amostrados geo-referenciados, e esta foi comparada com a recomendação de fertilização convencional.

Praticamente todos os parâmetros do solo e foliares estudados apresentaram variabilidade espacial dentro da parcela de 1,7 ha de vinha. Os parâmetros que menos variam são o pH (H<sub>2</sub>O) (c.v.=5,5%) e o azoto amoniacal (c.v.=11,62%), contrastando com o teor de Zn extraível (c.v.=133,93%), condutividade elétrica (c.v.=118,86%) e teor de Na de troca (c.v.=105,29%), parâmetros de maior variabilidade espacial. Os padrões de variabilidade espacial mantiveram-se constantes de um ano para o outro para a maioria dos parâmetros analisados (baixa variabilidade temporal). A recomendação de fertilização de precisão diferiu da recomendação convencional em menos 2,4 kg de azoto, mais 3,8 kg de fósforo e menos 28,9 kg de potássio.

Encontrando-se reunidos os requisitos para o uso da VRT na vinha em estudo, resta avaliar o seu custo de implementação, sendo que este deverá ser inferior ao benefício gerado para que a sua adoção seja viável.

**Palavras-chave:** Agricultura de Precisão; *Variable Rate Technology*; Fertilização de Precisão; Fertilidade do Solo; Vinha

## Abstract

This work intends to study the potential use of a precision agriculture's technology – Variable Rate Technology (VRT) – on a 1,7 ha vineyard, located in Lisbon, Tapada da Ajuda. If properly implemented, VRT allows increasing the input use efficiency, the crop profit, as well as reducing the environmental impact of agricultural activities.

Spatial variability of the vineyard was monitored by soil and leaf sampling and analysis for 80 points, and the values for the non-sampled points were extrapolated, through the use of an interpolation method – kriging, that enabled mapping the spatial distribution of each variable. The results obtained for the previous year were used to evaluate temporal variability of the soil and leaf parameters. A precision fertilization recommendation was generated, considering the 80 geo-referenced points, and was compared with the conventional fertilization recommendation.

Almost every soil and leaf parameter studied showed spatial variability within the 1,7 vineyard. The parameters with the lower variability were the pH (H<sub>2</sub>O) (c.v.=5,5%) and the ammoniacal nitrogen (c.v.=11,62%), in contrast to the extractable Zn content (c.v.=133,93%), electrical conductivity (c.v.=118,86%) and exchangeable N content (c.v.=105,29%), being the parameters with the highest spatial variability. The spatial variability patterns have been preserved from one year to the next one for almost all of the parameters (low temporal variability). The precision fertilization recommendation differed from the conventional recommendation, in less 2,4 kg of nitrogen, more 3,8 kg of phosphorus and less 28,9 kg of potassium.

VRT use conditions are respected in this case, which leaves the need to assess the implementation costs, that need necessarily to be lower than the profit obtained, in order to the use of this technology (VRT) to be feasible.

**Key words:** Precision Agriculture; Variable Rate Technology; Precision Fertilization; Soil Fertility; Vineyard

# Índice Geral

Lista de Quadros .....	vii
Lista de Figuras .....	viii
Abreviaturas.....	ix
<b>1. Introdução.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Objetivos .....</b>	<b>2</b>
<b>2. Revisão Bibliográfica.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. Importância da Cultura da Vinha em Portugal e no Mundo .....</b>	<b>3</b>
2.1.1. Cultura da Vinha em Portugal .....	3
2.1.2. Cultura da Vinha no Mundo .....	5
<b>2.2. Agricultura de Precisão.....</b>	<b>8</b>
2.2.1. Conceito .....	8
2.2.2. Tecnologias .....	9
2.2.3. Viticultura de Precisão .....	13
<b>2.3. Fertilização.....</b>	<b>14</b>
2.3.1. Fertilização da Vinha .....	14
2.3.2. Fertilização de Precisão .....	15
<b>2.4. Viticultura de Precisão – VRT na Vinha.....</b>	<b>18</b>
<b>3. Material e Métodos.....</b>	<b>21</b>
<b>3.1. Caracterização do ensaio.....</b>	<b>21</b>
3.1.1. Descrição da parcela.....	21
3.1.2. Caracterização edafo-climática .....	22
<b>3.2. Delineamento experimental e metodologia geral do ensaio.....</b>	<b>25</b>
<b>3.3. Metodologias de recolha e de análise laboratorial de dados de campo.....</b>	<b>27</b>
3.3.2. Análises laboratoriais ao solo .....	27
3.3.4. Análises laboratoriais foliares.....	28
<b>3.4. Análise estatística dos dados .....</b>	<b>29</b>
3.4.1. Análise estatística espacial - Kriging .....	29
<b>3.6. Recomendação de Fertilização.....</b>	<b>31</b>
<b>4. Resultados e Discussão.....</b>	<b>32</b>

<b>4.1. Ano 1</b> .....	32
<b>4.1.1. Estatística descritiva</b> .....	32
<b>4.1.2. Análise de correlação</b> .....	33
<b>4.2. Ano 2</b> .....	34
<b>4.2.1. Estatística descritiva</b> .....	34
<b>4.2.2. Análise de correlação</b> .....	35
<b>4.4. Distribuição espacial das variáveis na parcela</b> .....	42
<b>4.5. Recomendação de fertilização</b> .....	46
<b>4.5.1. Recomendação Convencional</b> .....	47
<b>4.5.2. Recomendação de Precisão</b> .....	48
<b>5. Conclusões</b> .....	52
<b>6. Referências Bibliográficas</b> .....	54
<b>7. Anexos</b> .....	61

## Lista de Quadros

Quadro 1 - As 10 castas mais produzidas em Portugal Continental .....	3
Quadro 2 - Produção e área de vinha em Portugal continental no ano de 2016 .....	4
Quadro 3 - Consumo per capita de vinho em Portugal para o período 2012 - 2017 .....	4
Quadro 4 - Exportações de vinho por tipo de produto em volume e em valor no ano de 2017 .....	5
Quadro 5 - Evolução da área mundial de vinha entre 2012 e 2016.....	6
Quadro 6 - Evolução da produção mundial de vinha entre 2012 e 2016 .....	7
Quadro 7 - Evolução do consumo mundial de vinho entre 2012 e 2016.....	8
Quadro 8 - Dados analíticos do perfil.....	23
Quadro 9 - Estatística descritiva dos parâmetros do solo analisados no ano 1.....	32
Quadro 10 - Análise de correlação para os parâmetros do solo do ano 1.....	33
Quadro 11 - Estatística descritiva dos parâmetros do solo analisados no ano 2.....	34
Quadro 12 - Estatística descritiva dos nutrientes foliares analisados no ano 2.....	35
Quadro 13 - Análise de correlação para os parâmetros do solo do ano 2.....	38
Quadro 14 - Análise de correlação para os nutrientes foliares analisados no ano 2.....	39
Quadro 15 - Correlações importantes entre parâmetros do solo e nutrientes foliares .....	40
Quadro 16 - Correlação entre a relação $Ca_{troca}/Mg_{troca}$ e os teores foliares de Ca e de Mg.....	40
Quadro 17 - Correlação entre a relação $K_{troca}/Mg_{troca}$ e os teores foliares de K e de Mg .....	40
Quadro 18 - Análise temporal para os parâmetros do solo – comparação das médias de cada variável para o ano 1 e para o ano 2 .....	42
Quadro 19 - Comparação das cartas geradas para cada variável – Comparação temporal e Comparação 60 pontos vs 80 pontos .....	46
Quadro 20 - Parâmetros usados para a recomendação de fertilização convencional e respetivo valor.....	47
Quadro 21 - Recomendação de fertilização convencional da parcela de vinha, recorrendo aos valores médios obtidos para os 80 pontos analisados.....	47
Quadro 22 - Quantidade de adubo a aplicar em fertilização de precisão em comparação com a fertilização convencional.....	51
Quadro 23 - Caracterização das castas presentes na vinha da Meia Encosta .....	62
Quadro 24 - Operações culturais realizadas na Vinha da Meia Encosta.....	68

## Lista de Figuras

Figura 1 - Fotografia aérea da Vinha da Meia Encosta, delimitada pela linha preta .....	21
Figura 2 - Diagrama Termo-Pluviométrico, para a Tapada da Ajuda, período de 1951 – 1980.....	23
Figura 3 - Diagrama Termo-Pluviométrico, para a Tapada da Ajuda, Ano 2017 .....	24
Figura 4 - Desvio da precipitação e temperatura médias mensais do ano 2017 em relação à normal (1951 – 1980) .....	24
Figura 5 - Localização dos pontos de amostragem na vinha (coordenadas Linha x Estação).....	26
Figura 6 - Representação esquemática dos parâmetros de um modelo de Semi-variograma: Nugget, Sill e Range. ....	30
Figura 7 - Relação $K_{troca}/Mg_{troca}$ para cada ponto amostrado da vinha .....	36
Figura 8 - Relação $Ca_{troca}/Mg_{troca}$ para cada ponto amostrado da vinha .....	37
Figura 9 - Carta de Prescrição $P_2O_5$ .....	49
Figura 10 - Carta de Prescrição $K_2O$ .....	49
Figura 11 - Carta de Prescrição $P_2O_5$ .....	50

## **Abreviaturas**

SAU – Superfície Agrícola Utilizável

DO – Denominação de Origem

DOP – Denominação de Origem Protegida

IGP – Indicação Geográfica Protegida

AP – Agricultura de Precisão

CE – Condutividade elétrica

CEa - Condutividade elétrica aparente

DR – Detecção Remota

FP – Fertilização de Precisão

VP – Viticultura de Precisão

VRT – Variable Rate Technology

## 1. Introdução

De acordo com Braga (2009b), a vinha e o vinho constituem um dos setores mais importantes em Portugal. A indústria do vinho apresenta valores muito positivos na balança comercial nacional, gerando grandes volumes de negócios, de elevado valor acrescentado, cria quantidades significativas de emprego, e promove a ocupação das zonas rurais do país (Agroges, n.d.). A cultura da vinha ocupa 4,2% da Superfície Agrícola Utilizável (SAU) nacional (INE, 2017), demonstrando a importância desta cultura para a agricultura Portuguesa. Assim, aumentar a sua competitividade é de elevado interesse a nível nacional.

Atualmente, os desafios que se colocam aos sistemas agrícolas são: o aumento da produtividade das culturas (t/ha), a adaptação às alterações climáticas, a utilização racional de fatores de produção, e a redução do impacto ambiental nos sistemas naturais (Amador & Carlos, 2016). O conjunto destes fatores conduz à agricultura sustentável. A Agricultura de Precisão (AP) constitui uma via para a agricultura sustentável.

Ao longo da história da agricultura, para a maioria das culturas, sempre se tentou que a aplicação dos fatores de produção fosse o mais uniforme possível dentro das parcelas de produção (Sawyer, 1994). A AP contrasta com a agricultura convencional no sentido em que a primeira gere as parcelas tendo em conta a variabilidade espacial existente, ao passo que a segunda as gere como um todo, baseando a tomada de decisão em valores médios calculados para toda a parcela (Coelho & Silva, 2009).

A variação no teor de água facilmente utilizável pela cultura, o tipo de solo, variações na orientação e no declive do terreno, diferentes padrões de drenagem, diferentes níveis de incidência de pragas e doenças, a incorreta aplicação de fertilizantes e de produtos fitossanitários, entre outras incorretas práticas culturais, contribuem para a existência de variabilidade intra-parcelar (Braga, 2009b).

O objetivo da AP é gerir a aplicação de *inputs* de acordo com o aumento desejado em termos de eficiência do uso de recursos, redução do risco ambiental e controlo do processo produtivo. A AP é um sistema de gestão aplicável a qualquer *input* controlável pelo homem, tendo início num processo de aquisição de informação detalhada com posterior interpretação, ação e avaliação dos resultados (Cook & Bramley, 1998).

A AP utiliza um conjunto de tecnologias, como o *Global Positioning System* (GPS), Sistemas de Informação Geográfica (SIG), sistemas de monitorização da produtividade, deteção remota, mapeamento de solos com base na condutividade elétrica e a Tecnologia a Taxa Variável (VRT). É nesta última tecnologia que este trabalho incide, para a realização da fertilização de uma parcela de vinha.

A Fertilização de Precisão (FP) é uma das vertentes da AP, que se baseia no uso da Tecnologia a Taxa Variável para a aplicação de nutrientes de forma dirigida, conforme as necessidades da cultura em cada ponto da parcela. Contudo, existem casos em que a variabilidade da produtividade não compensa a aplicação diferenciada dos fatores de produção (Braga & Pinto, 2011). O potencial de uso da Fertilização de Precisão é tanto maior quanto maior for a dependência espacial de um certo nutriente ou propriedade do solo (elevada variabilidade espacial), e maior for a sua estabilidade ao longo do tempo (baixa variabilidade temporal). Padrões demasiado aleatórios de variabilidade espacial não favorecem o uso desta tecnologia (Pierce & Nowak, 1999).

Com este trabalho, pretende-se (1) analisar a variabilidade espacial e temporal de parâmetros de fertilidade de um solo, assim como o estado nutricional das plantas nele presentes; (2) definir metodologias para a recolha e análise de dados que permitam avaliar o potencial de uso da Tecnologia a Taxa Variável, e (3) comparar a recomendação de fertilização de precisão com a recomendação de fertilização média para a mesma parcela. O trabalho experimental foi realizado numa parcela de vinha localizada na Tapada da Ajuda.

### **1.1. Objetivos**

Os objetivos concretos desta dissertação são:

- ✓ Avaliar a variabilidade espacial do teor de nutrientes no solo, da condutividade elétrica, do pH, da matéria orgânica e do estado nutricional das plantas numa parcela de vinha;
- ✓ Avaliar a variabilidade temporal do teor de nutrientes, da condutividade elétrica, do pH e da matéria orgânica;
- ✓ Analisar o potencial de uso da Tecnologia a Taxa Variável (VRT) para Fertilização de Precisão dessa parcela;
- ✓ Efetuar a recomendação de Fertilização de Precisão para a parcela em estudo, com base nas análises de solo e de plantas efetuadas, e comparar com a fertilização média para a mesma parcela.

## 2. Revisão Bibliográfica

### 2.1. Importância da Cultura da Vinha em Portugal e no Mundo

#### 2.1.1. Cultura da Vinha em Portugal

O setor do vinho é um setor prioritário para a economia nacional. Este gera elevados volumes de negócios, de elevado valor acrescentado, cria quantidades significativas de emprego, e promove a ocupação das zonas rurais do país (Agroges, n.d.).

No Quadro 1 é possível observar as dez castas mais produzidas em Portugal continental. O conjunto destas castas representa 54% da área vitícola nacional (IVV, 2018).

Quadro 1 - As 10 castas mais produzidas em Portugal Continental

<b>Casta</b>	<b>Cor</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>%</b>
Aragonez / Tinta Roriz / Tempranillo	T	18 133	9
Touriga Franca	T	15 407	8
Fernão Pires / Maria Gomes	B	12 979	6
Castelão / João de Santarém / Periquita	T	13 172	7
Touriga Nacional	T	12 394	6
Trincadeira / Tinta Amarela / Trincadeira Preta	T	10 700	5
Baga	T	7 105	4
Síria / Roupeiro / Códega	B	6 649	3
Arinto / Pedernã	B	6 106	3
Syrah / Shiraz	T	5 849	3

Fonte: IVV, 2018

Portugal continental conta com 9 regiões vitivinícolas: Minho, Trás-os-Montes, Douro, Beiras (incluindo as regiões da Beira Atlântico, Terras do Dão, Terras da Beira e Terras de Cister), Lisboa, Tejo, Península de Setúbal, Alentejo e Algarve (Anexo 1). As várias regiões diferem entre si na dimensão, clima, tipo de solos, infraestruturas existentes, agentes económicos, entre outros. Assim, têm-se diferentes produções de vinho nas diferentes regiões.

#### **Área e Produção**

O Quadro 2 representa a produção de vinho (hl e %) e a área de vinha (ha e %) em Portugal Continental no ano de 2016.

Quadro 2 - Produção e área de vinha em Portugal continental no ano de 2016

Região Vitivinícola 2016	Produção		Área	
	hl	%	ha	%
Minho	874 491	12,4	21 020	11,0
Trás-os-Montes	112 407	1,6	14 381	7,5
Douro	1 612 670	22,9	42 766	22,5
Beiras	908 250	12,9	47 940	25,1
Tejo	611 183	8,9	12 874	6,7
Lisboa	1 202 711	17,1	19 186	10,0
Península de Setúbal	504 129	7,2	7 203	3,8
Alentejo	1 152 184	16,3	23 375	12,3
Algarve	13 630	0,19	1 722	0,9
<b>Total</b>	<b>6 991 655</b>	<b>99,2</b>	<b>190 467</b>	<b>100</b>

Fonte: IVV, 2018

No ano de 2016, Portugal continental contava com uma área de 190 467 ha de vinha, repartida pelas 9 regiões vitivinícolas, correspondendo a 4,2% da SAU nacional - 3,6 milhões de hectares em 2016 (INE, 2017). A esta área correspondeu um volume total de 6 991 655 hl de vinho produzidos (IVV, 2018).

A região das Beiras é a região do país de maior área vitícola, representando 25,1% da área nacional de vinha, seguida da região do Douro, com 22,5% da área. Apesar da região das Beiras ser a de maior área vitícola, esta não é a que origina maiores volumes de produção. Tem-se vindo a verificar, ao longo dos anos, que o Douro é a região do país onde se produz mais vinho, com um total de 1 612 670 hl produzidos no ano de 2016, correspondendo a 22,5% da produção nacional. Desde o ano de 2010 que as três maiores regiões em termos de produção de vinho são o Douro, Lisboa - com 17,1% da produção em 2016, e o Alentejo - com 16,3%.

### Consumo

O Quadro 3 representa a evolução do consumo per capita de vinho (l/hab) em Portugal nos últimos 5 anos.

Quadro 3 - Consumo per capita de vinho em Portugal para o período 2012 - 2017

Período	Consumo (l/hab)
<b>2012/2013</b>	39,7
<b>2013/2014</b>	41,1
<b>2014/2015</b>	46,4
<b>2015/2016</b>	45,3
<b>2016/2017</b>	50,9

Fonte: (INE, 2017a)

O consumo per capita de vinho tem vindo a aumentar nos últimos anos, tendo passado de 39,7 l/hab em 2012 para 50,9 l/hab em 2017. Isto corresponde a um crescimento de 22% no consumo de vinho por habitante (INE, 2017a) para este período.

### **Exportações**

Apesar do elevado consumo de vinho em Portugal, no ano de 2016, o volume exportado correspondeu a 60% do volume produzido nacionalmente (IVV, 2018).

O Quadro 4 representa as exportações de vinho, por tipo de produto, em volume (hl e %) e em valor (1 000€ e %) no ano de 2017.

Quadro 4 - Exportações de vinho por tipo de produto em volume e em valor no ano de 2017

Tipo de Vinho	Volume		Valor	
	hl	%	1,000 €	%
Vinho com DO	597 934	20,0	184 450	23,7
Vinho com IG	506 610	16,9	127 427	16,4
Vinho de mesa	1 158 470	38,8	120 139	15,4
Vinho Licoroso - Porto	644 170	21,6	311 965	40,0
Vinho Licoroso - Madeira	29 081	1,0	17 739	2,3
Vinho Licoroso - Outros	12 341	0,4	3 941	0,5
Vinhos Espumantes e Espumosos	13 953	0,5	8 314	1,1
Outros Vinhos e Mostos	25 819	0,9	5 060	0,6
<b>Total</b>	<b>2 988 378</b>	<b>1</b>	<b>779 036</b>	<b>1</b>

Adaptado de IVV, 2018. Fonte: INE, 2018 (dados provisórios)

Segundo dados do fornecidos pelo IVV (2018), no ano de 2017 exportou-se um volume total de 2 988 378 hl de vinho, correspondendo a um aumento de 210 746 hl face ao ano anterior (7% de crescimento). Em termos de valor, produziu-se um total de 779 036 000€, verificando-se um aumento de 55 366 000€ face ao ano de 2016 (também 7% de crescimento).

Em termos de volume exportado, a grande maioria (38,8%) corresponde a vinho de mesa. Já em termos de valor, é no Vinho Licoroso do Porto que Portugal mais se destaca, com uma fração de 40% do total dos vinhos exportados (IVV, 2018).

Os principais mercados de exportação dos vinhos portugueses, nos últimos dois anos, foram França, Estados Unidos da América, Reino Unido, Alemanha, Brasil e Angola (IVV, 2018).

### **2.1.2. Cultura da Vinha no Mundo**

Tendo analisado o panorama nacional atual, importa compreender a situação do setor do vinho à escala mundial.

## Área

O Quadro 5 representa a evolução da área mundial de vinha (1 000 ha), entre 2012 e 2016.

Quadro 5 - Evolução da área mundial de vinha entre 2012 e 2016

	<b>2012</b> <b>(1 000 ha)</b>	<b>2016</b> <b>(1 000 ha)</b>	<b>Variação 2016/2012</b> <b>(1 000 ha)</b>	<b>Variação 2016/2012</b> <b>(%)</b>
<b>Espanha</b>	969	975	6	0,6
<b>China</b>	706	847	141	16,6
<b>França</b>	792	785	-7	-0,9
<b>Itália</b>	713	690	-22	-3,3
<b>Turquia</b>	497	480	-17	-3,5
<b>EUA</b>	430	443	13	2,9
<b>Argentina</b>	222	224	2	0,9
<b>Irão</b>	226	223	-3	-1,3
<b>Chile</b>	206	214	8	3,7
<b>Roménia</b>	192	91	-1	-111,0
<b>Portugal</b>	231	190	-41	-21,6
<b>Austrália</b>	162	148	-15	-9,5
<b>África do Sul</b>	135	130	-5	-3,8
<b>Alemanha</b>	102	102	0	0,0
<b>Total</b>	7 463	7 516	53	0,7

Fonte: OIV, 2017

No ano de 2016 contava-se com uma área total de vinha de 7 516 000 de hectares, mais 53 mil do que no ano de 2012, correspondendo a um aumento de 0,7%, segundo dados da Organização Internacional da Vinha e do Vinho (OIV).

Um conjunto de cinco países representa cerca de 50% da área mundial de vinha, no ano de 2016, sendo eles Espanha, China, França, Itália e Turquia, com frações de, respetivamente, 14%, 11%, 10%, 9%, 7% (OIV, 2017).

Entre 2012 e 2016, a China aumentou em 16,6% a sua área de vinha, correspondendo isto a 141 mil hectares. Por outro lado, para o mesmo período, Portugal perdeu 41 mil hectares, correspondendo a cerca de 22% da área vitícola nacional. Países como França, Itália e Turquia reduziram também as suas áreas de vinha, em valores de cerca de 0,9%, 3,9% e 3,5%, respetivamente, contrariamente a Espanha e aos EUA, que viram aumentadas as suas áreas de produção em, respetivamente, 0,6% e 2,9%.

## Produção

O Quadro 6 mostra a evolução da produção mundial de vinho (milhões de hl), entre 2012 e 2016.

Quadro 6 - Evolução da produção mundial de vinha entre 2012 e 2016

País	2012 (100 hl)	2016* (100 hl)	Varição 2016/2012 (1000 hl)	Varição 2016/2012 (%)
<b>Itália</b>	45,6	50,9	5,3	10,4
<b>França</b>	41,5	43,5	2,0	4,6
<b>Espanha</b>	31,1	39,3	8,2	20,9
<b>EUA</b>	21,7	23,9	2,2	9,2
<b>Austrália</b>	12,3	13,0	0,7	5,4
<b>China</b>	13,5	11,4	-2,1	-18,4
<b>África do Sul</b>	10,6	10,5	-0,1	-1,0
<b>Chile</b>	12,6	10,1	-2,5	-24,8
<b>Argentina</b>	11,8	9,4	-2,4	-25,5
<b>Alemanha</b>	9,0	9,0	0,0	0,0
<b>Portugal</b>	6,3	6,0	-0,3	-5,0
<b>Total</b>	258,0	267,0	9,0	3,4

Fonte: OIV, 2017. \* valores previstos

No ano de 2016 produziu-se um total de 267 milhões de hectolitros de vinho, mais 9 milhões do que no ano de 2012, correspondendo isto a um aumento de 3,4% da produção mundial.

Os maiores produtores de vinho do mundo são Itália, França e Espanha com, respetivamente, 19,1%, 16,3% e 14,7% da produção mundial de vinho para o ano de 2016 (OIV, 2017).

Em países como Espanha e EUA, o aumento da produção acompanhou o aumento da área, com aumentos de produção de 20,9% em Espanha, e de 9,2% nos EUA. Por outro lado, no caso de Itália, apesar da redução da área de vinha em 3,3%, verificam-se aumentos de produção de 10,4%, o que mostra um notável desenvolvimento tecnológico para o período considerado. Pelo contrário, apesar da China ter aumentado o seu território vitícola em 16%, observa-se, para o mesmo período, um decréscimo da sua produção de vinho em 18,4%. Em Portugal, apesar da redução da área em 22%, o decréscimo observado em termos produtivos foi apenas de 5%.

### **Consumo**

O Quadro 7 representa a evolução do consumo mundial de vinho (milhões de hl) para o período de 2012 a 2016.

Quadro 7 - Evolução do consumo mundial de vinho entre 2012 e 2016

<b>País</b>	<b>2012 (1000 hl)</b>	<b>2016* (1000 hl)</b>	<b>Variação 2016/2012 (1000 hl)</b>
<b>EUA</b>	30,0	31,8	1,8
<b>França</b>	28,0	27,0	-1,0
<b>Itália</b>	21,6	22,5	0,9
<b>Alemanha</b>	20,3	19,5	-0,8
<b>China</b>	17,1	17,3	0,2
<b>Reino Unido</b>	12,8	12,9	0,1
<b>Espanha</b>	9,9	9,9	0,1
<b>Argentina</b>	10,1	9,4	-0,6
<b>Rússia</b>	11,3	9,3	-2,0
<b>Austrália</b>	5,4	5,4	0,0
<b>Canadá</b>	4,9	5,0	0,2
<b>Portugal</b>	5,0	4,6	-0,4
<b>Total</b>	244	241	-3,0

Fonte: OIV, 2017. \* valores previstos

O consumo mundial de vinho previsto para o ano de 2016 foi de 241 milhões de hectolitros, menos 1,1% do que no ano de 2012 (OIV, 2017).

Um conjunto de 5 países representa quase metade do consumo mundial de vinho, no ano de 2016. São eles os EUA (com 13,2% do consumo mundial no ano em causa), França (com 11,2%), Itália (com 9,4%), Alemanha (8,1%) e a China (com 7,2%) (OIV, 2017).

Em países como os EUA, Itália e China verifica-se um aumento do consumo entre 2012 e 2016, de cerca de 1,8%, 0,9% e 0,2%, respetivamente. Pelo contrário, em França, Alemanha e Rússia o consumo diminuiu neste período, com valores respetivos de menos 1%, 0,8% e 2% de vinho consumido, como é possível ver pelo quadro acima (OIV, 2017).

## **2.2. Agricultura de Precisão**

### **2.2.1. Conceito**

A Agricultura de Precisão (AP) teve início a meio dos anos 80, nos EUA, com a introdução de novas tecnologias que permitiam a fertilização a taxas variáveis, de acordo com as características da parcela, em culturas como o milho, a soja, e o trigo. Hoje em dia, a AP tem inúmeras aplicações, em diferentes culturas e em diferentes partes do mundo (Robert, 2002).

Vários autores fornecem definições de Agricultura de Precisão. De acordo com Pierce & Nowak, (1999), a "Agricultura de Precisão consiste na aplicação de tecnologias e princípios que visam gerir a

variabilidade espacial e temporal associadas a todos os aspectos da produção agrícola, com o objetivo de aumentar o rendimento da cultura e a qualidade ambiental”.

A AP não se baseia exclusivamente no uso de novas tecnologias, como muitos aparentam pensar. Esta constitui uma revolução de informação, que é a base para um sistema altamente preciso de gestão do sistema agrícola (Robert, 2002). O primeiro passo da AP consiste na medição e interpretação da variabilidade existente. De seguida, é necessário usar a informação adquirida para gerir a variabilidade encontrada, fornecendo os inputs de acordo com a informação obtida para cada ponto. A AP depende, assim, da aquisição de informação, sua gestão, armazenamento, análise e interpretação, necessitando de tecnologia específica, que permitirá melhorar o processo de tomada de decisão (Pierce & Nowak, 1999).

Segundo Pierce & Nowak (1999), a AP torna-se tanto mais útil quanto maior for a dependência espacial das características da parcela/cultura, e menor a sua variabilidade temporal. Contudo, parcelas com variabilidade espacial muito aleatória não favorecem o uso da AP, já que não há dependência espacial dos fatores, variando estes aleatoriamente no espaço.

Robert (2002) considera que as vantagens da adoção da AP se relacionam com o aumento do rendimento gerado, com a sustentabilidade da atividade agrícola, com a redução do risco ambiental, com o aumento da qualidade dos produtos, com a segurança alimentar e com o desenvolvimento das zonas rurais.

## **2.2.2. Tecnologias**

### **2.2.2.1. Sistema de Posicionamento Global**

O GPS (*Global Positioning System*) começou a ser desenvolvido no ano de 1973 pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América, sendo que só se tornou operacional em 1991. Tem por objetivo fornecer a posição geográfica instantânea, bem como a velocidade e o horário a que qualquer ponto localizado à superfície terrestre se encontra, num referencial tridimensional (Bernardi & Landim, 2002).

O GPS manifesta-se fundamental para a AP, já que todas as suas fases requerem o conhecimento da posição geográfica exata dos seus componentes (Pierce & Nowak, 1999).

O DGPS - GPS diferencial de alta precisão - efetua uma correção diferencial do sinal GPS recebido, permitindo um fornecimento da localização mais preciso (Tyler et al., 1997). O sinal recebido é da ordem dos centímetros, permitindo a condução assistida de máquinas agrícolas, a elaboração de modelos digitais de elevação do terreno e o mapeamento da topografia (Pierce & Nowak, 1999).

O uso de GPS para condução de máquinas agrícolas permite a poupança de combustível, reduz o desperdício de inputs, potenciando o uso dos mesmos, reduz a fadiga do operador e o tempo de trabalho (Braga & Pinto, 2011).

#### **2.2.2.2. Sistema de Informação Geográfica**

Um Sistema de Informação Geográfica (SIG) consiste num conjunto de instrumentos de hardware, software e dados geográficos organizados de modo a adquirir, analisar, armazenar e manipular informação geo-referenciada (ESRI, 1997).

De acordo com Pierce & Nowak (1999), o que distingue um SIG de qualquer outro software que permite a obtenção de mapas e gestão de dados é o facto deste possibilitar a realização de operações espaciais na base de dados.

Segundo Coelho & Silva (2009), os SIG têm tido uma utilização crescente no setor agrícola, sendo essenciais em AP, já que as tecnologias de suporte requerem informação georreferenciada. Estes possibilitam a criação de mapas, integrando informação de natureza vasta, permitindo visualizar cenários a fim de resolver problemas.

#### **2.2.2.3. Deteção Remota**

As tecnologias de Deteção Remota (DR) têm vindo a revelar-se cada vez mais importantes no processo de aquisição de informação em agricultura. Estas permitem adquirir dados para inúmeras aplicações, como seja o cadastro, inventário agrícola, topografia, aplicação de inputs (Tristany, 2010), bem como observação de falhas de produção e apoio às operações culturais (Braga, 2009b).

Tristany (2010) define a Deteção Remota como o processo de aquisição de informação relativa a áreas e objetos sobre ou próximos da superfície terrestre, por parte de sensores de radiação eletromagnética que se encontram acima dessa superfície terrestre. Estes sensores podem-se localizar a algumas centenas de metros da superfície, no caso de aviões, ou a algumas centenas ou milhares de quilómetros, no caso de satélites. O uso de aviões revela-se mais útil do que o de satélites devido ao menor custo das imagens fornecidas pela aeronave, à ausência de interferência das nuvens na qualidade das imagens, e ao fácil controlo dos momentos de captura das imagens (Braga, 2009b).

A principal utilidade da DR em agricultura é a caracterização do estado vegetativo e do vigor da cultura, que se relacionam com o nível de qualidade do produto (Braga, 2009b) e permitem prever as colheitas (Pierce & Nowak, 1999). O estado vegetativo e o vigor são mapeados através de índices vegetativos obtidos através da radiação refletida no vermelho, no infra-vermelho e no verde, como o IAF (Índice

de Área Foliar) e o NDVI (Normalized Difference Vegetative Index), sendo o segundo a aplicação mais frequente deste tipo de tecnologia (Braga, 2009b).

#### **2.2.2.4. Monitores de Produtividade**

Segundo Coelho & Silva (2009), a monitorização da produtividade é uma das tecnologias de AP mais utilizadas nos países desenvolvidos, tendo maior aplicação em culturas arvenses para grão, mas podendo também ser utilizada em hortícolas, culturas industriais e forragens.

Os monitores de produtividade estimam a variação espacial das produtividades dentro de uma parcela. Estes medem a produção instantânea (produção, em peso ou volume, por unidade de tempo) e a área a que corresponde essa produção, fornecendo valores instantâneos e/ou médios das produtividades para cada ponto. Associando o uso de GPS a estas medições, é possível construir mapas de produtividade das parcelas (Coelho & Silva, 2009).

A monitorização da produtividade recorre ao uso de sensores, podendo ser efetuada em tempo real, quando existe DGPS disponível, ou baseada em cartas, quando apenas se dispõe de GPS. Estes sensores têm custo fixo e permitem a realização de medições a reduzidas escalas espacial e temporal (Pierce & Nowak, 1999). Para a construção dos mapas de produtividade das parcelas, recorre-se ao uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

Os mapas assim gerados servem de base à tomada de decisão pelos agricultores. O estudo da variabilidade espacial da produtividade permite inferir quais as variáveis que necessitam ser analisadas e aprofundadas, e concluir sobre as possíveis causas dessa variabilidade (Coelho & Silva, 2009).

#### **2.2.2.5. Condutividade elétrica do solo**

Segundo Braga (2009), a condutividade elétrica de um solo consiste na sua capacidade em conduzir corrente elétrica. Esta expressa-se em miliSiemens por metro (mS/m) e é por norma utilizada para medir a salinidade do solo. No entanto, quando a salinidade não é o problema em questão, a medição da condutividade elétrica permite concluir sobre a variação de várias propriedades físicas do solo, como o teor de humidade, a percentagem e tipo de argila presente e a concentração iónica da solução. Para esse fim, podem ser utilizados sensores de campo que medem a condutividade elétrica aparente (CEa) em cada ponto, através da indução de uma corrente eletromagnética no solo e, graças ao uso combinado de GPS, é possível obter mapas da CEa do solo (Braga, 2009b).

A evidência de variabilidade espacial intra-parcelar das características do solo é um ponto chave para a adoção da AP, como já referido anteriormente. Contudo, é necessário avaliar a existência dessa variabilidade. A amostragem intensiva do solo é o método mais utilizado para o fazer (Brevik et al., 2006). Contudo, este processo é caro e moroso, o que o torna inexecutável para as explorações agrícolas (McCormick et al., 2009). Assim, torna-se fundamental obter outros métodos de caracterização da variabilidade espacial, que sejam mais rápidos e pragmáticos (King et al., 2005; Brevik et al., 2006). O mapeamento da CEa dos solos permite alcançar esta necessidade (Bronson et al., 2005).

De acordo com Johnson et al. (2005), verificam-se correlações positivas significativas entre a CEa, as características do solo e a produtividade das culturas. O autor afirma que a monitorização da CEa pode servir de base para a identificação de parcelas de fertilidade homogénea do solo. Stafford (2006) refere que o mapeamento da CEa pode servir para delimitar zonas de gestão diferenciada, o que a torna útil para AP.

Autores como Dafonte (2004) e Proffitt et al. (2006) afirmam que através do uso de sensores de monitorização do solo é possível realizar medições da CEa sem perturbação do mesmo e com maior resolução espacial do que através dos métodos convencionais de recolha e análise laboratorial de amostras.

#### **2.2.2.6. Tecnologia a Taxa Variável (VRT)**

A Tecnologia a Taxa Variável (VRT - *Variable Rate Technology*) possibilita a variação da taxa de aplicação dos fatores de produção dentro da parcela, em resposta à variabilidade espacial dos fatores do solo e da cultura, que afeta a taxa de aplicação ótima dos inputs. Se corretamente implementada, a VRT pode aumentar a eficiência do uso de *inputs*, o rendimento das culturas, bem como reduzir o impacto ambiental da atividade agrícola (Sawyer, 1994). É a VRT que permite encerrar o ciclo de atuação da gestão da variabilidade espacial intra-parcelar.

A VRT pode ser baseada em mapas ou em sensores (em tempo real) (Coelho & Silva, 2009). Na atuação baseada em mapas, os momentos de medição da variável limitante e de aplicação de fator de produção são desfasados no tempo. Nas atuações baseadas em sensores, este desfasamento é praticamente inexistente, já que o sensor da variável e o seu distribuidor estão localizados na mesma máquina. A VRT baseada em mapas é mais utilizada do que a baseada em sensores, já que a segunda exige uso mais intensivo de tecnologia. No entanto, a VRT baseada em sensores torna-se útil quando as características do solo têm maior variação no tempo, como o caso do azoto e da água (Braga, 2009a).

Esta distribuição automática de fatores de produção pode referir-se a fertilizantes (adubos e corretivos), fitofármacos, sementes, plantas ou água de rega. Os usos mais frequentes são as aplicações de macronutrientes e calcário (Coelho & Silva, 2009).

A VRT será abordada em maior detalhe mais à frente, por ser a tecnologia da AP em destaque nesta dissertação.

### **2.2.3. Viticultura de Precisão**

A aplicação das tecnologias da AP à Viticultura de Precisão (VP) é relativamente recente, tendo os primeiros estudos começado a ser publicados em 1999 na Austrália (Bramley & Proffitt, 1999) e nos EUA (Wample et al., 1999), com o surgimento no mercado de sensores e monitores de produtividade (Arnó et al., 2009).

As principais tecnologias da AP adaptadas à cultura da vinha são os monitores de produtividade, a deteção remota, o GPS e os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) (Bramley, 2010). O uso destas tecnologias permite aos viticultores ou enólogos compreender a existência de variabilidade intra-parcelar, as suas causas e como se relacionam a produtividade e a qualidade da produção (Arnó et al., 2009). A variabilidade espacial da vinha dá-se tanto a nível da produtividade como a nível da qualidade do produto (Braga, 2009b). Graças ao trabalho conjugado de investigadores e de empresas de maquinaria, a Tecnologia a Taxa Variável (VRT) para fertilização e proteção fitossanitária já se encontra, também, disponível para a cultura da vinha (Arnó et al., 2009).

Para além da Austrália e dos EUA, a VP está a “ganhar terreno” também noutros países como o Chile e a África do Sul, sendo que na Europa é principalmente em Espanha, França e Portugal (Arnó et al., 2009).

Os objetivos da VP coincidem com os da AP – gestão da variabilidade espacial das parcelas com o intuito de aumentar os rendimentos económicos dos produtores e reduzir os riscos ambientais da atividade. Segundo Bramley & Hamilton (2008) as condições de implementação da VP coincidem com as da AP, já referidas.

Uma das principais razões que leva os produtores a adotar a VP é o seu interesse em aumentar a qualidade da produção. A segmentação da vindima segundo a qualidade dos diferentes lotes é um dos principais objetivos da VP (Arnó et al., 2009).

## **2.3. Fertilização**

### **2.3.1. Fertilização da Vinha**

De um modo geral, a fertilização da vinha pode ser dividida em duas fases: fertilização de crescimento, que se dá a partir da instalação até à entrada em produção (que ocorre entre o 2º e o 4º anos) e fertilização de manutenção ou de produção, que se inicia com a entrada em produção das videiras (Brunetto et al., 2016).

A primeira tem por objetivo aumentar o vigor da videira, estimulando o crescimento radicular e aéreo. Na fase de crescimento da cultura, pode recorrer-se à fertilização orgânica e/ou mineral, na linha ou na área de projeção vertical da copa das plantas, à superfície do solo. Por norma, o N (Azoto) é o único nutriente a ser veiculado durante a fase de crescimento das plantas. No entanto, caso as plantas manifestem sintomas de carência de outros nutrientes, estes devem ser aplicados nas quantidades necessárias, por aplicação ao solo (Brunetto et al., 2016).

A fertilização de manutenção ou de produção tem por objetivo a manutenção da fertilidade do solo, repondo os nutrientes exportados pela cultura, devido à colheita dos bagos e à supressão da lenha de poda (Brunetto et al., 2016). Após o 4º ano de idade da vinha, deve ser realizada anualmente monitorização do estado nutricional das plantas, através da realização de análises foliares, na altura apropriada (plena floração) (LQARS, 2006). Os nutrientes a fornecer à cultura são, por norma, o N o P e o K e o Mg, podendo ser incluídos micronutrientes (Brunetto et al., 2016). Os nutrientes devem ser aplicados à superfície do solo, na linha, na área de projeção vertical da copa ou em toda a área da parcela (Brunetto et al., 2016).

A quantidade de nutrientes veiculada e o tipo de fertilizante a utilizar afetam o estado nutricional da planta, a produtividade e as características dos bagos (Brunetto et al., 2016). A recomendação de fertilização pode ser ajustada consoante o estado de desenvolvimento vegetativo da vinha, o nível de produção atingido no ano anterior, as condições do solo e do clima e a eventual aplicação de corretivos orgânicos ao solo (LQARS, 2006).

Compreender a relação existente entre as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e a produtividade da vinha é essencial para uma viticultura sustentável (Iland et al., 2011) - as propriedades físicas do solo incluem a sua textura e estrutura, que influenciam a capacidade de retenção de água do solo, a sua taxa de infiltração e as condições arejamento. Por sua vez, estes parâmetros afetam o desenvolvimento radicular, o crescimento das videiras, bem como a facilidade da passagem de máquinas agrícolas (transitabilidade), a facilidade de cultivo da entre-linha, afetando também o risco de erosão do solo (Iland et al., 2011). As propriedades químicas relacionam-se com a

fração coloidal do solo, sendo esta constituída pelos minerais de argila e pela matéria orgânica decomposta. A natureza química do solo depende da natureza do seu complexo de troca. As suas propriedades químicas, como o pH, a disponibilidade de nutrientes para as plantas, e a capacidade de troca catiónica afetam o crescimento da videira. As funções químicas do solo são levadas a cabo pelo extenso panorama de microrganismos nele existente, sendo a sua principal função a conversão da matéria orgânica em nutrientes assimiláveis pelas plantas (Iland et al., 2011).

Os requisitos nutricionais da videira dependem do tipo de solo e das suas propriedades, das castas escolhidas, níveis de produção e qualidade pretendidos, idade da vinha (Holzapfel et al., 2009), bem como das técnicas culturais utilizadas, como seja a escolha do porta-enxerto, do compasso de plantação, do sistema de manutenção do solo, e do tipo de condução e de poda (Magalhães, 2015).

### **Recomendação de Fertilização**

A recomendação de fertilização de manutenção quanto aos macronutrientes principais (N, P, K) e ao magnésio é feita com base nos resultados das análises foliares e na produção esperada, sendo as recomendações fosfatada e potássica corrigidas conforme o seu teor no solo (LQARS, 2006). As análises foliares constituem uma ferramenta essencial para o cálculo da fertilização da vinha, por permitirem a monitorização do estado nutricional das plantas. O teor de nutrientes nas folhas relaciona-se diretamente com os teores extraídos do solo, o que faz com que este método seja bastante mais preciso do que as análises de solo, onde os teores extraídos pelas plantas não correspondem aos teores existentes no solo (Magalhães, 2015). Para a fertilização potássica é considerada a textura do solo, e para a fosfatada, o teor de calcário total (LQARS, 2006). Na fase de manutenção, podem eventualmente ser dispensadas as análises à matéria orgânica, textura, bases de troca e níveis de calcário total e ativo, caso as fertilizações e/ou correções de fundo tenham sido efetuadas corretamente na altura de instalação, apenas sendo necessário realizá-las em períodos de 4, 5, ou mais anos, consoante os casos. As análises foliares, contudo, devem ser realizadas com mais frequência, por norma anualmente, seguindo as normas da Proteção Integrada (Magalhães, 2015).

### **2.3.2. Fertilização de Precisão**

Os adubos químicos, bem como os estrumes utilizados para fertilizar as terras, são sabidos como potenciais poluentes do solo e de águas superficiais e subterrâneas, contribuindo para a sua contaminação e degradação ao longo do tempo (Pierce & Nowak, 1999).

Uma vez que, por um lado, os solos variam na sua capacidade de retenção de nutrientes e, por outro, as plantas variam no nível de nutrientes absorvidos e utilizados, é natural que existam variações na

distribuição dos nutrientes no solo de uma parcela. Aqui se encontra a oportunidade para a Fertilização de Precisão (FP). A FP permite gerir a variabilidade ao nível dos nutrientes no solo, de modo a veicular à cultura única e exclusivamente as quantidades que esta necessita, garantindo a maximização da sua performance e, simultaneamente, evitando doses excessivas de fertilizantes no solo, que conduzem a perdas por lixiviação, erosão e escoamento superficial, contaminando os reservatórios naturais acima referidos (Pierce & Nowak, 1999). A FP permite, assim, determinar onde é que os nutrientes devem e não devem ser aplicados na parcela, bem como as respetivas quantidades (Hergert et al., 1997).

Autores como Sawyer (1994) e Pierce et al. (1995), afirmam que o conceito de Fertilização de Precisão implica que exista variabilidade na distribuição de nutrientes dentro da parcela, e que esta esteja estudada, verificando-se que tem impactos na produtividade da cultura e/ou no meio ambiente.

Quanto maior a dependência espacial de um certo nutriente ou propriedade do solo, maior o potencial de uso da Fertilização de Precisão. A sua utilização torna-se difícil quando a variabilidade espacial varia no tempo. A variabilidade espacial do P e do K é mais constante no tempo do que a variabilidade do N, por este ser mais solúvel e lixiviável, dependendo das condições em que o solo se encontra (Pierce & Nowak, 1999).

A variabilidade espacial intra-parcelar pode ser monitorizada através da recolha e análise de amostras de solo. São recolhidas amostras numa rede de pontos na parcela, e extrapolados os valores dos pontos não amostrados, através de métodos estatísticos. Com os resultados desta amostragem, é possível criar mapas da distribuição espacial dos parâmetros desejados no solo, de modo a visualizar a variabilidade espacial existente. Se este processo for realizado repetidamente, será possível avaliar a variabilidade temporal desses parâmetros (Pierce & Nowak, 1999). O objetivo é a obtenção de mapas tão precisos e representativos da realidade quanto possível, mas a um custo acessível à exploração. Torna-se importante ter conhecimento do número de amostras de solo que torna isto possível. A utilização de mapas não fidedignos da realidade faz aumentar a variabilidade e geri-la de modo incorreto, prejudicando a performance da cultura (Pierce & Nowak, 1999). Contudo, este é um processo caro e moroso. A solução poderá passar pela adoção de sensores capazes de efetuar leituras contínuas relativas a propriedades do solo e das plantas, que fornecem altas resoluções espaciais ao um custo relativamente baixo (Arnó et al., 2009).

#### **2.3.1.2. Variable Rate Technology (VRT)**

A VRT é a tecnologia que permite a aplicação variável dos fatores de produção, como já referido.

O conceito de *taxa de aplicação variável* surgiu pela primeira vez no ano de 1929 na Universidade de Ilinóis, EUA, com a realização de uma calagem variável da parcela, ainda que sem o uso de tecnologias

apropriadas (Sawyer, 1994). Este tipo de tecnologia passou a estar disponível no mercado apenas a partir dos anos 80 do século passado (Pierce & Nowak, 1999).

Investigações mostram, contudo, que nem sempre há retorno económico do uso da VRT (Sawyer, 1994). Os principais fatores que impedem o retorno económico são: o custo de implementação (recolha de informação, mapeamento, equipamento e pessoal especializados); nem sempre há aumento da produtividade da cultura (devido a reduzida variabilidade espacial, a incorreta determinação da variabilidade espacial, a imprecisões no mapeamento realizado, a baixa resposta da cultura ao uso de inputs ou a incorreta interpretação da resposta das culturas aos inputs); nem sempre há poupança de inputs. Apesar dos benefícios que se podem alcançar com o uso desta tecnologia, já referidos, a preocupação com a falta de retorno económico é uma das principais causas da não-adoção da VRT (Sawyer, 1994).

Deve haver evidência de que o uso da VRT é mais apropriado do que a aplicação uniforme para a parcela em questão. É impossível afirmar que o uso desta tecnologia é a prática de gestão de fatores de produção mais adequada para todos os casos. A sua eficácia de implementação dependerá da parcela em questão, da cultura, da região geográfica, dos solos, dos nutrientes nele presentes, dos inimigos da cultura e da possibilidade de gestão da variabilidade. O pré-requisito base para o sucesso da implementação da VRT é a apurada evidência da existência de variabilidade espacial intra-parcelar e a sua correta interpretação (Sawyer, 1994).

Num estudo levado a cabo por Babcock & Pautsch (1998), referente a 240 parcelas de milho no estado de Iowa, EUA, demonstrou-se que a aplicação de uma taxa ótima uniforme de fertilizante azotado nessas 240 parcelas resultaria numa sobre aplicação em 66% da área e numa subaplicação em apenas 4% da área. De acordo com os autores, os impactos económicos e ambientais da passagem de aplicação uniforme para VRT dependem da variabilidade da produtividade na parcela. O benefício líquido da VRT é bastante sensível ao custo por hectare da passagem para o modelo de fertilização VRT. O agricultor deverá ter em conta o custo de aquisição de informação sobre a variabilidade espacial e este deve ser reduzido. Existe ainda hoje grande necessidade de investigação para determinar o valor da aquisição e utilização de informação referente à variabilidade espacial das parcelas para os agricultores (Babcock & Pautsch, 1998).

### **Base de funcionamento da VRT**

No caso da VRT baseada em cartas, o desfasamento temporal referido anteriormente deve-se à existência de um conjunto de passos intermédios entre a medição e a aplicação do fator produtivo. Esses passos são: em primeiro lugar, a amostragem da parcela, seguida da determinação da variável

limitante; posteriormente a criação de uma carta da distribuição dessa variável no solo, ao que se segue a elaboração de um mapa de prescrição; por fim, introduz-se esse mapa no controlador VRT (Braga, 2009a). Neste tipo de atuação é então necessário o recurso a GPS e a cartas de prescrição. À medida que o trator se desloca ao longo da parcela, é fornecida a sua posição geográfica, pelo GPS, e aplicada a taxa recomendada para esse ponto, de acordo com a carta de prescrição. Esta atuação tem por inconveniente ser morosa e requerer conhecimento técnico ao nível de software SIG e uso de GPS (Braga & Pinto, 2011). Por outro lado, permite uma análise de dados através de tecnologias mais robustas (computadores e softwares) e permite um melhor planeamento estratégico das explorações, já que as quantidades a aplicar são determinadas a priori, permitindo prever as situações (Coelho & Silva, 2009).

Nas atuações em tempo real a medição é efetuada através de sensores de planta (que podem avaliar os níveis de clorofila, de nutrientes ou o seu estado de desenvolvimento) ou de solo (avaliando os níveis de nutrientes, a condutividade elétrica ou o teor de água). A medição e a aplicação são realizadas instantânea e continuamente. Não é necessário recorrer a SIG nem a GPS, eliminando as dificuldades técnicas do sistema anterior. Apenas é necessário o técnico deslocar-se ao longo da parcela, deixando que o sistema determine as condições da cultura e/ou do solo e as quantidades a aplicar (Braga & Pinto, 2011). Nestes métodos, torna-se fundamental a calibração dos sensores, requerendo apoio técnico especializado (Coelho & Silva, 2009).

A VRT baseada em mapas é constituída por um GPS, um controlador VRT, um variador de fluxo e um sensor de velocidade real. Para cada posição da máquina (fornecida pelo GPS), o controlador VRT calcula o fluxo de material a aplicar. Transmite, então, um sinal ao variador de fluxo, para que este o implemente. O sensor de velocidade real permite determinar a velocidade instantânea da máquina em relação ao solo. Este valor, juntamente com a largura de trabalho, é integrado pelo controlador, na determinação do fluxo de material a aplicar. A fórmula efetuada pelo controlador VRT é a seguinte: *Fluxo de material a aplicar = Taxa de Aplicação x Largura de Trabalho x Velocidade de trabalho* (Braga, 2009a).

#### **2.4. Viticultura de Precisão – VRT na Vinha**

Na vinha, a variabilidade espacial da produtividade parece ser mais influenciada pelas propriedades físicas do solo do que pelas químicas (Bramley & Lamb, 2003). Outros fatores que podem afetar a produtividade da vinha são a topografia e o estado nutricional das plantas (Arnó et al., 2005; Ubalde & Sort, 2005), bem como o seu estado sanitário (Zhang et al., 2002). Assim, a amostragem de solo e

de tecidos culturais (folhas) revela-se fundamental para a determinação dos fatores que afetam a produtividade da vinha (Arnó et al., 2009).

Se se optar por métodos de amostragem manual – recolha de amostras e subsequente análise laboratorial – a aquisição de dados de alta resolução espacial é comprometida, em termos de custo financeiro e de tempo. A solução passa pela adoção de sensores capazes de efetuar leituras contínuas referentes a vários parâmetros do solo e da cultura (sensores em tempo real). Estes sensores são capazes de recolher informação para extensas áreas, já que se encontram ligados aos tratores ou a outros equipamentos capazes de se mover pela parcela, fornecendo informação de alta resolução espacial a um custo acessível (Arnó et al., 2009).

Para caracterização do solo, têm sido amplamente usados em VP sensores de condutividade elétrica aparente (Eca) com sistemas GPS. O principal uso da Eca é a aquisição de informação espacial que permite otimizar a amostragem de solo e a subsequente identificação de causas para a variabilidade da produtividade e da qualidade (Corwin & Plant, 2005).

É possível recolher informação georreferenciada sobre as características do solo e da cultura para o desenvolvimento de programas de gestão intra-parcelar de várias formas (Schumann, 2010): deteção remota; utilização de sensores e mapeamento de solos.

A amostragem georreferenciada de solo apresenta-se como um bom método para caracterização da variabilidade espacial de parcelas agrícolas. Uma vez determinados os parâmetros relevantes do solo e da cultura, podem ser construídos mapas e tomadas medidas prescritivas que permitem ir ao encontro dos problemas e das necessidades que se encontram para cada ponto da parcela (Schumann, 2010).

O mapeamento de variáveis de campo, usando métodos geoestatísticos e uma grelha de referência é um método recomendado por Plant (2001).

O desenvolvimento de sensores em tempo real permite complementar a informação baseada em mapas (Schumann, 2010). Sensores que medem a fertilidade do solo, o seu teor de humidade, o stress da cultura ou a população de inimigos culturais apresentam-se como soluções para o apoio à tomada de decisão, que funcionam de modo automático, desde que com o devido controlo e manutenção (Schumann, 2010).

Zonas de gestão diferenciada dentro da parcela podem variar quanto aos inputs requeridos. e.g., fazer a zonagem para a fertilização azotada é diferente de o fazer para a vindima segmentada (divisão da vindima dentro de uma mesma parcela de acordo com a qualidade dos lotes - Braga (2009b)). Assim,

deve-se eliminar o excesso de detalhe relativo à variabilidade espacial, permitindo a determinação de zonas bem delimitadas e de dimensões aceitáveis, simplificando a variabilidade intra-parcelar e reduzindo os requisitos para a maquinaria de taxa variável (Zhang et al., 2002).

Revela-se necessário verificar a estabilidade dos padrões de variabilidade espacial da vinha ao longo das campanhas. Estudos levados a cabo por Bramley & Lamb (2003), Bramley & Hamilton (2008) e Tisseyre et al. (2007, 2008) mostram que a produtividade da vinha apresenta variabilidade intra-parcelar e que esta variabilidade se mantém de campanha para campanha, seguindo um padrão claro de distribuição, mesmo quando se têm diferenças significativas na produtividade total. Tendo isto em conta, Bramley & Hamilton (2008) baseiam a viticultura de precisão na delimitação de zonas de gestão diferenciada (zonagem), utilizando mapas de produtividade normalizados (média zero e variância igual à unidade) de modo a que as diferenças anuais não tenham influência na sua interpretação.

A gestão intra-parcelar diferenciada assenta num conjunto de decisões que têm de ser tomadas e que determinam o seu sucesso. São estas: os parâmetros e métodos a utilizar para a zonagem, as variáveis a medir e as medidas a adotar em cada zona. A dificuldade da análise e interpretação das variáveis prende-se com a falta de ferramentas funcionais existentes que facilitem o processo de tomada de decisão. A gestão intra-parcelar encontra-se ainda numa fase inicial de adoção entre os viticultores na Europa (Arnó et al., 2009).

As duas principais vantagens do uso de VRT em pomares e na vinha são: a determinação das doses ótimas de fertilizante a aplicar tendo em conta as características do solo em cada ponto; e a colocação do fertilizante no solo do modo mais rigoroso possível, na zona exata das raízes por baixo da canópia, não sendo aplicado fertilizante onde não existam raízes ativas da cultura ou onde existam falhas de plantação. Assim, a VRT permite um aumento de precisão da colocação de adubo granular na zona das raízes (Schumann, 2010).

### 3. Material e Métodos

#### 3.1. Caracterização do ensaio

##### 3.1.1. Descrição da parcela

O ensaio realizou-se no ano de 2018, na Vinha da Meia Encosta do Instituto Superior de Agronomia, na Tapada da Ajuda, em Lisboa (38°42'24.94"N 9°11'05.68"W) (Figura 1).



Figura 1 - Fotografia aérea da Vinha da Meia Encosta, delimitada pela linha preta

A vinha foi plantada no ano de 2006, apresentando uma área de 1,7 hectares. É constituída pelas seguintes castas: Macabeu (linhas 1 à 5), Moscatel Galego (linhas 6 à 10), Moscatel de Setúbal (linhas 11 à 20), Alvarinho (linhas 21 à 29), Viosinho (linhas 30 à 39), Encruzado (linhas 40 à 49), Arinto (linhas 50 à 68) e Moscatel de Setúbal (linhas 69 à 83). Os porta-enxertos presentes são 1103Paulsen, nas castas Alvarinho, Arinto, Moscatel de Setúbal e Viosinho, e 110Richter, nas castas Encruzado, Macabeu e Moscatel Galego (Victorino, 2015). A caracterização do material vegetal – castas e porta-enxertos - encontra-se no Anexo 2.

A orientação da vinha é Norte-Sul, apresentando ligeira inclinação de 9° no sentido Nordeste-Sudoeste. A densidade de plantação é de 4 000 plantas por hectare, ao que corresponde um compasso de 2,5 m x 1,0 m. O sistema de condução utilizado é o Monoplano Vertical Ascendente, com sistema de armação constituído por dois pares de arames móveis para orientação da vegetação. O sistema de poda usado é em cordão *Royat* Unilateral (Victorino, 2015).

As operações culturais efetuadas na Vinha da Meia Encosta são as seguintes: poda, controlo de infestantes, adubações, tratamentos fitossanitários, monitorização e controlo de inimigos da cultura (deteção de infeções de míldio, monitorização da traça da uva, colocação de armadilhas para traça da uva, colocação de atrativos nas armadilhas, colocação de redes anti-pássaro), subida de arames, desponta e colheita. O caderno de campo da vinha, com todas as operações culturais, respetiva data e descrição encontra-se no Anexo 3.

Quanto à adubação, em particular, entre as duas amostragens na vinha foi aplicado Sulfato de Amónio (0 – 0 – 50) nos dias 7 e 13 de Março, numa quantidade de 100 UN/ha.

### **3.1.2. Caracterização edafo-climática**

#### **Caracterização edáfica**

Segundo Cardoso (1965), os solos da vinha da Meia Encosta pertencem à família dos Barros Castanho-Avermelhados Não Calcários originária de basaltos ou doleritos ou outras rochas eruptivas básicas (Cb). De acordo com Medina (1973), é caracterizada por um perfil do tipo A<sub>p</sub> B<sub>w</sub> C, de espessura entre 80 a 114 cm. É constituída por poucos a alguns elementos grosseiros, inclusivamente pedras e calhaus. Trata-se de solos derivados de rocha basáltica, com teores de argila superiores a 30%, com presença de calcário fino na parte inferior de B<sub>w</sub> ou só em C, podendo ou não conter calcário grosseiro. O declive varia de 1 a 8%, mas predominam declives de 2% e de 5%. Por vezes não apresentam drenagem externa (Medina, 1973).

#### **Características morfológicas ao longo do perfil**

0 – 4 cm: pardo escuro (10YR 3/3) (s) ou pardo acinzentado muito escuro (10YR 3/2) (h); argiloso a argilo-limoso; com alguns elementos grosseiros de basalto; moderadamente poroso com poros muito finos a finos; com algumas raízes finas.

4 – 30 cm: pardo a pardo escuro (10YR 4/3) (s) ou pardo amarelado escuro (10YR 3/4) (h); argiloso; com alguns elementos grosseiros de basalto e sílex, poucas pedras de basalto e sílex; moderadamente poroso com poros finos e muito finos; poucas ou raras raízes finas.

30 – 80 cm: pardo a pardo escuro (7,5 YR 4/2) (s) ou pardo escuro (7,5 YR 3/2) (h); argiloso; com alguns elementos grosseiros de basalto e sílex e poucas pedras de basalto e sílex, raros blocos de basalto; moderadamente poroso, com poros muito finos a finos.

80 – 100 cm: pardo a pardo escuro 7,5 YR 4/2) (s) ou pardo escuro (7,5 YR 3/2) (h); franco-argilo-limoso; com alguns elementos grosseiros e basalto; moderadamente poroso, com poros muito finos a finos.

100 – 115 cm: semelhante ao anterior, com mais blocos de basalto.

115 – 125 cm: rocha basáltica muito alterada, com alguns blocos de basalto pouco alterado.

Quadro 8 - Dados analíticos do perfil

Profundidade (cm)	0 - 4	4 - 30	30 - 80	80 - 100
Fração > 2 mm	12,0	10,0	11,0	12,0
Areia grossa (%)	12,5	9,2	9,3	8,5
Areia fina (%)	21,3	19,6	20,4	22,9
Limo (%)	23,0	22,5	21,4	29,9
Argila (%)	43,2	48,7	48,9	38,7
CaCO3 (%)	0,0	0,0	0,0	1,6
Capacidade de campo (%)	31,7	34,2	35,3	35,7

Adaptado de Medina, 1973

### Caracterização Climática

De acordo com a classificação climática de Thornthwaite (Thornthwaite & Mather, 1957), o clima da Tapada da Ajuda caracteriza-se como sub-húmido chuvoso, mesotérmico, ocorrendo grande deficiência de água no verão e com reduzida concentração da eficiência térmica estival ( $C_2 B''_2 s_2 a'$ ). Segundo a classificação climática de Köppen (Azevedo, 1971), a Tapada é caracterizada por um clima mesotérmico húmido, com estação seca no verão e temperatura do mês mais frio superior a 10°C e do mês mais quente igual ou inferior a 22°C (Csl), como é possível verificar pelo Diagrama Termo-Pluviométrico efetuado para a Tapada da Ajuda para o período de 1951 a 1980 (Figura 2), onde se mostram a temperatura e precipitação médias mensais para aquele período.

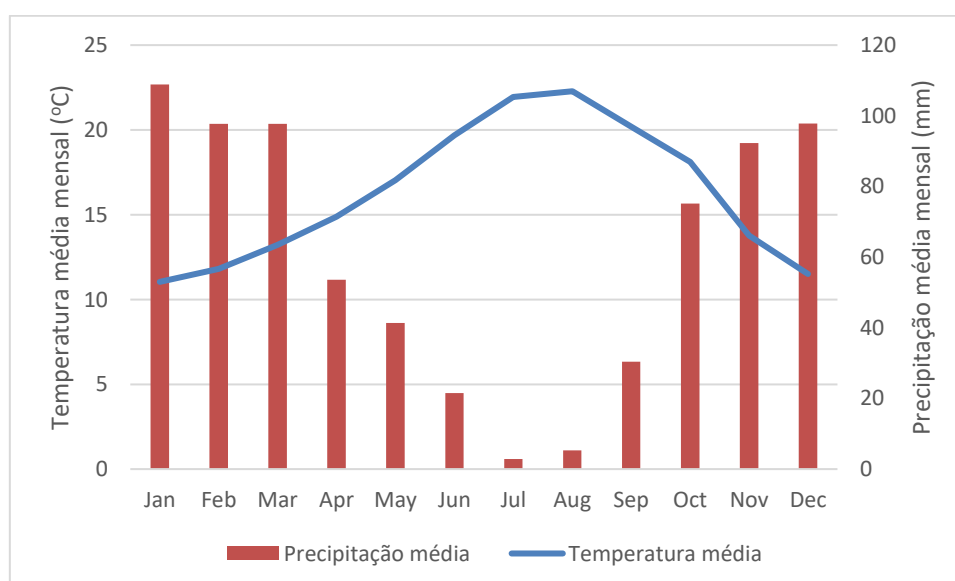


Figura 2 - Diagrama Termo-Pluviométrico, para a Tapada da Ajuda, período de 1951 – 1980

Fonte: ISA, n.d.

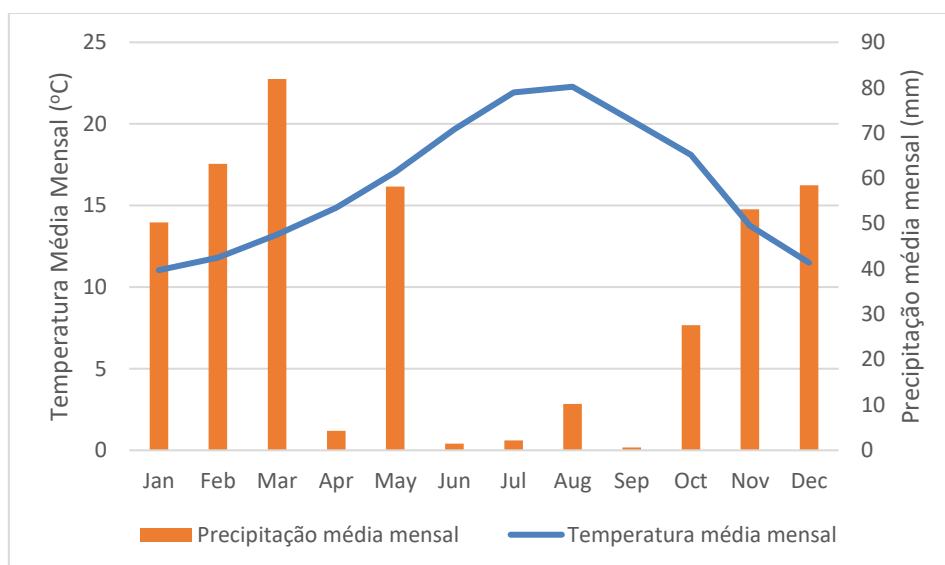


Figura 3 - Diagrama Termo-Pluviométrico, para a Tapada da Ajuda, Ano 2017

Fonte: ISA, n.d.

De acordo com dados do ISA (n.d.), no ano de 2017, os meses de maior temperatura média foram Agosto (22,4°C), Junho (21,9°C) e Julho (21,8°C), ao mesmo tempo que os meses de Setembro e Junho foram os de menor precipitação (0,6 mm e 1,5 mm, respetivamente). Os meses de menor temperatura média foram Janeiro (10,3°C), Dezembro (11,1°C) e Fevereiro (12,6 °C). O mês mais chuvoso foi Março, com um total de 81,9 mm, seguido de Fevereiro (63,2 mm) e de Dezembro (58,5 mm) (ISA, n.d.).

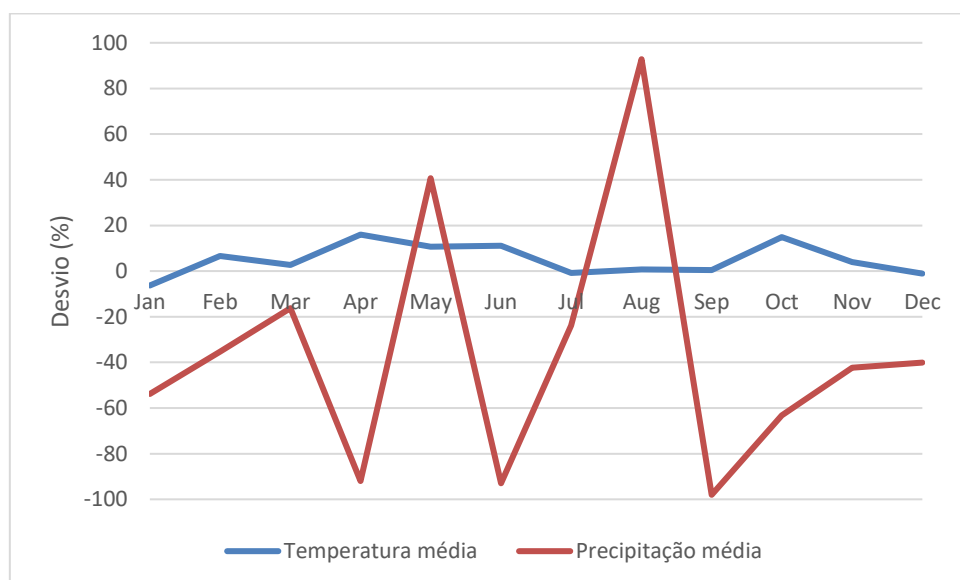


Figura 4 - Desvio da precipitação e temperatura médias mensais do ano 2017 em relação à normal (1951 – 1980)

A figura 4 mostra o desvio (%) ocorrido no ano de 2017 em relação à normal (1951 – 1980) para a Tapada da Ajuda. As temperaturas médias do ano de 2017 são, em geral, superiores em relação à

normal, com maior desvio ocorrido para os meses de Abril (15,98%) e Outubro (14,98%). O menor desvio ocorre para os meses de Setembro (0,46%) e Julho (0,65%). Quanto à precipitação, o desvio face à normal é significativamente maior, com os maiores valores verificados para os meses de Setembro (-98,03%), Junho (-93,03%) e Agosto (-92,83%). Os meses de menor desvio foram Março (-16,22%) e Julho (-23,87%). Segundo o Instituto Português do Mar e da Atmosfera (2017) o período de Abril a Dezembro do ano de 2017 foi o mais seco dos últimos 87 anos. A situação de seca meteorológica iniciou-se em Abril e decorreu até ao final do ano, tornando o ano de 2017 totalmente atípico em termos de precipitação. O ano de 2017 foi, também, o segundo ano mais quente desde 1931, considerando Portugal continental (IPMA, 2017).

### **3.2. Delineamento experimental e metodologia geral do ensaio**

Foram recolhidas amostras de solo e de folhas em 80 pontos da vinha (Figura 5), para posterior análise laboratorial.

As amostras de solo foram recolhidas na última semana do mês de Janeiro, depois das chuvas, de modo a ser possível penetrar o solo. As amostras foliares foram recolhidas na altura da plena floração (LQARS, 2006), durante a última semana do mês de Maio.

A metodologia para a escolha dos 80 pontos a amostrar foi a seguinte: 60 destes pontos tinham sido amostrados e analisados no ano anterior, no respeitante ao pH (H<sub>2</sub>O), a matéria orgânica, condutividade elétrica, teores extraíveis P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O e às bases de troca (Na, K, Mg, Ca). Estes 60 pontos foram selecionados de modo a ser possível estudar a variabilidade destas características de um ano para o outro (variabilidade temporal). Os restantes 20 pontos foram escolhidos aleatoriamente, tentando cobrir zonas afastadas dos pontos já recolhidos, com o objetivo de completar a carta efetuada com 60 pontos e analisar as diferenças relativamente à carta efetuada com 80 pontos.

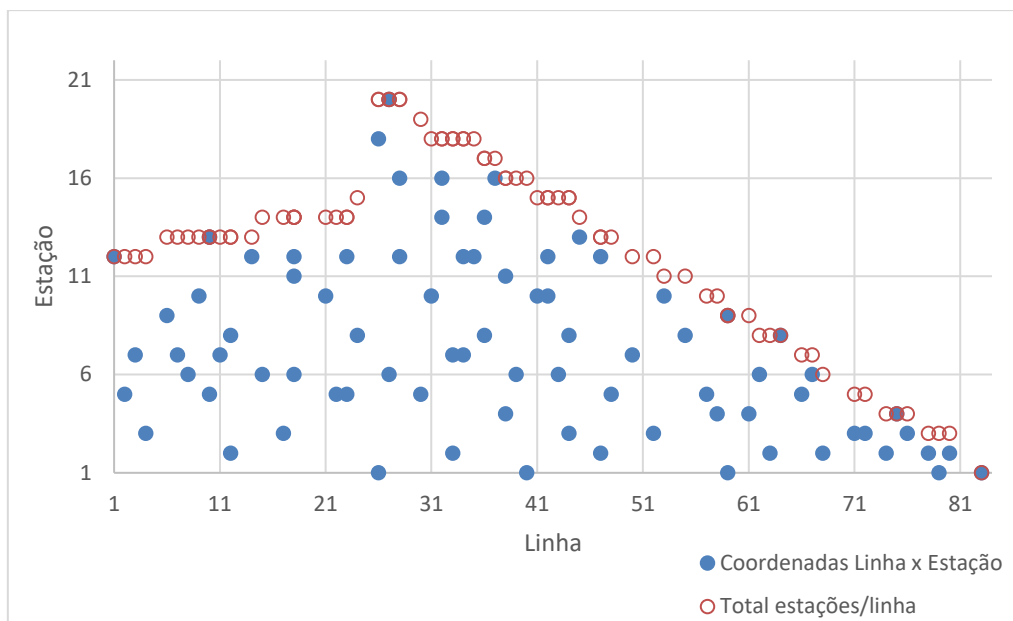


Figura 5 - Localização dos pontos de amostragem na vinha (coordenadas Linha x Estação).

Legenda: Azul – pontos amostrados; Vermelho – limites de cada linha (igual ao número total de estações por linha)

A Figura 5 mostra a localização dos pontos amostrados dentro da vinha da Meia Encosta, de acordo com o sistema de coordenadas Linha x Estação (estação - espaço entre dois postes consecutivos na linha), sendo que a azul estão representados os pontos de amostragem e a vermelho os limites de cada linha, que correspondem ao número total de estações por linha.

Após amostragem de solo e de folhas, as amostras foram preparadas e analisadas no laboratório.

Os parâmetros do solo analisados em laboratório foram os seguintes: pH (H<sub>2</sub>O), teor de matéria orgânica, condutividade elétrica, teores extraíveis de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, teores de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, bases de troca (Na, K, Mg, Ca) e micronutrientes extraíveis (Zn, Mn, Cu, Fe). Destes, o pH (H<sub>2</sub>O), o teor de matéria orgânica, a condutividade elétrica, os teores extraíveis de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O e as bases de troca (Na, K, Mg, Ca) já tinham sido analisados no ano anterior, pelo que os resultados foram usados para a comparação temporal.

Quanto às amostras foliares, foram analisados os teores de macronutrientes foliares (N, P, K, Ca, Mg) e de micronutrientes foliares (Fe, Mn, Zn, Cu). O teor de nutrientes foliares não foi analisado no ano anterior, pelo que estes não foram integrados na análise temporal, sendo apenas analisada a sua variabilidade espacial e alguns nutrientes foram necessários para a recomendação de fertilização (N, P, K, Mg).

### **3.3. Metodologias de recolha e de análise laboratorial de dados de campo**

#### **3.3.1. Recolha de Solo**

Para as recolhas de solo recorreu-se a uma sonda de aço inoxidável, a sacos de plástico transparentes e limpos, e a um balde de plástico.

Em cada local de amostragem, procedeu-se à recolha de solo em dois pontos diferentes, um de cada lado da videira localizada no centro da estação, na zona da linha. Cada recolha foi efetuada à profundidade de 15 a 20 cm. As duas recolhas de cada local de amostragem foram reunidas no mesmo saco de plástico, que foi corretamente identificado e fechado.

As amostras foram colocadas a secar ao sol durante cerca de uma semana. Após secagem, procedeu-se à crivagem, onde as partículas de diâmetro superior a 2 mm foram excluídas, e pesadas cerca de 0,500 kg por saco, sempre devidamente identificado. As amostras de terra assim preparadas foram posteriormente encaminhadas para o laboratório.

#### **3.3.2. Análises laboratoriais ao solo**

O pH do solo foi determinado numa suspensão solo/água (pH H<sub>2</sub>O) e solo/solução de KCl 1M (pH KCl), na proporção 1:2,5 (m/v), após 1 hora de contacto (Póvoas & Barral, 1992), utilizando um medidor de pH de marca Thermo Scientific, modelo Orion 3 Star.

A condutividade elétrica foi determinada numa suspensão solo/água, na proporção 1:2,5 (m/v), após 1 hora de contacto, utilizando um condutímetro de marca Thermo Scientific, modelo Orion Star A212.

A matéria orgânica foi determinada por oxidação por via seca, a 950°C, e deteção do CO<sub>2</sub> resultante por infravermelho (IV), num equipamento de marca Analytikjena, modelo multiEA4000.

O fósforo e o potássio extraíveis foram determinados após extração com uma solução de lactato de amónio e ácido acético tamponizada a pH 3,75 (designada por solução de Egner-Riehm), na proporção solo:solução extrativa de 1:20 (m/v), após 2 horas de agitação (Póvoas & Barral, 1992). No extrato assim obtido, quantificou-se o potássio por fotometria de emissão de chama num fotómetro de chama de marca Corning, modelo Flame Photometer 410, e o fósforo por espectrofotometria de emissão ótica por plasma acoplado indutivamente (ICP-OES), num ICP-OES de marca Unicam, modelo iCAP7000.

As bases de troca (Ca, Mg, K e Na) foram quantificadas após extração com uma solução de acetato de amónio 1 M, na proporção solo:solução extrativa de 1:15 (m/v), após 15 minutos de agitação

(Hendershot et al., 1993). No extrato assim obtido, quantificou-se o  $Ca_{troca}$ ,  $Mg_{troca}$ ,  $K_{troca}$  e  $Na_{troca}$  por ICP-OES, no equipamento referido anteriormente.

Os micronutrientes catiões Cu, Fe, Zn e Mn extraíveis foram quantificados após extração com uma solução de DTPA 0,005 M,  $CaCl_2$  0,01M e tretanolamina 0,1 M, na proporção solo:solução extrativa de 1:2 (m/v), após 2 horas de agitação (Lindsay & Norvell, 1978). No extrato assim obtido, quantificou-se o  $Cu_{ext}$ ,  $Fe_{ext}$ ,  $Zn_{ext}$  e  $Mn_{ext}$  por ICP-OES, no equipamento referido anteriormente.

O boro extraível ( $B_{ext}$ ), foi quantificado após extração com água fervente, na proporção solo:água fervente de 1:2 (m/v), durante 10 minutos (Gupta, 1993). No extrato assim obtido quantificou-se o boro por ICP-OES, no equipamento referido anteriormente.

### **3.3.3. Recolha de Folhas**

Para a recolha de folhas apenas se recorreu a envelopes de papel e a folhas de papel de cozinha secas.

Em cada ponto de recolha, procedeu-se à colheita de 25 folhas (aproximadamente 4 a 5 folhas por videira). A folha a recolher por sarmento corresponde à folha oposta ao cacho basal (LQARS, 2006). Depois de colhidas as folhas, foram retirados os limbos, ficando-se apenas com os pecíolos. Estes foram enrolados nas folhas de papel, de modo a retirar alguma humidade, e colocados dentro do respetivo envelope, devidamente identificado. As amostras foram colocadas na estufa durante dois dias (65°C) e, depois de secas, procedeu-se à sua análise.

### **3.3.4. Análises laboratoriais foliares**

As amostras de plantas (secas a 65°C, até peso constante) foram moídas num moinho inox, com um crivo de 1 mm, de marca Cullatti modelo TYP MFC.

O teor de azoto nas amostras de material vegetal, secas a 65°C e moídas, foi determinado pelo método de Kjeldahl (Horneck & Miller, 1998). Uma amostra de 0,25 g da matéria vegetal foi digerida na presença de ácido sulfúrico concentrado (6 mL) e selénio (catalisador) a 340°C, até a obtenção de um digerido incolor (cerca de 5 horas de digestão). Após a digestão e o arrefecimento da amostra, foi adicionada água até o volume final de 50 mL. O azoto, neste extrato, foi quantificado num autoanalisador de fluxo segmentado de marca Skalar, modelo SAN<sup>plus</sup> System, usando o método de Berthelot (Houba et al., 1989).

Os restantes elementos minerais (fósforo, potássio, cálcio, magnésio, ferro, cobre, zinco, manganês e boro) foram determinados por via húmida, após digestão com *aqua régia*, metodologia adaptada da Norma Europeia EN 13650 (CEN, 2001). Uma amostra de 0,25 g foi digerida por 9 mL de HCl (ácido

clorídrico) a 37% e 3 mL de ácidonítrico a 65%, a 105°C durante 165 minutos. Após a digestão e o arrefecimento da amostra, foi adicionada água até ao volume final de 50 mL. Depois de homogeneizar e decantar, retirou-se 10 mL de sobrenadante e quantificou-se os elementos por espectrofotometria de emissão ótica por plasma acopolado indutivamente (ICP-OES), num ICP-OES de marca Unicam, modelo iCAP7000.

Uma subamostra de material vegetal foi ainda seca a 100-105°C, para a determinação da humidade residual, e os teores de nutrientes foram reportados à matéria seca.

### **3.4. Análise estatística dos dados**

Os dados recolhidos no campo e analisados no laboratório foram posteriormente sujeitos a uma análise estatística usando o software STATISTICA.

Em primeiro lugar, efetuou-se uma análise estatística descritiva para cada variável em cada ano. Posteriormente, procedeu-se a uma análise de correlação entre todas as variáveis de cada ano e entre alguns parâmetros do solo e foliares para o ano 2. Por fim, foi efetuada uma análise temporal usando um teste de médias para conjuntos de dados dependentes, comparando os resultados do ano 1 e do ano 2.

#### **3.4.1. Análise estatística espacial - Kriging**

Com os resultados para cada variável, determinados através da análise laboratorial, procedeu-se à elaboração de cartas de distribuição espacial de cada variável, para cada ano e, nos casos em que tal se aplica, com 60 e com 80 pontos. O mapeamento foi efetuado recorrendo ao método de interpolação designado por *kriging*.

De entre os vários *softwares* que permitem a realização do *kriging* foi escolhido o *Vesper* (Variogram Estimation and Spatial Prediction with Error), graças à sua acessível interface e ser de acesso gratuito. Este software foi desenvolvido pelo *Australian Center for Precision Agriculture (ACPA)* e é utilizado para fins de investigação e comerciais (Minasny et al., 2005).

O *kriging* estima os valores de uma variável, através de um número limitado de pontos amostrados, ao longo de uma superfície contínua, utilizando a correlação espacial existente entre pontos amostrados para interpolar os valores ao longo da superfície, baseando-se a interpolação no arranjo espacial dos pontos amostrados (Columbia University, n.d.).

O mapeamento de variáveis efetuado através deste processo é realizado em duas fases: (1ª) elaboração de um semi-variograma; (2ª) estimativa dos valores em cada ponto da grelha através do *kriging* propriamente dito (Clark, n.d.). O *kriging* baseiam-se no semi-variograma ajustado. Este consiste num gráfico que quantifica a auto-correlação existente entre os pontos amostrados. Este modela a variância entre todos os pares de pontos, de acordo com a distância entre eles (GIS Geography, 2018).

No eixo horizontal do semi-variograma tem-se a distância entre pontos. O eixo vertical mostra a variância entre os pontos localizados à distância  $x$ . Teoricamente, pontos mais próximos encontram-se mais correlacionados, apresentando menor variância. O inverso será válido para pontos mais afastados. No entanto, a partir de determinada distância (*range*), a auto-correlação entre os pares de pontos torna-se independente e a variância estabiliza. O ponto para o qual isto ocorre designa-se por *sill*. A partir deste ponto deixa de haver auto-correlação espacial (GIS Geography, 2018). Existe um efeito *nugget* quando valores muito próximos têm variâncias significativas, o que reflete alguma aleatoriedade dos dados. O objetivo é ajustar um modelo (que pode ser esférico, exponencial, linear etc.) que melhor se ajuste à tendência geral dos dados. À volta dessa tendência existe variabilidade de resíduos.

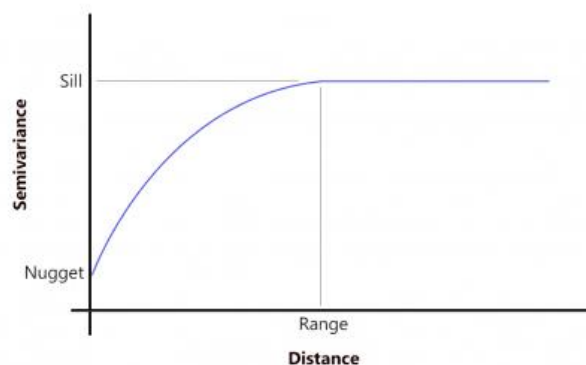


Figura 6 - Representação esquemática dos parâmetros de um modelo de Semi-variograma: Nugget, Sill e Range.

Fonte: GIS Geography, 2018

O *kriging* comum (*ordinary kriging*) utiliza a média ponderada dos valores dos pontos amostrados na vizinhança do ponto que se pretende estimar (Clark, n.d.). Os pesos são calculados com base na distância ao ponto a estimar. É dado maior peso aos pontos mais próximos e menor aos mais distantes (Columbia University, n.d.). Estes são otimizados com base no modelo do semi-variograma ajustado (Clark, n.d.), ou seja, dependem do modelo escolhido (GIS Geography, 2018).

A predição espacial envolve necessariamente alguma aleatoriedade. Com o *kriging*, pode-se medir a certeza dos resultados obtidos na interpolação (Columbia University, n.d.). São geradas duas

superfícies: uma superfície de predição, com os valores das estimativas para cada ponto da grelha; e uma superfície com os erros padrão resultantes da predição dos valores. O erro padrão é maior nas zonas onde há menos pontos amostrados. O *kriging* é considerado um interpolador exato, já que cada valor estimado é calculado minimizando o erro de predição. O valor gerado para pontos amostrados é igual ao valor da amostra (Columbia University, n.d.).

### **3.6. Recomendação de Fertilização**

Por fim, foram efetuadas duas recomendações de fertilização independentes para a parcela em estudo: uma recomendação convencional, utilizando os valores médios calculados para toda a parcela; e uma recomendação de precisão, considerando as necessidades específicas de cada ponto analisado. A recomendação foi efetuada de acordo com o Manual de Fertilização das Culturas (LQARS, 2006).

## 4. Resultados e Discussão

### 4.1. Ano 1

#### 4.1.1. Estatística descritiva

Os dados recolhidos no campo e analisados em laboratório referentes aos parâmetros do solo foram submetidos a uma análise estatística descritiva. Com esta análise pretende-se particularmente averiguar a existência de variabilidade espacial (e sua magnitude), o que é conseguido através da análise do coeficiente de variação (c.v.).

Analisando o Quadro 9, é possível concluir quanto à variabilidade de cada uma das variáveis estudadas.

Os principais tópicos a reter da tabela são os seguintes:

- Todas as variáveis apresentam variabilidade espacial significativa (c.v. superior a 30%), à exceção do pH (H<sub>2</sub>O) que não apresenta variabilidade espacial (c.v. inferior a 10%);
- Os parâmetros com maior variabilidade são os teores de fósforo e potássio extraíveis (P<sub>2</sub>O<sub>5 ext</sub> e de K<sub>2</sub>O<sub>ext</sub>) e a condutividade elétrica (CE), com valores de c.v. de, respetivamente, 108%, 62,14% e 55,62%, revelando muito elevada variabilidade;
- Os teores de matéria orgânica (MO), e de bases de troca (Na<sub>troca</sub>, K<sub>troca</sub>, Ca<sub>troca</sub>, Mg<sub>troca</sub>) apresentam também variabilidade significativa, com coeficientes de variação de 39,33%, 35,73%, 44,85%, 27,86% e 38,73%, respetivamente.

A amplitude das variáveis assume também acentuada relevância neste estudo, nomeadamente no caso dos teores de P<sub>2</sub>O<sub>5 ext</sub> de K<sub>2</sub>O<sub>ext</sub> e da CE, que atingem valores muito elevados (1 256,94 mg/kg, 1 300 mg/kg e 844,44 µS/cm respetivamente).

Quadro 9 - Estatística descritiva dos parâmetros do solo analisados no ano 1

Variável	Média	Mínimo	Máximo	Amplitude	Variância	Desv. Padr.	Coef. Var (%)
pH (H <sub>2</sub> O)	7,48	6,27	8,37	2,1	0,22	0,47	6,31
CE (µS/cm)	227,74	93,26	937,7	844,44	16 042,56	126,66	55,62
P <sub>2</sub> O <sub>5 ext</sub> (mg/kg)	397,49	41,06	1 298,00	1 256,94	186 605,06	431,98	108,68
K <sub>2</sub> O <sub>ext</sub> (mg/kg)	359,7	100,00	1 400,00	1 300,00	49 959,64	223,52	62,14
MO (%)	3,28	1,4	7,05	5,64	1,67	1,29	39,33
Na <sub>troca</sub> (cmol(+)/kg)	0,33	0,12	0,59	0,48	0,01	0,12	35,73
K <sub>troca</sub> (cmol(+)/kg)	0,81	0,25	1,9	1,65	0,13	0,36	44,85
Ca <sub>troca</sub> (cmol(+)/kg)	37,21	24,42	57,33	32,91	107,5	10,37	27,86
Mg <sub>troca</sub> (cmol(+)/kg)	6,47	1,79	10,53	8,74	6,28	2,51	38,73

#### 4.1.2. Análise de correlação

A análise de correlação permite concluir sobre as inter-relações existentes entre as variáveis, isto é, permite saber o grau de relação entre elas. O coeficiente de correlação ( $r$ ) mede a eventual linearidade entre as variáveis, podendo esta ser positiva ou negativa. No Quadro 10 é possível visualizar as correlações existentes entre as variáveis em estudo no ano 1, relativas aos parâmetros do solo.

Através do Quadro 10 é possível verificar que todas as variáveis do solo referentes ao ano 1 se encontram significativamente correlacionadas ( $p < 0,05$ ), à exceção da CE e do teor de  $P_2O_{5\text{ ext}}$  (único valor a preto). Todos os restantes nutrientes do solo correlacionam-se significativamente entre si e com o pH, CE e MO. Os valores do coeficiente de correlação para este conjunto de variáveis são maioritariamente moderados ( $> |0,40|$ ) a fortes ( $> |0,70|$ ) (Franzblau, 1958), à exceção das correlações entre a CE e o pH ( $H_2O$ ) ( $r=0,30$ ) e a CE e o  $K_2O_{\text{ext}}$  ( $r=0,34$ ).

As variáveis do solo analisadas no ano 1 que mais se correlacionam são o  $Ca_{\text{troca}}$  e  $Mg_{\text{troca}}$  ( $r= -0,87$ ), o que vai de encontro à bibliografia (Varenes, 2003), uma vez que o Ca deve representar cerca de 80% do complexo de troca (CT), ao passo que o Mg representa apenas 4% a 20%, sendo o Ca adsorvido em maior extensão do que o Mg.

Quadro 10 - Análise de correlação para os parâmetros do solo do ano 1

Variável	pH ( $H_2O$ )	CE ( $\mu S/cm$ )	$P_2O_{5\text{ ext}}$ (mg/Kg)	$K_2O_{\text{ext}}$ (mg/kg)	MO (%)	$Na_{\text{troca}}$ (cmol(+)/kg)	$K_{\text{troca}}$ (cmol(+)/kg)	$Ca_{\text{troca}}$ (cmol(+)/kg)	$Mg_{\text{troca}}$ (cmol(+)/kg)
pH ( $H_2O$ )	1,00								
CE ( $\mu S/cm$ )	0,30	1,00							
$P_2O_{5\text{ ext}}$ (mg/Kg)	0,58	0,18	1,00						
$K_2O_{\text{ext}}$ (mg/kg)	0,56	0,34	0,43	1,00					
MO (%)	0,66	0,57	0,41	0,63	1,00				
$Na_{\text{troca}}$ (cmol(+)/kg)	-0,65	-0,44	-0,61	-0,44	-0,63	1,00			
$K_{\text{troca}}$ (cmol(+)/kg)	0,61	0,44	0,48	0,65	0,79	-0,66	1,00		
$Ca_{\text{troca}}$ (cmol(+)/kg)	0,76	0,49	0,66	0,49	0,66	-0,67	0,60	1,00	
$Mg_{\text{troca}}$ (cmol(+)/kg)	-0,74	-0,49	-0,61	-0,63	-0,77	0,73	-0,67	-0,87	1,00

## 4.2. Ano 2

### 4.2.1. Estatística descritiva

O Quadro 11 mostra a análise estatística descritiva a que foram submetidos os parâmetros do solo do ano 2. Atenta-se sobretudo nos valores dos coeficientes de variação, a fim de avaliar a variabilidade espacial das variáveis, e compará-la com a variabilidade verificada no ano anterior.

Pela análise do Quadro 11 é de realçar que:

- À semelhança do ano 1, o pH (H<sub>2</sub>O) é a única variável que não apresenta variabilidade espacial (c.v.=5,5%);
- Todas as restantes variáveis apresentam variabilidade, sendo que destas, as de menor magnitude são os teores de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (c.v. = 11,62%) e de Ca<sub>troca</sub> (c.v.=15,89%);
- As variáveis com maior variabilidade são o teor de Zn<sub>ext</sub> (c.v.=133,93%), seguido da CE (c.v.=118,86%) e do teor de Na<sub>troca</sub> (c.v.=105,29%), com valores muito elevados de variabilidade espacial;
- Todas as restantes variáveis apresentam variabilidade espacial significativa (c.v.>30%);

As maiores diferenças face ao ano anterior encontram-se no coeficiente de variação do teor de P<sub>2</sub>O<sub>5 ext</sub>, que revelou uma diminuição de cerca de 47%, e na CE, com um aumento de cerca de 63%.

Quadro 11 - Estatística descritiva dos parâmetros do solo analisados no ano 2

Variável	Média	Mínimo	Máximo	Amplitude	Variância	Desv. Padr.	Coef. Var. (%)
pH (H <sub>2</sub> O)	7,54	6,55	8,43	1,88	0,17	0,42	5,54
CE (μS/cm)	162,61	55,49	1 516,00	1 460,51	37 353,42	193,27	118,86
P <sub>2</sub> O <sub>5 ext</sub> (mg/Kg)	233,13	52,00	619,00	567,00	20 428,11	142,93	61,31
K <sub>2</sub> O <sub>ext</sub> (mg/kg)	609,25	50,00	1 730,00	1 680,00	95 298,16	308,7	50,67
MO (%)	3,64	2,02	7,02	4,5	1,25	1,12	30,68
Na <sub>troca</sub> (cmol(+)/kg)	0,24	0,09	2,04	1,96	0,06	0,25	105,29
K <sub>troca</sub> (cmol(+)/kg)	1,13	0,52	2,49	1,97	0,17	0,41	36,56
Ca <sub>troca</sub> (cmol(+)/kg)	23,28	17,76	32,58	14,82	13,68	3,67	15,89
Mg <sub>troca</sub> (cmol(+)/kg)	7,33	2,6	12,34	9,73	8,00	2,83	38,57
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/kg)	6,97	5,81	9,36	3,55	0,66	0,81	11,62
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/kg)	3,28	1,88	7,32	5,44	1,76	1,33	40,47
Fe <sub>ext</sub> (mg/L)	12,04	3,49	23,45	19,95	31,47	5,61	46,6
Cu <sub>ext</sub> (mg/L)	4,94	1,84	30,36	28,53	10,15	3,19	64,46
Zn <sub>ext</sub> (mg/L)	4,21	0,95	39,49	38,54	31,82	5,64	133,93
Mn <sub>ext</sub> (mg/L)	11,13	1,77	31,66	29,89	35,15	5,93	53,29

O Quadro 12 apresenta a estatística descritiva a que foram sujeitos os dados de campo relativos aos teores foliares de nutrientes no ano 2. É possível analisar, através do coeficiente de variação, a variabilidade dos teores foliares de nutrientes dentro da parcela de vinha.

Do Quadro 12, é possível reter o seguinte:

- À semelhança dos parâmetros do solo, também os nutrientes foliares variam significativamente na parcela. O nutriente foliar com maior variabilidade é o  $Cu_{fol}$  (c.v.=138,87%), seguido do  $Mn_{fol}$  (c.v.=89,07%) e do  $Fe_{fol}$  (c.v.= 86,34%);
- Os nutrientes foliares que menos variam na parcela são o  $B_{fol}$  (12,28%) e, novamente, o  $Ca_{fol}$  (14,96%), que apresentam reduzida variabilidade.

Quadro 12 - Estatística descritiva dos nutrientes foliares analisados no ano 2

Variável	Média	Mínimo	Máximo	Amplitude	Variância	Desv. Padr.	Coef. Var. (%)
$K_{fol}$ (g/kg)	14,07	5,87	28,19	22,32	41,05	6,41	45,53
$Ca_{fol}$ (g/kg)	20,64	14,13	31,28	17,15	9,54	3,09	14,96
$Mg_{fol}$ (g/kg)	6,66	3,8	11,15	7,35	2,6	1,61	24,24
$P_{fol}$ (g/kg)	4,98	2,19	8,44	6,24	1,91	1,38	27,74
$N_{fol}$ (g/kg)	7,47	2,78	16,41	13,63	6,99	2,64	35,4
$Fe_{fol}$ (mg/kg)	14,75	1,14	93,44	92,3	162,13	12,73	86,34
$Cu_{fol}$ (mg/kg)	19,93	3,8	201,75	197,94	766,24	27,68	138,87
$Zn_{fol}$ (mg/kg)	46,23	8,19	102,19	94,00	426,54	20,65	44,67
$Mn_{fol}$ (mg/kg)	80,31	10,51	345,4	334,89	5 116,28	71,53	89,07
$B_{fol}$ (mg/kg)	36,52	27,32	46,7	19,38	20,12	4,49	12,28

#### 4.2.2. Análise de correlação

O Quadro 13 mostra as correlações existentes entre os diferentes parâmetros do solo estudados no ano 2. Através da sua análise, é possível verificar quais as variáveis que se inter-relacionam e de que forma. Os coeficientes de correlação assinalados a vermelho no quadro representam as correlações significativas ( $p < 0,05$ ) entre as variáveis.

Os principais pontos a reter da análise do Quadro 13 são os seguintes:

- A CE não se relaciona com nenhum dos nutrientes do solo nem com o pH ( $H_2O$ ) ou com a MO;
- O pH ( $H_2O$ ) relaciona-se significativamente, de forma positiva ou negativa, com todos os nutrientes do solo, e de forma positiva com a MO;
- As maiores correlações observadas são as seguintes: pH ( $H_2O$ ) e  $Fe_{ext}$  ( $r = - 0,86$ ); pH ( $H_2O$ ) e  $Mn_{ext}$  ( $r = - 0,82$ );  $K_2O_{ext}$  e  $K_{troca}$  ( $r = 0,85$ ) e  $Fe_{ext}$  e  $Mn_{ext}$  ( $r = 0,91$ ).

De acordo com Varennes (2003), a disponibilidade dos micronutrientes no solo reduz-se com o pH, sobretudo o Mn e o Fe, o que vai de encontro aos resultados obtidos. Os teores de potássio adsorvidos no CT encontram-se em equilíbrio com a solução do solo, pelo que quanto maior a quantidade de potássio no solo, maior a quantidade de potássio de troca (Varennes, 2003), o que explica a elevada correlação positiva entre  $K_{2O_{ext}}$  e  $K_{troca}$ . O  $Fe_{ext}$  e  $Mn_{ext}$  variam no mesmo sentido com o pH, MO, potencial redox e textura do solo (Varennes, 2003), pelo que se justifica a elevada correlação positiva verificada entre os dois micronutrientes.

Das relações observadas, interessa estudar a do  $K_{troca}$  e  $Mg_{troca}$ , de valor  $r = -0,55$  e que assume elevada importância no caso das vinhas, devido ao fenómeno de antagonismo iónico entre os dois elementos (Hannan, 2011).

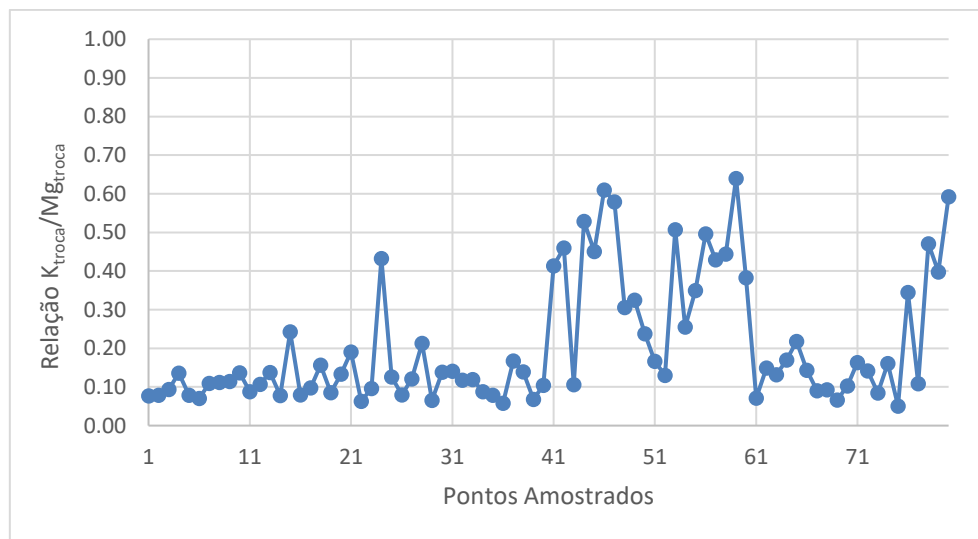


Figura 7 - Relação  $K_{troca}/Mg_{troca}$  para cada ponto amostrado da vinha

A Figura 7 mostra a relação  $K_{troca}/Mg_{troca}$  para todos os pontos amostrados no ano 2. Verifica-se que a relação oscila entre 0,05 e 0,64, com um valor médio de 0,15 e um percentil 80 de 0,36 (o que significa que 80% dos pontos se encontram abaixo daquele valor). Segundo Hannan (2011), em solo de vinha, uma relação K/Mg entre 0,4 e 0,5 é suficiente para se evitarem carências de potássio induzidas pelo magnésio. Assim, os valores obtidos são maioritariamente muito baixos, existindo um desequilíbrio nutricional muito elevado entre os dois elementos.

A relação  $Ca_{troca}/Mg_{troca}$ , é também importante pois é suscetível de levar a desequilíbrios nutricionais nas plantas (Varennes, 2003), observando-se a existência de uma correlação significativa e negativa entre os dois parâmetros ( $r = -0,78$ ).

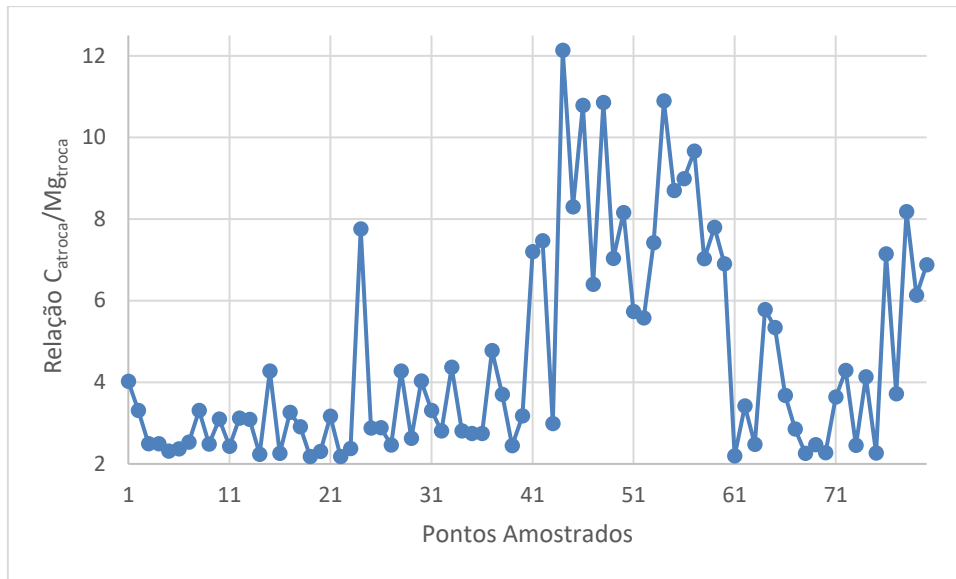


Figura 8 - Relação Ca<sub>troca</sub>/Mg<sub>troca</sub> para cada ponto amostrado da vinha

De acordo com o Manual de Fertilização das Culturas (LQARS, 2006), valores adequados para a relação Ca<sub>troca</sub>/Mg<sub>troca</sub> encontram-se entre 2,6 e 4,0. Valores inferiores a 2,6 são desfavoráveis para as propriedades físicas do solo, e valores superiores a 4,0 podem causar problemas na nutrição das plantas em Mg (LQARS, 2006). Para a vinha da Meia Encosta, esta relação oscila entre 1,68 e 11,64, com um valor médio de 3,17, percentil 70 de 5,17 (70% dos valores são inferiores a 5,17) e percentil 30 de 2,24 (apenas 30% dos valores são inferiores a 2,24). Uma vez que a maioria dos valores se encontra na gama adequada, não se considera haver desequilíbrios nutricionais entre Ca<sub>troca</sub> e Mg<sub>troca</sub> na vinha em estudo.

Quadro 13 - Análise de correlação para os parâmetros do solo do ano 2

Variável	pH (H <sub>2</sub> O)	CE (μS/cm)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ext (mg/kg)	K <sub>2</sub> O ext (mg/kg)	MO (%)	Na <sub>troca</sub> (cmol(+)/kg)	K <sub>troca</sub> (cmol(+)/kg)	Ca <sub>troca</sub> (cmol(+)/kg)	Mg <sub>troca</sub> (cmol(+)/kg)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/kg)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/kg)	Fe <sub>ext</sub> (mg/L)	Cu <sub>ext</sub> (mg/L)	Zn <sub>ext</sub> (mg/L)	Mn <sub>ext</sub> (mg/L)	
pH (H <sub>2</sub> O)	1,00															
CE (μS/cm)	-0,13	1,00														
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ext (mg/kg)	0,70	-0,05	1,00													
K <sub>2</sub> O ext (mg/kg)	0,44	-0,04	0,66	1,00												
MO (%)	0,34	0,02	0,61	0,62	1,00											
Na <sub>troca</sub> (cmol(+)/kg)	-0,40	0,00	-0,38	-0,22	-0,22	1,00										
K <sub>troca</sub> (cmol(+)/kg)	0,47	-0,03	0,76	0,85	0,72	-0,28	1,00									
Ca <sub>troca</sub> (cmol(+)/kg)	0,79	0,01	0,65	0,42	0,38	-0,28	0,41	1,00								
Mg <sub>troca</sub> (cmol(+)/kg)	-0,78	0,08	-0,75	-0,54	-0,48	0,29	-0,55	-0,78	1,00							
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/kg)	-0,55	0,06	-0,39	-0,15	-0,04	0,35	-0,19	-0,37	0,42	1,00						
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/kg)	0,27	0,13	0,56	0,5	0,57	-0,15	0,7	0,32	-0,34	0,12	1,00					
Fe <sub>ext</sub> (mg/L)	-0,86	0,03	-0,71	-0,33	-0,26	0,36	-0,35	-0,76	0,75	0,61	-0,21	1,00				
Cu <sub>ext</sub> (mg/L)	0,25	-0,03	0,16	0,09	0,47	-0,04	0,1	0,29	-0,26	-0,09	-0,01	-0,14	1,00			
Zn <sub>ext</sub> (mg/L)	0,49	-0,03	0,48	0,37	0,58	-0,16	0,4	0,48	-0,54	-0,25	0,2	-0,43	0,72	1,00		
Mn <sub>ext</sub> (mg/L)	-0,82	-0,05	-0,72	-0,33	-0,3	0,49	-0,4	-0,68	0,62	0,68	-0,3	0,91	-0,14	-0,39	1,00	

O Quadro 14 apresenta a análise de correlação entre os nutrientes foliares, para a parcela em estudo, no ano 2.

Verifica-se que existem menos correlações significativas (valores a vermelho) para os nutrientes foliares do que para os nutrientes do solo.

Pode-se concluir que o  $N_{fol}$  o  $Fe_{fol}$  e o  $Cu_{fol}$  não se correlacionam significativamente com nenhum dos restantes nutrientes foliares. A maior correlação verifica-se para o  $Mn_{fol}$  e o  $Mg_{fol}$  ( $r=0,65$ ) seguida do  $Mg_{fol}$  e  $K_{fol}$  ( $r= - 0,64$ ) e do  $Zn_{fol}$  e  $Ca_{fol}$  ( $r= 0,62$ ).

A relação negativa significativa entre  $Mg_{fol}$  e  $K_{fol}$  deve-se ao antagonismo iónico existente entre os dois elementos, já mencionada, em que elevados teores de Mg impedem a absorção de K pelas plantas (Hannan, 2011). Do mesmo modo que se têm correlações positivas significativas entre os teores do solo de Mn e o Mg ( $r= 0,62$ ) e Zn e Ca ( $r=0,48$ ), o mesmo se verifica para os teores foliares.

Quadro 14 - Análise de correlação para os nutrientes foliares analisados no ano 2

Variável	$K_{fol}$ (g/kg)	$Ca_{fol}$ (g/kg)	$Mg_{fol}$ (g/kg)	$P_{fol}$ (g/kg)	$N_{fol}$ (g/kg)	$Fe_{fol}$ (mg/kg)	$Cu_{fol}$ (mg/kg)	$Zn_{fol}$ (mg/kg)	$Mn_{fol}$ (mg/kg)	$B_{fol}$ (mg/kg)
$K_{fol}$ (g/kg)	1,00									
$Ca_{fol}$ (g/kg)	0,00	1,00								
$Mg_{fol}$ (g/kg)	-0,64	0,36	1,00							
$P_{fol}$ (g/kg)	-0,35	0,46	0,39	1,00						
$N_{fol}$ (g/kg)	-0,03	0,04	0,15	0,25	1,00					
$Fe_{fol}$ (mg/kg)	-0,13	0,09	0,10	0,15	0,15	1,00				
$Cu_{fol}$ (mg/kg)	-0,19	0,03	0,12	0,04	-0,03	0,05	1,00			
$Zn_{fol}$ (mg/kg)	0,44	0,62	-0,17	0,37	0,17	0,1	-0,03	1,00		
$Mn_{fol}$ (mg/kg)	-0,56	0,09	0,65	0,19	0,18	0,07	0,08	-0,28	1,00	
$B_{fol}$ (mg/kg)	0,53	0,13	-0,24	-0,04	0,15	-0,02	0,04	0,29	-0,52	1,00

Outras correlações importantes de analisar neste trabalho, por poderem afetar a fertilização efetuada, são as seguintes correlações entre parâmetros do solo e teores foliares de nutrientes:

Quadro 15 - Correlações importantes entre parâmetros do solo e nutrientes foliares

	<b>Ca<sub>fol</sub></b>	<b>Mg<sub>troca</sub></b>	<b>Mg<sub>fol</sub></b>	<b>K<sub>2</sub>O<sub>ext</sub></b>	<b>K<sub>fol</sub></b>	<b>MO</b>	<b>N<sub>fol</sub></b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub><sub>ext</sub></b>	<b>P<sub>fol</sub></b>
<b>Ca<sub>troca</sub></b>	0,04		0,66		0,58		0,23		-0,21

Quadro 16 - Correlação entre a relação Ca<sub>troca</sub>/Mg<sub>troca</sub> e os teores foliares de Ca e de Mg

	<b>Ca<sub>fol</sub></b>	<b>Mg<sub>fol</sub></b>
<b>Ca<sub>troca</sub>/Mg<sub>troca</sub></b>	0,13	-0,60

Quadro 17 - Correlação entre a relação K<sub>troca</sub>/Mg<sub>troca</sub> e os teores foliares de K e de Mg

	<b>K<sub>fol</sub></b>	<b>Mg<sub>fol</sub></b>
<b>K<sub>troca</sub>/Mg<sub>troca</sub></b>	0,80	-0,63

Considerando o Quadro 15, verifica-se que não existe correlação significativa entre os teores de Ca no CT e os teores de Ca absorvidos pelas plantas. Por outro lado, existe uma correlação positiva moderada entre os teores de Mg no complexo de troca e os teores foliares de Mg ( $r=0,66$ ). Quanto maior a quantidade de Mg adsorvido no CT, mais Mg a planta absorve. Verifica-se a existência de uma correlação positiva moderada entre o teor de K<sub>2</sub>O extraível do solo e o teor foliar de K ( $r=0,58$ ). A absorção de K pelas plantas aumenta com o teor de K<sub>2</sub>O extraível do solo. No entanto, não existe correlação significativa entre o teor de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> extraível do solo e o teor de P nas plantas. Observa-se a existência de correlação positiva significativa entre o teor de matéria orgânica do solo e a quantidade de N absorvida pelas plantas ( $r=0,23$ ).

Considerando o Quadro 16, observa-se que a relação Ca<sub>troca</sub>/Mg<sub>troca</sub> não se correlaciona significativamente com o teor de Ca absorvido pelas plantas, mas correlaciona-se significativamente de forma negativa com o teor de Mg absorvido pelas plantas ( $r=-0,60$ ). Quanto maior a relação Ca<sub>troca</sub>/Mg<sub>troca</sub> menor a quantidade de Mg absorvida, o que vai de encontro à bibliografia (LQARS, 2006), que dita que elevadas relações Ca/Mg causam problemas de nutrição de Mg nas plantas. Contudo, verificou-se pela análise já efetuada, que esta relação se encontra dentro da classe adequada (LQARS, 2006) na vinha da Meia Encosta, não levantando desequilíbrios nutricionais entre os dois elementos.

A relação mais relevante para este trabalho é a relação entre K<sub>troca</sub>/Mg<sub>troca</sub> e K<sub>fol</sub> e Mg<sub>fol</sub> (Quadro 17), pois mostra como a relação K<sub>troca</sub>/Mg<sub>troca</sub> afeta a nutrição foliar de K e de Mg na vinha em estudo. Verifica-se que a relação K<sub>troca</sub>/Mg<sub>troca</sub> se correlaciona fortemente de forma positiva ( $r=0,80$ ) com o teor foliar de K e moderadamente de forma negativa ( $r=-0,63$ ) com o teor foliar de Mg. Ou seja, quanto maior a relação, maior o K absorvido e menor o Mg absorvido; e quanto menor a relação, menor o K absorvido e maior o Mg absorvido. Como se verificou acima, a relação K<sub>troca</sub>/Mg<sub>troca</sub> é muito baixa para a vinha em estudo, pelo que os teores foliares de K vão ser altamente afetados (muito baixos), e vão

se ter elevados teores de Mg foliar. A constatação deste facto afetará a fertilização efetuada na parcela, como se verá mais adiante.

### 4.3. Análise temporal

Na análise temporal pretende-se comparar os resultados para os parâmetros do solo obtidos para o ano 1 com os obtidos para o ano 2 e averiguar se são significativamente diferentes. Para isso, foi efetuado um teste de médias para conjuntos de dados dependentes (*dependent t test*).

No Quadro 18 é possível verificar os resultados da análise temporal para cada uma das variáveis do solo, sendo que os valores do ano 1 são significativamente diferentes dos do ano 2 quando  $p < 0,05$  (valores a vermelho). Do Quadro 18 retêm-se os seguintes tópicos:

- Apenas o pH (H<sub>2</sub>O) e a CE não variam significativamente de um ano para o outro;
- O teor de MO no solo varia significativamente entre os dois anos (3,3% para o ano 1 e 3,6% para o ano 2). Este aumento pode ser justificado pela gestão do solo da vinha - o solo não é mobilizado pois a vinha tem um enrelvamento permanente que é cortado frequentemente ficando a biomassa à superfície do terreno. A decomposição desta biomassa tenderá a aumentar o teor de matéria orgânica do solo. Ainda assim, os valores para os dois anos pertencem à mesma classe de MO no solo (teores “médios” de MO), o que, em termos agronómicos, significa que os dois valores são semelhantes;
- Os teores de P<sub>2</sub>O<sub>5 ext</sub> variam significativamente de um ano para o outro, com um decréscimo de cerca de 157 mg/kg. Este decréscimo poderá ser consequência da absorção de nutrientes por parte das plantas, uma vez que não foi feita qualquer fertilização fosfatada entre as duas amostragens. No entanto, por os valores obtidos serem “muito altos”, foi necessário recorrer a um conjunto de procedimentos analíticos, nomeadamente diluições, que poderão introduzir alguma variabilidade nos valores obtidos nos diferentes anos. Contudo, os valores para os dois anos pertencem à mesma classe de fertilidade (teores “muito altos”), i.e., em termos agronómicos, nomeadamente em termos de recomendação de fertilização, os valores obtidos nos dois anos são idênticos;
- Os teores de K<sub>2</sub>O<sub>ext</sub> variaram, também, significativamente de um ano para o outro, com um aumento de cerca de 285 mg/kg, que poderá dever-se ao facto de se ter feito uma fertilização potássica à vinha, entre os dois anos, numa quantidade de 50 kg K<sub>2</sub>O/ha, localizada na linha, onde foram recolhidas as amostras de solo. Tal como referido para o P<sub>2</sub>O<sub>5 ext</sub>, os teores muito altos de potássio obrigam, também, a um conjunto de procedimentos analíticos, nomeadamente diluições, que poderão introduzir alguma variabilidade nos valores obtidos

nos diferentes anos. Contudo, os valores para os dois anos pertencem à mesma classe de fertilidade (teores “muito altos”), i.e., em termos agronômicos, nomeadamente em termos de recomendação de fertilização, os valores obtidos nos dois anos são idênticos;

- Os teores de  $Ca_{troca}$ ,  $Mg_{troca}$ ,  $K_{troca}$  e  $Na_{troca}$  variam significativamente de um ano para o outro. O  $K_{troca}$  passa da classe de fertilidade “alto” para “muito alto” e o  $Na_{troca}$  de “médio” para “baixo”, enquanto os restantes parâmetros mantêm-se dentro da mesma classe (teores “muito altos” para ambos). Tal como referido para o  $K_2O_{ext}$ , esta variação será resultado da fertilização potássica feita na vinha, entre os dois anos, que terá afetado a composição do complexo de troca (CT): o teor de  $K_{troca}$  aumentou, o que terá feito diminuir os teores de  $Na_{troca}$  e  $Ca_{troca}$ .

Quadro 18 - Análise temporal para os parâmetros do solo – comparação das médias de cada variável para o ano 1 e para o ano 2

Variável	Média	Amplitude	p-value
pH (H <sub>2</sub> O) Ano 1	7,48		
pH (H <sub>2</sub> O), Ano 2	7,56	0,08	0,1
CE Ano 1 (μS/cm)	227,74		
CE Ano 2 (μS/cm)	178,45	-49,29	0,13
P <sub>2</sub> O <sub>5 ext</sub> Ano 1 (mg/kg)	397,49		
P <sub>2</sub> O <sub>5 ext</sub> Ano 2 (mg/kg)	240,80	-156,69	0,00
K <sub>2</sub> O <sub>ext</sub> Ano 1 (mg/kg)	359,70		
K <sub>2</sub> O <sub>ext</sub> Ano 2 (mg/kg)	644,33	284,63	0,00
MO Ano 1 (%)	3,28		
MO Ano 2 (%)	3,66	0,37	0,04
Na <sub>troca</sub> Ano 1 (cmol(+)/kg)	0,33		
Na <sub>troca</sub> Ano 2 (cmol(+)/kg)	0,25	-0,07	0,03
K <sub>troca</sub> Ano 1 (cmol(+)/kg)	0,81		
K <sub>troca</sub> Ano 2 (cmol(+)/kg)	1,14	0,34	0,00
Ca <sub>troca</sub> Ano 1 (cmol(+)/kg)	37,21		
Ca <sub>troca</sub> Ano 2 (cmol(+)/kg)	23,55	-13,66	0,00
Mg <sub>troca</sub> Ano 1 (cmol(+)/kg)	6,47		
Mg <sub>troca</sub> Ano 2 (cmol(+)/kg)	7,28	0,81	0,01

#### 4.4. Distribuição espacial das variáveis na parcela

No Anexo 4, podem-se observar as cartas de distribuição espacial de cada uma das variáveis dentro da parcela em estudo: pH (H<sub>2</sub>O), CE, MO, teores de nutrientes do solo e teores de nutrientes foliares.

Para cada variável, têm-se três cartas: a primeira diz respeito ao ano 1; a segunda ao ano 2 considerando apenas os mesmos 60 pontos do ano anterior (para fins de comparação temporal); e a terceira refere-se ao ano 2 mas considerando mais 20 pontos escolhidos aleatoriamente (para

comparar cartas efetuadas com 60 e com 80 pontos). Os teores de azoto e os micronutrientes do solo têm apenas duas cartas (uma efetuada com 60 pontos e outra com 80) e os nutrientes foliares têm apenas uma carta produzida com os 80 pontos, uma vez que nenhuma destas variáveis foi estudada no ano 1.

Para todos os casos, as legendas das cartas encontram-se discriminadas de acordo com a classificação de cada parâmetro segundo o Manual de Fertilização das Culturas (LQARS, 2006), com as exceções das cartas 6, 7 e 8.

Através da observação das cartas de distribuição espacial das variáveis (Anexo 4), confirmam-se os resultados obtidos através da análise estatística descritiva para quase todas as variáveis: existe variabilidade espacial, podendo esta ser observada.

A exceção encontra-se para o caso do pH (H<sub>2</sub>O). Da análise estatística descritiva verifica-se que este não apresenta variabilidade espacial. No entanto, atentando na carta efetuada, é possível observar uma diferenciação clara de zonas com pH neutro (zona Este da parcela) e de zonas de pH alcalino (zona Oeste da parcela).

Analisando a Carta 2 (mapeamento da CE), no caso do ano 2 – 80 pontos, observa-se que a CE é, para a maior parte da parcela, baixa (< 200 µS/cm), mas com manchas dispersas onde os valores são superiores.

O teor de matéria orgânica (Carta 3) varia de forma bastante nítida de médio para alto quando se move no sentido de Este para Oeste da parcela.

A distribuição espacial do P<sub>2</sub>O<sub>5 ext</sub> (Carta 4) dá-se na mesma direção e sentido das variáveis anteriores (o teor aumenta da zona Este para a zona Oeste).

Os teores de K<sub>2</sub>O<sub>ext</sub> (Carta 5) são muito elevados em toda a parcela. Assim, o padrão obtido equivale a uma única mancha azul escura para todas as cartas geradas. No entanto, dentro da gama dos teores muito elevados de K<sub>2</sub>O, existe uma grande variação espacial, obtendo-se valores que vão dos 200 ppm aos 1 700 ppm, como pode ser observado através de uma quarta carta produzida para esta variável (Carta 6). Através da Carta 6, é possível verificar que o padrão de distribuição espacial do K<sub>2</sub>O<sub>ext</sub> varia aproximadamente do mesmo modo que o pH (H<sub>2</sub>O), a MO e o P<sub>2</sub>O<sub>5 ext</sub> (aumenta do sentido de Este para Oeste).

Estes resultados são coerentes com a análise de correlação efetuada para o ano 2 (Quadro 13) - todas estas variáveis (pH (H<sub>2</sub>O), a MO, P<sub>2</sub>O<sub>5 ext</sub>, K<sub>2</sub>O<sub>ext</sub>) se encontram positivamente correlacionadas, de forma moderada (r>0,40) a forte (r>0,70), à exceção do pH (H<sub>2</sub>O) e MO, em que r=0,34.

Ao passo que para a distribuição espacial do teor de  $\text{NO}_3^-$  (Carta 8) se verifica o mesmo padrão que para as variáveis anteriores ( $\text{NO}_3^-$  também se correlaciona positivamente com todas elas de forma moderada, à exceção do pH ( $\text{H}_2\text{O}$ ) ( $r=0,27$ )), o mesmo não se verifica para o  $\text{NH}_4^+$  (Carta 7), onde o padrão varia no sentido oposto. Teores superiores de  $\text{NH}_4^+$  evidenciam-se para a zona Este, ao passo que teores inferiores se evidenciam para a zona oeste.  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$  não se encontram, contudo, correlacionados (Quadro 13).

O  $\text{Ca}_{\text{troca}}$  (Carta 11) e o  $\text{Mg}_{\text{troca}}$  (Carta 12) apresentam valores muito elevados em praticamente toda a parcela. Para o  $\text{Ca}_{\text{troca}}$ , valores pontuais altos/médios verificam-se na zona Este a parcela, ao passo que para o  $\text{Mg}_{\text{troca}}$  valores altos a médios se encontram na zona Oeste da parcela. Isto é reforçado pela análise de correlação efetuada, na qual se obteve um valor de  $r = -0,78$  (correlação negativa forte). O mesmo tipo de diferença de padrão verifica-se comparando os do  $\text{K}_{\text{troca}}$  (mapa 9) e  $\text{Mg}_{\text{troca}}$ , em que  $r = -0,55$ .

Foi mapeada a relação  $\text{K}_{\text{troca}}/\text{Mg}_{\text{troca}}$  (Carta 13). Como se concluiu pela análise estatística, esta é reduzida em toda a parcela, no entanto, varia espacialmente, com valores muito baixos na zona Este e valores mais elevados (até um máximo de 0,64) na zona Oeste. Verifica-se que o padrão de distribuição espacial da relação  $\text{K}_{\text{troca}}/\text{Mg}_{\text{troca}}$  varia do mesmo modo que o padrão do teor foliar de k (Carta 20), o que vai de encontro à análise de correlação efetuada (Quadro 17) ( $r=0,8$ ). Também vai de encontro a esta análise o facto de o teor foliar de Mg ser elevado para toda a parcela, uma vez que  $\text{Mg}_{\text{fol}}$  e  $\text{K}_{\text{troca}}/\text{Mg}_{\text{troca}}$  se correlacionam significativamente de forma negativa ( $r=-0,63$ ). O  $\text{Mg}_{\text{fol}}$  e o  $\text{Mg}_{\text{troca}}$  correlacionam-se significativamente de forma positiva ( $r=0,66$ ), o que se pode ver pelos mapas (mapas 22 e 12, respetivamente), em que ambas as variáveis têm valores muito elevados no solo.

Os micronutrientes do solo ( $\text{Fe}_{\text{ext}}$ ,  $\text{Cu}_{\text{ext}}$ ,  $\text{Zn}_{\text{ext}}$ ,  $\text{Mn}_{\text{ext}}$ ) (Cartas 14 – 17) apresentam, também, grande variação espacial, como é possível verificar pelas cartas geradas e pelo coeficiente de variação obtido na análise estatística descritiva (Quadro 12).

Os nutrientes foliares também variam significativamente na parcela, como se verifica na análise estatística descritiva e nas cartas realizadas. No caso do N foliar (Carta 18), os teores são maioritariamente insuficientes, apenas com uma pequena mancha para a qual são suficientes. Os teores foliares de P (Carta 19) são elevados para toda a parcela. O K foliar (Carta 20) apresenta valores insuficientes na metade Este da parcela e suficientes na metade Oeste. O teor de Ca foliar (Carta 21) é suficiente ao longo de toda a parcela, enquanto o Mg foliar (Carta 22) é sempre elevado. Isto vai de

encontro ao facto da relação  $Ca_{troca}/Mg_{troca}$  ser adequada, não levando a deficiências nutricionais na planta.

No Quadro 19 encontra-se uma sucinta análise de comparação entre os mapas gerados para cada variável, podendo-se retirar conclusões quanto à semelhança dos padrões de distribuição e da ordem de grandeza dos valores obtidos.

Temporalmente, os padrões de distribuição da maioria das variáveis mantêm-se constantes, apesar da CE,  $K_{troca}$  e  $Na_{troca}$  diferirem. No caso da CE, a carta Ano 2 – 60 pontos apresenta diferenças significativas face às restantes cartas geradas para esta variável, pelo que se considera a existência de erros computacionais no processo de interpolação desta carta. Quanto às bases de troca, apesar das diferenças face ao Ano 1, as restantes cartas apresentam padrões semelhantes, pelo que se considera que haja uma variação temporal. Este facto é confirmado pela análise temporal previamente efetuada (Quadro 18), em que se passa de teores altos de  $K_{troca}$  para teores muito altos; e de tores médios de  $Na_{troca}$  para teores baixos.

A ordem de grandeza dos valores obtidos para os diferentes anos é, também, semelhante para a maioria dos casos. Têm-se as exceções da CE e  $Na^+$ , já analisadas, às quais se acrescenta o pH ( $H_2O$ ) e o  $P_2O_5$ . Para os últimos dois casos, as cartas fornecem valores pontuais muito baixos que não se verificam na realidade. Considera-se mais uma vez a ocorrência de erros computacionais. Este tipo de erro pode-se dever ao facto dos pontos interpolados terem valores muito próximos uns dos outros, o que normalmente gera erros no *software* utilizado.

As cartas geradas com 60 e com 80 pontos revelam-se maioritariamente semelhantes, tanto em termos de padrão de distribuição como em ordem de grandeza dos valores. As exceções que se verificam são referentes à CE e pH, já analisadas, e ao teor de  $Mg_{troca}$ . No  $Mg_{troca}$ , apesar do padrão ser semelhante, verificam-se valores muito baixos e baixos na carta com 80 pontos que não se verificam na carta com 60 pontos. Estes baixos valores são incorretos e resultam provavelmente de um mau ajustamento dos dados na realização do semi-variograma que serve de base à interpolação. O  $Cu_{ext}$  e o  $Zn_{ext}$ , apesar de apresentarem padrões muito semelhantes nas duas cartas geradas, revelam ordem de valores ligeiramente diferente de uma carta para a outra. Isto pode ser devido à ocorrência de determinados pontos com valores diferentes do panorama geral num dos conjuntos de dados que afeta a interpolação realizada.

O *kriging*, método de interpolação utilizado para a criação destas cartas, é um método bastante sensível ao modelo de semi-variograma escolhido e a incorreções no seu ajustamento, daí a ocorrência

de vários casos de erros computacionais. No Anexo 5, podem-se observar todos os modelos de semi-variograma que foram ajustados para cada variável.

Quadro 19 - Comparação das cartas geradas para cada variável – Comparação temporal e Comparação 60 pontos vs 80 pontos

Variável	Comparação Temporal (Ano 1 vs. Ano 2)				Comparação 60p. vs. 80p.			
	Padrão		Ordem de grandeza dos valores		Padrão		Ordem de grandeza dos valores	
	Semelhante	Diferente	Semelhante	Diferente	Semelhante	Diferente	Semelhante	Diferente
<b>Parâmetros Físico-Químicos</b>								
pH	x			x	x			x
CE		x		x		x	x	
MO	x		x		x		x	
<b>Macronutrientes</b>								
P2O5	x			x	x		x	
K2O	x		x		x		x	
NH4+					x		x	
NO3-					x		x	
<b>Bases de Troca</b>								
K+		x	x		x		x	
Na+		x		x	x		x	
Ca2+	x		x		x		x	
Mg2+	x		x		x			x
<b>Micronutrientes</b>								
Fe					x		x	
Cu					x			x
Zn					x			x
Mn					x		x	

Os resultados obtidos vão de encontro à bibliografia, que dita que existe variabilidade espacial na vinha, e que esta se mantém de um ano para ano (Bramley & Lamb (2003), Bramley & Hamilton (2008) and Tisseyre et al. (2007, 2008)).

#### 4.5. Recomendação de fertilização

Com os resultados obtidos para os teores de nutrientes foliares e do solo, procedeu-se à recomendação de fertilização da parcela em estudo. Foram efetuadas independentemente duas recomendações de fertilização: uma recorrendo aos valores médios obtidos para toda a parcela, utilizando os 80 pontos estudados - correspondendo a uma recomendação convencional; e outra recomendação diferenciada (de precisão), atendendo às necessidades específicas de cada ponto analisado. A recomendação foi efetuada para os macronutrientes principais (N, P, K) e para o magnésio, segundo o Manual de Fertilização das Culturas (LQARS, 2006). Os resultados apresentam-se de seguida.

#### 4.5.1. Recomendação Convencional

Os parâmetros usados para recomendação de fertilização convencional encontram-se no Quadro 20 e correspondem aos valores médios obtidos para toda a parcela, através dos 80 pontos analisados.

Quadro 20 - Parâmetros usados para a recomendação de fertilização convencional e respetivo valor

Parâmetro	Valor
Produção esperada (t/ha)	12
Quantidade de N foliar	Insuficiente
Teor de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> extraível do solo	Muito alto
Teor foliar de P	Elevado
Teor de calcário total no solo (%)	< 2
Teor de K <sub>2</sub> O extraível do solo	Muito Alto*
Teor foliar de K	Insuficiente
Textura do solo	Fina

\*Como o teor de K foliar é insuficiente, situação não prevista no Manual de Fertilização das Culturas, a recomendação foi feita conforme a recomendação para a classe “alto”.

Como foi possível observar pela análise estatística e pelas cartas efetuadas, o teor de K<sub>2</sub>O<sub>ext</sub> é “muito alto” o teor foliar de K é “insuficiente”. No entanto, como o Manual de Fertilização das Culturas (LQARS, 2006) não prevê este caso, considerou-se, para a recomendação de fertilização, um teor “alto” de K<sub>2</sub>O<sub>ext</sub> no solo.

Isto deve-se ao facto de na vinha da Meia Encosta se verificar um fenómeno de antagonismo iónico entre o potássio e o magnésio, como já referido (relação K<sub>troca</sub>/Mg<sub>troca</sub> muito baixa): têm-se valores muito elevados de potássio no solo, mas têm-se valores ainda maiores de magnésio, sendo que os elevadíssimos teores de magnésio impedem a absorção de potássio pelas plantas. Assim, têm-se valores muito altos de potássio no solo, mas têm-se valores insuficientes de potássio nas plantas, como foi possível observar pela análise estatística e pelas cartas geradas. A solução para este desequilíbrio nutricional passa por aplicar potássio ao solo e não aplicar magnésio, no sentido de tentar aumentar a relação K<sub>troca</sub>/Mg<sub>troca</sub>.

Quadro 21 - Recomendação de fertilização convencional da parcela de vinha, recorrendo aos valores médios obtidos para os 80 pontos analisados

	kg/ha
<b>N</b>	50
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0
<b>K<sub>2</sub>O</b>	72
<b>Mg</b>	0

O Quadro 21 mostra os teores de nutrientes calculados para fornecer de modo uniforme à parcela de vinha. Será necessário fornecer à cultura 50 kg/ha de azoto (N) e 72 kg/ha de potássio (K<sub>2</sub>O).

Se não se observasse o fenómeno de antagonismo iónico na vinha, a recomendação normal aconselharia a aplicação de 15 kg/ha de Mg. Contudo, uma vez que se pretende reverter este fenómeno será necessário contrariá-lo, aplicando K<sub>2</sub>O e não aplicando Mg.

#### 4.5.2. Recomendação de Precisão

Uma vez que existe variabilidade espacial do teor de nutrientes no solo, como foi possível concluir pela análise efetuada, as necessidades da cultura não são as mesmas em todos os pontos do terreno. Assim, foram efetuadas cartas de prescrição para a fertilização, apresentadas abaixo (Figuras 9 à 11).

Considerando a carta da distribuição espacial do P<sub>2</sub>O<sub>5 ext</sub>, onde os teores são maioritariamente “muito altos”, com algumas exceções, onde são “altos” a “médios”, e considerado a distribuição espacial do P foliar, verifica-se que não é necessário aplicar P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na maioria da parcela, como mostra a carta de prescrição obtida (Figura 9). Contudo, apesar do mapa de P foliar não o revelar (provavelmente devido ao processo de interpolação efetuado) existem zonas em que este não é “elevado”, mas sim “suficiente” e, nestas zonas, é necessário intervir com a aplicação de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. É por esta razão que na carta de prescrição se verificam zonas pontuais em que é necessário intervir com a aplicação de 5 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha e, pontualmente na zona Norte, com a aplicação de 7,5 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha.

A fertilização potássica, ao contrário do que se possa pensar, é necessária, pelas razões descritas anteriormente. Verifica-se que o padrão geral da prescrição potássica corresponde ao padrão da distribuição espacial do potássio foliar, que é superior na zona Oeste e inferior na zona Este. Assim, é necessário aplicar 36 kg K<sub>2</sub>O/ha na zona Oeste, 72 kg K<sub>2</sub>O/ha na zona Este e, nesta, existem duas pequenas manchas em que é necessário aplicar 96 kg K<sub>2</sub>O/ha (Figura 10).

A prescrição azotada (Figura 11) é feita tendo em conta apenas o seu teor foliar. Uma vez que este é “insuficiente” ao longo de praticamente toda a parcela, será necessária a sua fertilização com 50 kg N /ha. Na zona Este da parcela existe, no entanto, uma mancha com teores foliares “suficientes”, o que vai de encontro à carta de prescrição obtida, em que nessa zona se aplica menor quantidade de nutriente (40 kg N /ha). Existe, no entanto, uma zona no centro da parcela em que é necessário aplicar maior quantidade de azoto (55 kg N /ha), o que se pode dever ao facto de, dentro da gama de teores “insuficientes” de N, estes serem ainda mais baixos que os restantes, já que teores “insuficiente” de N foliar correspondem a qualquer valor inferior a 90 g/kg.

### Carta de Prescrição P2O5

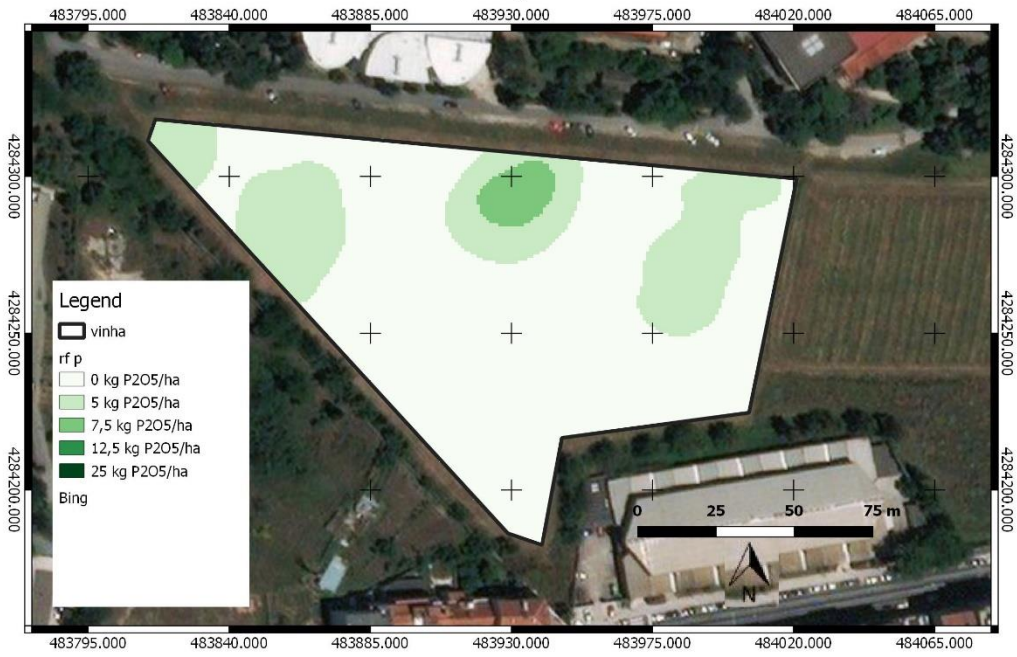


Figura 9 - Carta de Prescrição P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

### Carta de Prescrição K2O

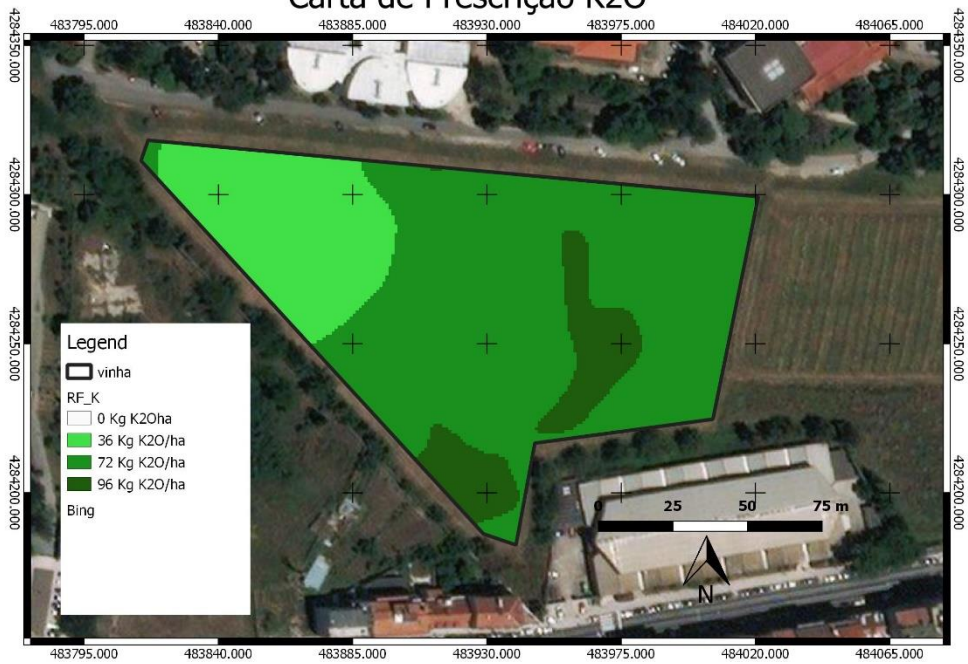


Figura 10 - Carta de Prescrição K<sub>2</sub>O

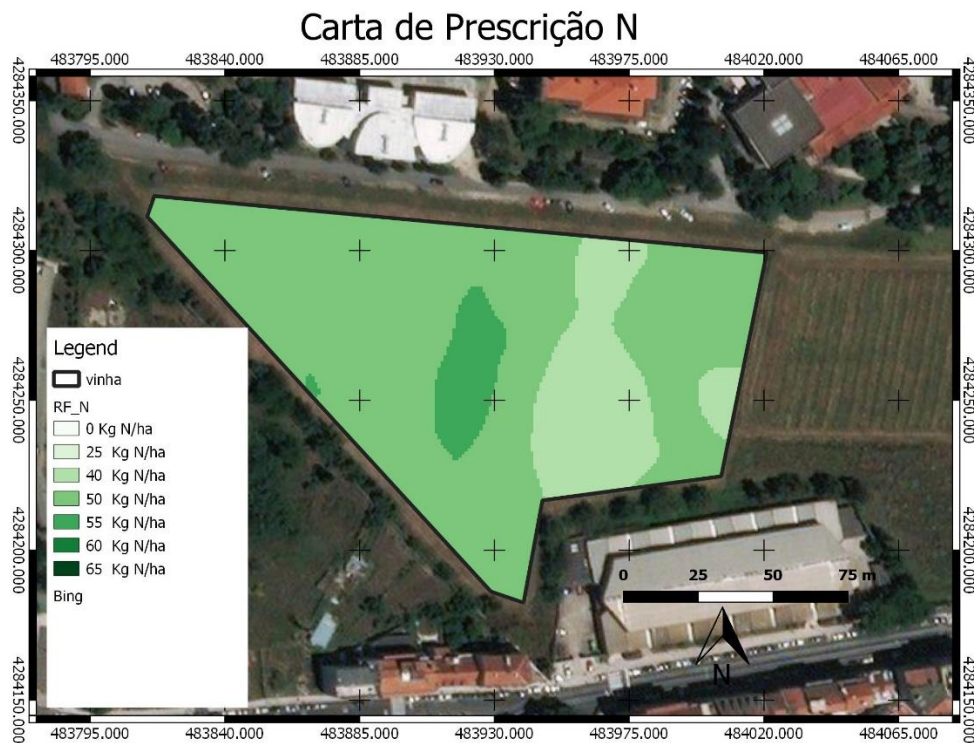


Figura 11 - Carta de Prescrição P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

#### Comparação entre a recomendação convencional e a recomendação de precisão

No Quadro 22 mostra-se a diferença entre a quantidade de adubo necessária em fertilização convencional e em fertilização de precisão.

A recomendação de fertilização convencional para o fósforo dita que não será necessário aplicar fósforo à parcela. Contudo, analisando a distribuição espacial do elemento, observa-se que existem zonas em que este não é suficiente para suprimir as necessidades da cultura, pelo que é aconselhado fertilizar essas zonas. Considera-se que aproximadamente 25% da área necessita 5 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha e cerca de 12,5% necessita 7,5 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha. Assim, será necessário fornecer à cultura mais 3,8 kg/ha de adubo fosfatado em fertilização de precisão.

Através da recomendação convencional para o potássio, conclui-se que se deve aplicar 72 kg K<sub>2</sub>O/ha para toda a parcela. No entanto, analisando a recomendação de precisão, observa-se que numa área de cerca de 0,43 ha da zona Oeste da parcela é apenas necessário fornecer 36 kg K<sub>2</sub>O/ha e numa pequena mancha de cerca de 0,28 ha é necessário aplicar 96 kg K<sub>2</sub>O/ha. Assim, poupam-se 28,9 kg de adubo potássico utilizando a fertilização de precisão.

Segundo a recomendação de fertilização média para o azoto é necessário aplicar 50 kg/ha de modo uniforme ao longo de toda a parcela. Contudo, segundo a recomendação de precisão, existe uma

mancha de aproximadamente 0,34 ha em que apenas é necessário aplicar 40 kg/ha e outra de cerca de 0,21ha em que se deverá aplicar 55 kg/ha. Com a fertilização de precisão poupar-se-ia cerca de 2,4 kg de adubo azotado.

Quadro 22 - Quantidade de adubo a aplicar em fertilização de precisão em comparação com a fertilização convencional

	<b>Kg</b>
<b>N</b>	-2,4
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	+3,8
<b>K<sub>2</sub>O</b>	-28,9

## 5. Conclusões

O primeiro objetivo desta dissertação foi o de estudar a variabilidade espacial do teor de nutrientes do solo, da condutividade elétrica, do pH, da matéria orgânica e do estado nutricional das plantas numa parcela de 1,7 ha de vinha. Após análise dos dados, concluiu-se que todas as variáveis estudadas apresentam variabilidade espacial significativa, tanto no ano 1 como no ano 2. As variáveis que menos variam espacialmente são o pH,  $Ca_{troca}$ , e  $NH_4^+$ . Esta variabilidade pode ser visualizada e interpretada através dos mapas de distribuição espacial de cada variável ao longo da parcela. Conclui-se, pela análise dos mapas, que grande parte das variáveis aumenta no sentido de Este para Oeste da parcela (pH, MO,  $P_2O_5_{ext}$ ,  $K_2O_{ext}$ ,  $NO_3^-$ ), pelo que a zona Este deve ser tida em atenção na gestão da vinha. Concluiu-se, também, que não existe diferença significativa entre os mapas gerados com 60 e com 80 pontos, pelo que reduzir o número de pontos amostrados será aconselhado, no sentido de reduzir custos de exploração.

O segundo objetivo foi o de avaliar a variabilidade temporal do teor de nutrientes no solo, da condutividade elétrica, do pH e do teor de matéria orgânica. Concluiu-se que quase todas as variáveis apresentavam estabilidade temporal, por se manterem na mesma classe de fertilidade de um ano para o outro. A exceção verificou-se para os teores de K e Na no complexo de troca, que passaram de “alto” para “muito alto” no caso do K, e de “médio” para “baixo” no caso do Na.

O terceiro objetivo foi analisar o potencial de uso da Tecnologia a Taxa Variável (VRT) para Fertilização de Precisão da parcela. Tal como referem Pierce & Nowak (1999), o potencial de uso da VRT é tanto maior quanto maior for a variabilidade espacial das variáveis e maior for a sua estabilidade ao longo do tempo (baixa variabilidade temporal). Assim, tendo-se verificado para a vinha da Meia Encosta elevada variabilidade espacial e baixa variabilidade temporal, conclui-se que se reúnem os requisitos-base para a adoção da Fertilização de Precisão.

De facto, a recomendação de fertilização de precisão diferiu da recomendação convencional. Recorrendo à fertilização de precisão, será necessário aplicar menos 2,4 kg de azoto, mais 3,8 kg de fósforo e menos 28,9 kg de potássio, comparativamente com a recomendação convencional.

Foram, também, analisadas correlações importantes entre as variáveis, nomeadamente entre elementos do solo e nutrientes foliares, que se concluiu que afetam o estado nutricional da vinha e, conseqüentemente, a fertilização a efetuar. Confirmou-se que na vinha da Meia Encosta existe um forte fenómeno de antagonismo iónico entre o K e o Mg, tendo-se uma relação K/Mg muito baixa para

toda a parcela. Apesar de se terem elevados teores de potássio no solo, os teores de magnésio são ainda maiores, pelo que impedem a absorção de K pelas plantas. Assim, tem-se deficiência de K foliar para toda a vinha. Neste sentido, a relação K/Mg encontra-se intrinsecamente ligada à fertilização em K, já que esta última depende em larga escala dos teores foliares de K. A recomendação de fertilização, tanto de precisão como convencional foi, então, diferente do esperado, uma vez que se aplicou potássio, quando os teores no solo eram muito elevados, e não se aplicou magnésio, quando este seria recomendado, caso não se verificasse este fenómeno de antagonismo iónico.

Estudar as características do solo e da cultura dentro das parcelas permite visualizar e compreender fenómenos que ocorrem e que afetam a gestão das mesmas. A Fertilização de Precisão permite ir ao encontro das necessidades da cultura em cada ponto, permitindo poupar fertilizante em zonas de menor necessidade e utilizar maior quantidade de fertilizante em zonas de menor fertilidade.

Encontrando-se reunidos os requisitos para o uso da VRT na vinha da Meia Encosta, resta avaliar o custo de implementação, correspondente à recolha, análise e gestão dos dados recolhidos, bem como à aquisição do equipamento VRT, sendo que este deverá ser inferior ao benefício gerado.

Apesar dos dados do solo e da cultura terem sido recolhidos e analisados manualmente, hoje em dia existe um conjunto de outras formas de o fazer, como, por exemplo, o recurso a sensores que medem várias características do solo ou da cultura, apresentando-se como uma opção de elevada resolução e a um custo acessível aos agricultores.

Nos dias de hoje, o processo de análise e interpretação dos dados recolhidos encontra-se ainda pouco desenvolvido. Futuramente, com o desenvolvimento de ferramentas funcionais que facilitem o processo de tomada de decisão, será mais fácil gerir a quantidade de informação que é possível recolher, facilitando a gestão diferenciada das parcelas agrícolas.

## 6. Referências Bibliográficas

- Agroges. (n.d.). Plano estratégico para a internacionalização do sector dos vinhos de Portugal.  
Retrieved January 11, 2018, from <https://www.viniportugal.pt/ficheiros/promocaoInternacional/estrategia-internacionalizacao-vinhos-de-portugal.pdf>
- Amador, R., & Carlos, C. (2016). Os desafios do uso eficiente do solo e da água na cultura da vinha.  
Retrieved January 11, 2018, from [https://www.cap.pt/0\\_users/file/Eventos/Roteiros 2020/8\\_-\\_Os\\_Desafios\\_do\\_Uso\\_Eficiente\\_do\\_Solo\\_e\\_da\\_gua\\_na\\_Cultura\\_da\\_Vinha\\_-\\_Rosa\\_Amador\\_Cristina\\_Carlos.pdf](https://www.cap.pt/0_users/file/Eventos/Roteiros%202020/8_-_Os_Desafios_do_Uso_Eficiente_do_Solo_e_da_gua_na_Cultura_da_Vinha_-_Rosa_Amador_Cristina_Carlos.pdf)
- Arnó, J., Bordes, X., Ribes-Dasi, M., Blanco, R., Rosell, J. R., & Esteve, J. (2005). Obtaining grape yield maps and analysis of within field variability in Raimat (Spain). In *Precision Agriculture '05. Papers presented at the 5th European Conference on Precision Agriculture* (Vol. Uppsala, S, pp. 899–906). Retrieved from file:///D:/Àlex/Feina/Bibliografia/Articles i estudis/AP/Fructicultura/Obtaining grape yield maps and analysis of within-field variability in Raimat (Spain) - Arnó (2005).pdf
- Arnó, J., Martínez-Casasnovas, J. A., Ribes-Dasi, M., & Rosell, J. R. (2009). Review. Precision viticulture. Research topics, challenges and opportunities in site-specific vineyard management. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 7(4), 779. <https://doi.org/10.5424/sjar/2009074-1092>
- Azevedo, A. L. (1971). A classificação climática de Köppen. Agrossilva, Nova Lisboa.
- Babcock, B. A., & Pautsch, G. R. (1998). Moving from uniform to variable fertilizer rates on Iowa corn: Effects on rates and returns. *Journal of Agricultural and Resource Economics*, 23(2), 385–400.
- Bernardi, J., & Landim, P. (2002). *Aplicação Do Sistema De Posicionamento Global ( Gps ) Na Coleta De Dados. DGA,IGCE,UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatématica.*
- Böhm, J. (2007). *Portugal vitícola, O grande livro das castas.* Lisboa: Chaves Ferreira Publicações.
- Braga, R. (2009a). Base de funcionamento e casos de estudo de VRT: Gestão intra-parcelar da densidade de plantas e taxa de aplicação de fertilizantes. In J. C. Coelho & J. M. Silva (Eds.), *Agricultura de Precisão* (pp. 54–71). Lisboa.
- Braga, R. (2009b). *Viticultura de Precisão.* Lisboa: Associação dos Jovens Agricultores de Portugal.

- Braga, R., & Pinto, P. A. (2011). Agricultura de precisão: adoção & principais obstáculos. *Agrotec*, 84–89.
- Bramley, R. G. ., & Hamilton, R. . (2008). Understanding variability in winegrape production systems. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 10(1), 32–45. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2004.tb00006.x>
- Bramley, R., & Lamb, D. (2003). Making sense of vineyard variability in Australia. *Precision Viticulture. Proceedings of an International Symposium Held as Part of the IX Congreso Latinoamericano de Viticultura y Enología. Centro de Agricultura de Precisión.*, (JANUARY 2003), 35–54.
- Bramley, R. G. V. (2010). Precision Viticulture: Managing vineyard variability for improved quality outcomes. In *Managing Wine Quality: Viticulture and Wine Quality* (pp. 445–480). <https://doi.org/10.1533/9781845699284.3.445>
- Bramley, R. G. V, & Proffitt, A. P. B. (1999). Managing variability in viticultural production. *Grapegrower and Winemaker*, 427, 11–16.
- Brevik, E. C., Fenton, T. E., & Lazari, A. (2006). Soil electrical conductivity as a function of soil water content and implications for soil mapping. *Precision Agriculture*, 7(6), 393–404. <https://doi.org/10.1007/s11119-006-9021-x>
- Bronson, K. F., Booker, J. D., Officer, S. J., Lascano, R. J., Maas, S. J., Searcy, S. W., & Booker, J. (2005). Apparent electrical conductivity, soil properties and spatial covariance in the U.S. Southern High Plains. *Precision Agriculture*, 6(3), 297–311. <https://doi.org/10.1007/s11119-005-1388-6>
- Brunetto, G., Ceretta, C. A., Ferreira, P. A. A., Couto, R. R., Silva, L. O. S., & Conti, L. (2016). Gestão da fertilização azotada na vinha. *Enovitis*, 2.
- Cardoso, J. V. C. (1965). *Os solos de Portugal, Sua classificação, Caracterização e Génese, A Sul do rio Tejo*. Lisboa: Secretaria de Estado da Agricultura. Direção-Geral dos serviços agrícolas.
- CEN. (2001). EN 13650 - Soil improvers and growing media - Extraction of aqua regia soluble elements. Brussels: European Committee for Standardization.
- Clark, I. (n.d.). What is kriging? Retrieved August 1, 2018, from <http://www.krigeing.com/whatiskrigeing.html>
- Coelho, J. C., & Silva, J. M. (2009). Agricultura de Precisão. Lisboa: Associação dos Jovens Agricultores

de Portugal.

Columbia University. (n.d.). Kriging. Retrieved August 1, 2018, from

<https://www.mailman.columbia.edu/research/population-health-methods/kriging>

Cook, S. E., & Bramley, R. G. V. (1998). Precision agriculture - opportunities, benefits and pitfalls of site-specific crop management in Australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 38(4), 753–763. <https://doi.org/10.1071/EA98132>

Corwin, D. L., & Plant, R. E. (2005). Applications of apparent soil electrical conductivity in precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2004.10.004>

Dafonte, J. D. (2004). Sensores basados en la medida de la conductividad eléctrica para evaluar las propiedades del suelo y su aplicación en agricultura de precisión. In *II Jornadas sobre Agricultura de Precisión* (pp. 56–63). Universidad A Coruña, España.

ESRI. (1997). *Understanding GIS. The ARC/INFO method. Environment International* (4th ed., Vol. 19). Redlands, USA: Environmental Systems Research Institute. [https://doi.org/10.1016/0160-4120\(93\)90339-J](https://doi.org/10.1016/0160-4120(93)90339-J)

Franzblau, A. N. (1958). *A primer of statistics for non-statisticians*. Oxford, England: Harcourt, Brace.

GIS Geography. (2018). Kriging Interpolation - The Prediction Is Strong in this One - GIS Geography. Retrieved August 1, 2018, from <https://gisgeography.com/kriging-interpolation-prediction/>

Gupta, U. C. (1993). Boron, molybdenum, and selenium. In *Soil Sampling and Methods of Analysis* (pp. 91–99). Canadian Society of Soil Science.

Hannan, J. M. (2011). *Potassium-magnesium antagonism in high magnesium vineyard soils*. Iowa State University.

Hendershot, W. H., Lalonde, H., & Duquette, M. (1993). Ion exchange and exchangeable cations. In *Soil sampling and methods of analysis* (pp. 167–176). Canadian Society of Soil Science.

Hergert, G. W., Pan, W. L., Huggins, D. R., Grove, J. H., & Peck, T. R. (1997). Adequacy of current fertilizer recommendations for site-specific management. In F. J. Pierce; E. J. Sadler (Ed.), *The state of site-specific management for agriculture* (pp. 283–300). Madison, WI: ASA Miscellaneous Publication.

- Holzappel, B., Quirk, L., Hutton, R., & Holland, J. (2009). Wine grape nutrition and use of fertilizers and other nutritional supplements to sustain production. *The Grape and Wine Research and Development Corporation: Water & Vine—Managing the Challenge. Facts Sheet, (15)*. Adelaide, Australia.
- Horneck, D. A., & Miller, R. O. (1998). Determination of total nitrogen in plant tissue. In *Handbook of Reference Methods for Plant Analysis* (pp. 75–83). Boca Raton, Florida: CRC Press LLC.
- Houba, V. J. G., Van der Lee, J. J. Novozamsky, I., & Walling, I. (1989). Soil and Plant Analysis, Part 5, Soil Analysis Procedures. Wageningen, The Netherlands: Wageningen Agricultural University.
- Iland, P., Dry, P., Proffitt, T., & Tyerman, S. (2011). *The Grapevine - from the science to the practice of growing vines for wine*. Adelaide, South Australia: Patrick Iland Wine Promotions Pty Ltd.
- Infovini. (2018). Produzir Viticultura, Videira, Porta-Enxertos. Retrieved February 27, 2018, from <http://www.infovini.com/classic/pagina.php?codPagina=52&codItem=118&flashhttp://www.infovini.com/classic/pagina.php?codPagina=52&codItem=118&flash>
- Instituto da Vinha e do Vinho (IVV). (2018). Dados estatísticos do setor vitivinícola. Retrieved January 11, 2018, from <http://www.ivv.gov.pt/np4/estatistica/>
- Instituto Nacional de Estatística (INE). (2017a). Dados estatísticos. Retrieved January 11, 2018, from [https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine\\_indicadores&indOcorrCod=0000178&contexto=bd&selTab=tab2](https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=0000178&contexto=bd&selTab=tab2)
- Instituto Nacional de Estatística (INE). (2017b). Inquérito à Estrutura das Explorações Agrícolas 2016. Retrieved January 11, 2018, from [https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine\\_publicacoes&PUBLICACOESpub\\_boui=277088793&PUBLICACOESmodo=2](https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_publicacoes&PUBLICACOESpub_boui=277088793&PUBLICACOESmodo=2)
- Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA). (2017). *Boletim Climático Anual Portugal Continental 2017*.
- Instituto Superior de Agronomia. (n.d.). Secção de Agricultura - Dados meteorológicos. Retrieved August 13, 2018, from [https://arca.isa.ulisboa.pt/agricultura/agribase\\_temp/solos/](https://arca.isa.ulisboa.pt/agricultura/agribase_temp/solos/)
- International Organisation of Vine and Wine (OIV). (2017). 2017 World Viticulture Situation. Retrieved March 9, 2018, from <http://www.oiv.int/public/medias/5479/oiv-en-bilan-2017.pdf>

- Johnson, C. K., Eskridge, K. M., & Corwin, D. L. (2005). Apparent soil electrical conductivity: Applications for designing and evaluating field-scale experiments. *Computers and Electronics in Agriculture*, 46(1–3 SPEC. ISS.), 181–202. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2004.12.001>
- King, J. A., Dampney, P. M. R., Lark, R. M., Wheeler, H. C., Bradley, R. I., & Mayr, T. R. (2005). Mapping potential crop management zones within fields: Use of yield-map series and patterns of soil physical properties identified by electromagnetic induction sensing. *Precision Agriculture*, 6(2), 167–181. <https://doi.org/10.1007/s11119-005-1033-4>
- Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva (LQARS). (2006). *Manual de fertilização das culturas*. Lisboa.
- Lindsay, W. L., & Norvell, W. A. (1978). Development of a DTPA Soil Test for Zinc, Iron, Manganese, and Copper 1. *Soil Science Society of America Journal*, 42(3), 421–428.
- Magalhães, N. (2015). *Tratado de Viticultura - A videira, a vinha e o "terroir."* (Chaves Ferreira, Ed.) (2ª edição). Lisboa: Esfera Poética.
- McCormick, S., Jordan, C., & Bailey, J. S. (2009). Within and between-field spatial variation in soil phosphorus in permanent grassland. *Precision Agriculture*, 10(3), 262–276. <https://doi.org/10.1007/s11119-008-9099-4>
- Medina, J. (1973). *Os solos da Tapada da Ajuda sob utilização agrícola*. Relatório da Atividade do aluno Estagiário do Curso de Engenheiro Agrônomo, Instituto Superior de Agronomia.
- Minasny, B., McBratney, A. B., & Whelan, B. M. (2005). VESPER version 1.62. McMillan: Australian Centre for Precision Agriculture, The University of Sydney, NSW 2006.
- Pierce, F. J., & Nowak, P. (1999). Aspects of Precision Agriculture. *Advances in Agronomy*, 67(C), 1–85. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60513-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60513-1)
- Pierce, F. J., Warncke, D. D., & Everett, M. W. (1995). Yield and nutrient availability in glacial soils of Michigan. In and W. E. L. P. C. Robert, R. H. Rust (Ed.), *Proceedings of the Second International Conference on Site Specific Management for Agricultural Systems, Bloomington/Minneapolis, MN, 27-30 March 1994* (pp. 133–151). Madison, WI: ASA Miscellaneous Publication.
- Plant, R. E. (2001). Site-specific management: The application of information technology to crop production. *Computers and Electronics in Agriculture*, 30(1–3), 9–29. [https://doi.org/10.1016/S0168-1699\(00\)00152-6](https://doi.org/10.1016/S0168-1699(00)00152-6)

- Póvoas, I., & Barral, M. F. (1992). Métodos de análise de solos. Lisboa, Portugal: Série de Ciências Agrárias N.º 10.
- Proffitt, T., Bramley, R., Lamb, D., & Winter, E. (2006). *Soil sensing in precision viticulture- A new era in vineyard management and wine production* (Winetitle). Adelaide.
- Robert, P. C. (2002). Precision agriculture: A challenge for crop nutrition management. *Plant and Soil*, 247(1), 143–149. <https://doi.org/10.1023/A:1021171514148>
- Santa María, F., Marcide, J. M., Organero, G., Torres, I., Barba, A., Miguel, C., ... Sáiz, R. (2012). *Varietades de vid en España*. Madrid, Espanha: Agrícola Española.
- Sawyer, J. E. (1994). Concepts of variable rate technology with considerations for fertilizer application. *Journal of Production Agriculture*, 7(2), 195–201.
- Schumann, A. W. (2010). Precise placement and variable rate fertilizer application technologies for horticultural crops. *HortTechnology*, 20(1), 34–40.
- Stafford, J. (2006). The role of technology in the emergence and current status of precision agriculture. In A. Srinivasan (Ed.), *Handbook of precision agriculture, principles and applications* (pp. 19–56).
- Thorntwaite, C. W., & Mather, J. R. (1957). Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. *Publications In Climatology*.
- Tisseyre, B., Mazzoni, C., & Fonta, H. (2008). Within-field temporal stability of some parameters in viticulture: Potential toward a site specific management. *Journal International Des Sciences de La Vigne et Du Vin*, 42(1), 27–39. <https://doi.org/10.20870/oenone.2008.42.1.834>
- Tisseyre, B., Ojeda, H. I., & Taylor, J. (2007). New technologies and methodologies for site-specific viticulture FOR SITE-SPECIFIC VITICULTURE. *J. Int. Sci. Vigne Vin*, 41(2), 63–76. <https://doi.org/10.20870/oenone.2007.41.2.852>
- Tristany, M. (2010). *Um sistema de informação para a análise multi-dimensional da actividade agrícola - Aplicação em diversos casos do panorama agrícola nacional*. Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior de Agronomia.
- Tyler, D. A., Roberts, D. W., & Nielsen, G. A. (1997). Location and guidance for site-specific management. In F. J. Pierce & E. J. Sadler (Eds.), *The State of Site-Specific Management for*

*Agriculture* (pp. 161–181). Madison, WI: ASA Miscellaneous Publication.

Ubalde, J. M., & Sort, X. (2005). Aspectos de viticultura de precisión en la práctica de la fertilización razonada. *ACE: Revista de Enología*, 63, [http://www.acenologia.com/ciencia73\\_1.htm](http://www.acenologia.com/ciencia73_1.htm).

Varenes, A. (2003). *Produtividade dos solos e ambiente*. Lisboa, Portugal: Escolar Editora.

Victorino, G. (2015). *O efeito da posição topográfica no desenvolvimento, produtividade e qualidade em diferentes castas na vinha*. ISA-UL, Lisboa.

Wample, R. L., Mills, L., & Davenport, J. R. (1999). Use of precision farming practices in grape production. In *Proceedings of the IV international conference on precision agriculture* (pp. 897–905). <https://doi.org/10.2134/1999.precisionagproc4.c86>

Zhang, N., Wang, M., & Wang, N. (2002). Precision agriculture - A worldwide overview. In *Computers and Electronics in Agriculture* (Vol. 36, pp. 113–132). [https://doi.org/10.1016/S0168-1699\(02\)00096-0](https://doi.org/10.1016/S0168-1699(02)00096-0)

## 7. Anexos

### Anexo 1- Mapa das regiões vitivinícolas de Portugal continental



Adaptado de: Wines of Portugal, 2010. Fonte: <http://www.winesofportugal.info/pagina.php?codNode=18090&market=1>

### Anexo 2 - Caracterização do material vegetal

#### 2.1 - Castas

Quadro 23 - Caracterização das castas presentes na vinha da Meia Encosta

Casta	Local de maior expansão	Classificação	Características Ampelográficas			Fenologia				Potencial vegetativo	Sensibilidades abióticas, criptogâmica, desavinho e bagoinha	Potencial agronómico	
			Folha adulta	Cacho	Bago	Abrolhamento	Floração	Pintor	Maturação			Solo favorável a qualidade	Clima favorável
Macabeu	Catalunha e Aragão		Tamanho grande, pentagonal. Limbo verde claro, nervuras laterais muito marcadas. Elevada densidade e de pelos prostrados	Tamanho médio, muito compacto, forma cónica larga	Redondo, tamanho médio, cor dourada, forma esférica, polpa tenra e doce	Tardio	-	-	Média-tardia	Porte ereto. Elevado vigor, variedade de grande produção	Sensibilidade ao Oídio, Botrítis e Míldio	-	-
Moscatel Galego	Douro	Vinho de qualidade e DOC, vinho regional, Vinho de mesa	Tamanho médio, pentagonal, três lóbulos. Limbo verde escuro, irregular, medianamente bolhoso. Nervuras principais ligeiramente	Tamanho médio, cónico, alado, compacto	Arredondado, tamanho médio, cor verde amarelada	Precoce	Precoce	Precoce	Precoce	Elevado vigor. Porte semi-prostrado. Baixa estabilidade de produção. Homogeneidade de produção entre plantas. Produtividade média a alta (10 -	Muito sensível ao Oídio e à Podridão; sensível à traça da uva; grande sensibilidade ao desavinho e à bagoinha	Terrenos frescos e de boa fertilidade	Preferência por zonas arejadas com boa insolação

			avermelhadas na base. Página inferior glabra							12t/ha). Índice de fertilidade de 1,56 inflorescências por gomo abrolhado			
Moscatel de Setúbal	Setúbal	Vinho de qualidade e DOC, vinho regional. Dupla aptidão para vinho e consumo de mesa	Tamanho médio, orbicular, com três lóbulos. Limbo ligeiramente bolhoso. Nervuras principais ligeiramente avermelhadas na base. Página inferior com baixa densidade e de pelos prostrados.	Tamanho grande, cónico, alado, frouxo	Forma obovoide, tamanho grande, cor verde-amarelada. Película de espessura média, polpa rija	Tardio	Tardia	Tardio	Tardia	Fraco vigor. Porte semi-ereto, com algumas varas horizontais e retombantes. Índice de fertilidade médio. Produtividade e média (8 – 15 t/ha). Estabilidade e homogeneidade de produção	Sensível à arência de Zinco, Escaldão; muito sensível ao Oídio, sensível ao Míldio e Escoriose; sensível à aranha Vermelha	Suporta solo ácido	Precisa de insolação intensa com temperatura alta. Resistente à seca
Alvarinho	Sub-região de Monção	Vinho de qualidade e DOC, vinho regional. Vinho verde, vinho espumante,	Tamanho pequeno, folha inteira, forma orbicular, cor verde-médio, medianamente bolhosa	Cacho pequeno, alado, média compactidade	Tamanho médio, não uniforme, arredondado, cor amarelada e polpa mole	Médio	Média	Médio	Medianamente precoce	Elevado vigor. Porte semi-ereto e horizontal. Elevado índice de fertilidade – 1,8 inflorescências por gomo abrolhado	Sensível ao stress hídrico elevado, à acariose, Bagoinha, Oídio e Míldio	Solos derivados de granito. Menos adaptado a solos húmidos, pesados e mal	Elevada insolação, moderada presença hídrica

		aguardante e vinho de mesa de alta qualidade								nos gomos superiores, 3 inflorescências por lançamento. Clones certificados com produtividade e média elevada (7,5 a 12 t/ha). Produção estável. Homogeneidade de produção entre plantas pouco elevada		drenados	
Viosinho	Douro	Vinho de qualidade e DOC, IPR, vinho regional	Tamanho pequeno, com três a cinco lóbulos, de forma pentagonal. Limbo verde-escuro de perfil irregular, ligeiramente enrugado	Tamanho pequeno e medianamente compacto	Tamanho pequeno, uniforme, elítico de secção regular. Película verde-amarelada de espessura média, com fraca intensidade de pruína. Polpa não corada, mole e succulenta	Precoce	Precoce	Medianamente precoce	Precoce	Vigor médio. Porte ereto. Índice de fertilidade medianamente elevado. Produtividade e alta com material de seleção clonal certificado (10 – 17t/ha). Estabilidade e homogeneidade de produção	Sensível ao Oídio, Podridão, moderadamente sensível ao Míldio	Todos os tipos de solo, desde que secos e férteis ou bem drenados	Suporta o calor, mas adapta-se bem a climas frescos

Encruzado	Dão	Vinho de qualidade e DOC e vinho regional	Tamanho pequeno, pentagonal. Limbo verde-médio, irregular, medianamente bolhoso e enrugado	Tamanho pequeno, cilíndrico, medianamente compacto	Ligeiramente achatado, médio, de cor verde-amarelada	Médio	Média	Médio	Precoce	Vigor elevado. Porte semi-ereto e horizontal. Fertilidade média a elevada. Produtividade e média (5 – 8 l/ha). Estabilidade e Homogeneidade de produção	Lançamentos quebram com o vento; sensível à cigarrinha Verde e Erinose; medianamente sensível a bagoinha e desavinho; medianamente sensível a Míldio, Oídio e Botritis	Solo de granito derivado, fundo e seco	Pouco adaptada a locais ventosos
Arinto	Todo o país	Vinho de qualidade e IPR, DOC	Tamanho grande, forma pentagonal, limbo verde claro	Grande, cónico, compacto	Pequeno, cor verde-amarelado, película medianamente espessa, polpa mole	Tardio	Média	Tardio	Tardia	Vigor muito elevado. Porte ereto, algumas varas finais horizontais. Baixo índice de fertilidade, em média 0,8 inflorescências por gomo abrolhado. Um cacho por lançamento. Produtividade e em clones certificados muito elevada (10 – 15 t/ha). Estabilidade e	Sensível ao vento antes da floração, a solos com má retenção de água; sensível ao Míldio, Oídio, Escoriose, Cigarrinha Verde, Traça no Cacho, Bagoinha	Solos calcários e ácidos. Fundos, húmidos, bem drenados, não compactos. Exposição ao Norte.	Zonas temperadas do interior.

										homogeneidade de produção			
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	---------------------------	--	--	--

Fonte: Böhm, 2007; Macabeu - Santa María et al., 2012

## **2.2 – Porta-Enxertos**

### **110 Richter (110 R)**

110 Richter, resultante do cruzamento entre Berlandieri Résséguier n.º 2 e Rupestris Martin, é um porta-enxerto bem difundido por todo o país, de elevado vigor, conferindo elevada produtividade às castas nele enxertadas. É bem adaptado a solos pobres, pedregosos e secos, tolerando baixos teores de potássio e magnésio no solo (Magalhães, 2015). No entanto, tem fraca resposta ao enraizamento, já que o atempamento é deficiente (Infovini, 2018). Em solos de elevada fertilidade ou húmidos pode causar atrasos de produtividade. É relativamente suscetível a nematodes agrícolas do género *Meloidogyne* (Magalhães, 2015), à humidade e à filoxera galícola (Infovini, 2018).

### **1103 Paulsen**

1103 Paulsen, resultante do cruzamento entre Berlandieri Résséguier n.º 2 x Rupestris du Lot (Infovini, 2018), é também um porta enxerto bem difundido por todo o país, de elevado vigor, induzindo às castas produtividade média a alta, mas inferior à dos porta-enxertos de Richter. Induz rebentação múltipla às castas, apresentando boa resistência à secura e mediana resistência à humidade do solo. É muito sensível a baixos níveis de potássio no solo, sensível a baixos níveis de boro e resistindo a baixos teores de magnésio. O porta-enxerto induz boa percentagem de enxertia de campo, mesmo em solos pouco férteis, no final do primeiro ano (Magalhães, 2015).

### Anexo 3 – Operações Culturais realizadas na Vinha da Meia Encosta

Quadro 24 - Operações culturais realizadas na Vinha da Meia Encosta

Data	Casta	Operação Cultural	Nome Comercial (S.A.)	Finalidade	Quantidade
Janeiro e Fevereiro	Todas	Poda			
15 Fevereiro	Todas	Controlo de Infestantes	Catamaran (Glifosato)	Controlo de Infestantes	1 L/hl
7 e 13 Março	Macabeu, Moscatel Galego, Moscatel de Setúbal e Alvarinho (L1 – L29)	Adubação	Sulfato de potássio (0-0-50)	Nutrição	100 UN/ha
7 e 13 Março	Macabeu, Moscatel Galego, Moscatel de Setúbal e Alvarinho (L1 – L25)	Adubação	Amicote (0-26,5-0)	Nutrição	50 UN/ha
20 Março	Todas	Adubação	Nergetic 30	Nutrição	50 g/Planta
21 Março	Todas	1º Tratamento Fitossanitário	Quadris (Azoxistrobina) Cuprocol (Oxicloreto de cobre) Thiovit Jet ( Enxofre Molhável)	Escoriose, Míldio	100 ml/hl 300 ml/hl 400 g/hl
5 Abril	Todas	2º Tratamento Fitossanitário	Quadris Max (Azoxistrobina + Folpete) Thiovit Jet ( Enxofre Molhável)	Escoriose, Míldio	200 ml/hl 400 g/hl
22,23,24 e 28 de Março	Todas	Adubação	Sulfato amónio (21-0-0)	Nutrição	70 g/planta
7 Abril	Todas	Passagem do cortamato na entrelinha		Controlo de Infestantes	

18 Abril	Todas	2º Tratamento Fitossanitário	Quadris Max (Folpete + Azoxistrobina) Zetaminol (18-11-8 + micros) Stimufol K (12-8-36-2 Mg + micros)	Escoriose, míldio, oídio e black rot + adubação foliar	150 ml/hl 100 g/hl 250 g/hl
27/04/2016	Alvarinho	Deteção de infeções de míldio			
28 e 29 Abril	Todas	3º Tratamento fitossanitário	Pergado F (Folpete + Mandipropamida) Zetaminol (18-11-8 + micros) Stimufol K (12-8-36 + 2 Mg + micros)	Míldio + adubação foliar	250 g/hl 100 g/hl 400 g/hl
06 Maio	Todas	4º Tratamento fitossanitário	Ridomil Gold Combi (Folpete + Metalaxil M)	Míldio	200 g/hl
16 Maio	Todas	5º Tratamento fitossanitário	Ridomil Gold Combi (Folpete + Metalaxil M)	Míldio	2 Kg/ha
19, 30, 31 Maio, 1 e 2 Junho	Todas	Herbicida	Reglone (Diquato)	Controlo de Infestantes na linha	4 L/ha
20 Maio	A partir da linha 60	Subir arames móveis		Condução da vegetação	
23 Maio	Todas	Armadilhas p/ traça da uva	Armadilha delta com atrativo sexual Biosani	Monitorização	2 armadilhas
23, 27, 30 Maio	Todas	Cortar Infestantes na Linha		Controlo de Infestantes na linha	
23 Maio	Todas	Passagem do cortamato na entrelinha		Controlo de Infestantes	
25 Maio	Todas	6º Tratamento fitossanitário	Pergado F (Folpete + Mandipropamida) Topaze (Penconazol) Zetaminol (18-11-8 + micros) Stimufol K (12-8-36 + 2 Mg + micros)	Míldio, oídio, adubação foliar	2,5 Kg/ha 350 ml/ha 100 g/hl 400 g/hl

31 Maio		Monitorização da Traça da Uva	Armadilha delta com atrativo sexual Biosani	Monitorização da Traça da Uva	Linha 21 – 1 traça Linha 50 – 0 traças
03, 06, 07, 08, 14, 15, 16, 17, 20, 21, 22 Junho		Subir arames móveis		Condução da vegetação	
06 Junho		Monitorização da Traça da Uva	Armadilha delta com atrativo sexual Biosani	Monitorização da Traça da Uva	Linha 21 – 1 traça Linha 50 – 0 traças
08 Junho	Alvarinho e Viosinho	Desponta		Condução da vegetação	
08, 09 e 14 Junho	Todas	7º Tratamento fitossanitário	Pergado F (Folpete + Mandipropamida) Dynali (Ciflufenamida + Difenconazol) Switch (Ciprodinil + Fluodioxonil)	Míldio Óidio Podridão dos cachos	250 g/hl 65 ml/hl 100 g/hl
15 Junho		Monitorização da Traça da Uva	Armadilha delta com atrativo sexual Biosani	Monitorização da Traça da Uva	Linha 21 – 3 traças Linha 50 – 12 traças
20 Junho		Monitorização da Traça da Uva	Armadilha delta com atrativo sexual Biosani	Monitorização da Traça da Uva	Linha 21 – 5 traças Linha 50 – 15 traças
23 Junho		8º Tratamento Fitossanitário	Quadris Max (Folpete + Azoxistrobina) Talendo (Proquinazida) Zetaminol (18-11-8 + micros)	Black rot Óidio Adubação foliar	1,5 L/ha 200 ml/ha 100 g/hl

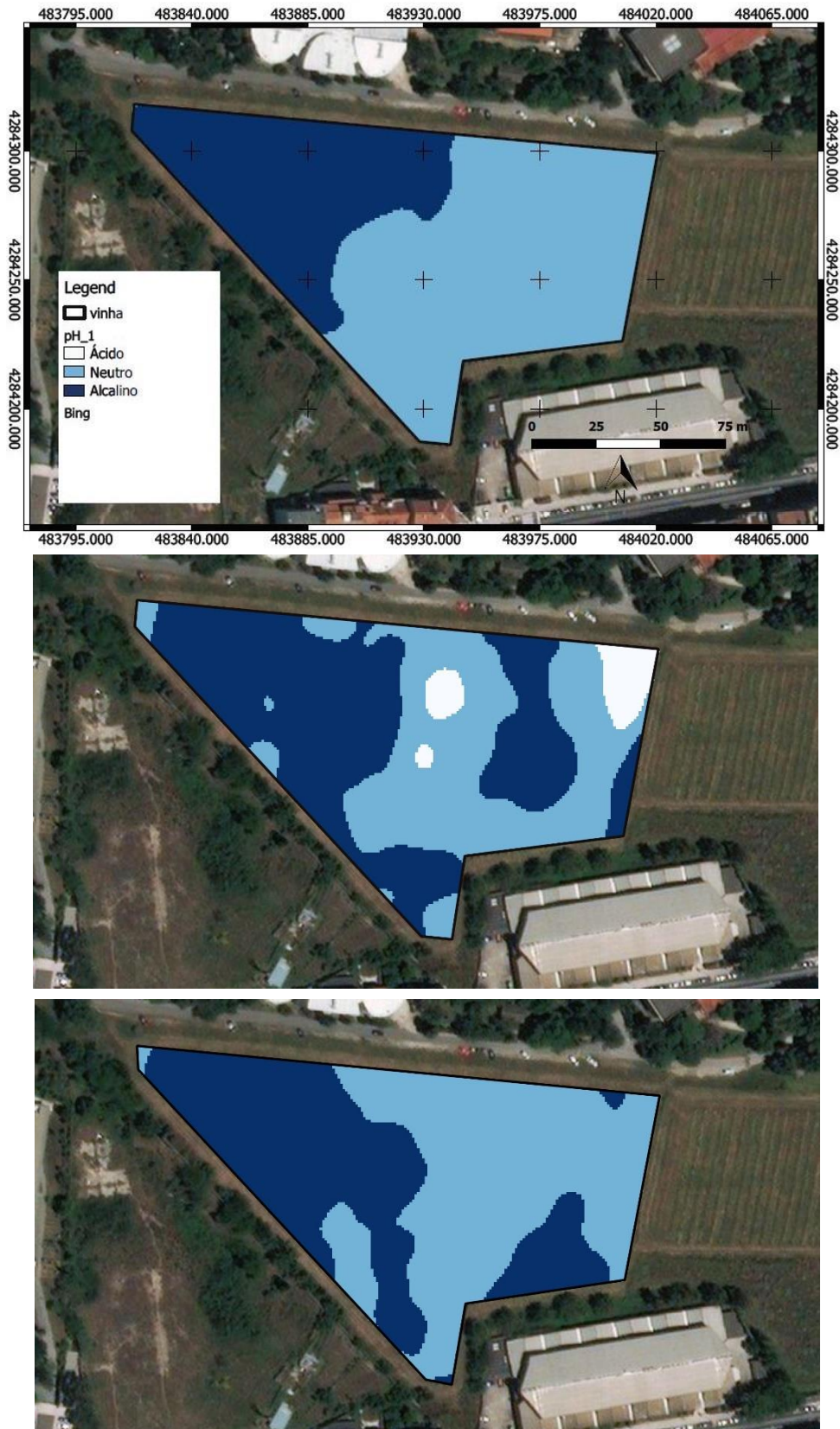
24, 26 Junho, 12, 14,15,19, 20, 21, 22, 26, 27, 28 Agosto	Todas	Desponta		Condução da vegetação	
27 Junho		Monitorização da Traça da Uva	Armadilha delta com atrativo sexual Biosani	Monitorização da Traça da Uva	Linha 21 – 5 traças Linha 50 – 24 traças (total)
05 Julho		Monitorização da Traça da Uva	Armadilha delta com atrativo sexual Biosani	Monitorização da Traça da Uva	Linha 21 – 5 traças Linha 50 – 27 traças (total)
08 Junho	Todas	9º Tratamento Fitossanitário	Talendo (Proquinazida) Zetaminol (18-11-8 + micros)	Oídio Adubação foliar	200 ml/ha 100 g/ha
14 Julho		Monitorização da Traça da Uva	Armadilha delta com atrativo sexual Biosani	Monitorização da Traça da Uva	Linha 21 – 5 traças Linha 50 – 32 traças
14 Julho		Colocação novo atractivo nas armadilhas	Armadilha delta com atrativo sexual Biosani	Monitorização da Traça da Uva	
18, 19 Julho	Moscatel Galego	Colocação de redes anti-pássaro			
09 Agosto	Todas	Passagem do corta- mato na entrelinha		Controlo de infestantes na entrelinha	

24 Agosto – 16 Setembro	Todas	Vindima			
11 e 14 Novembro	Todas	Herbicida	Reglone (Diquato)	Controlo de Infestantes na Linha, principalmente malvas	3L/ha

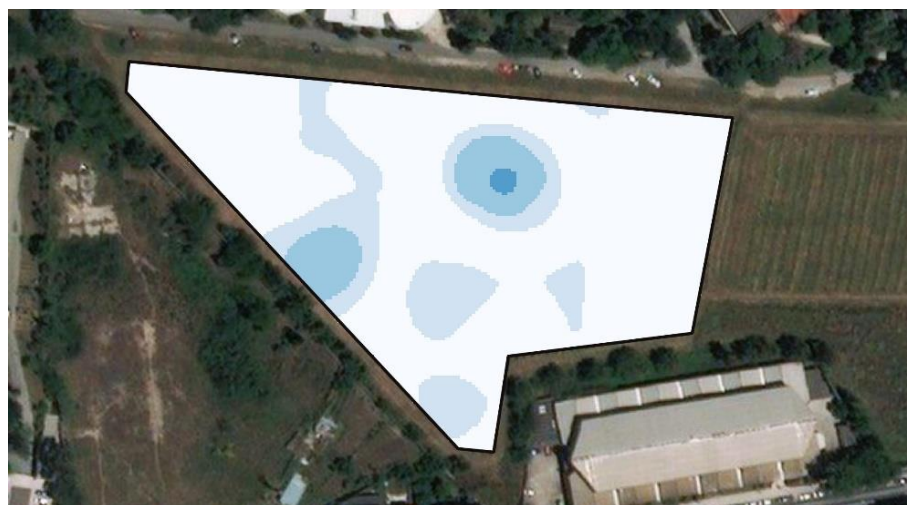
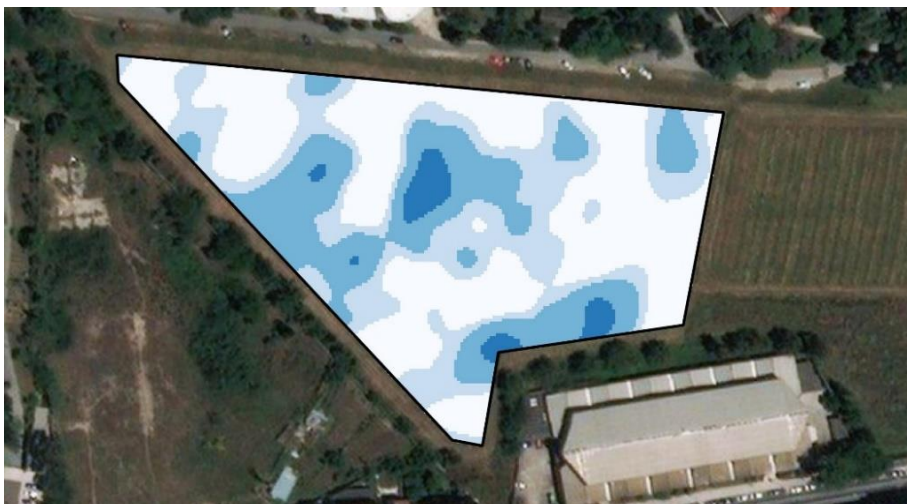
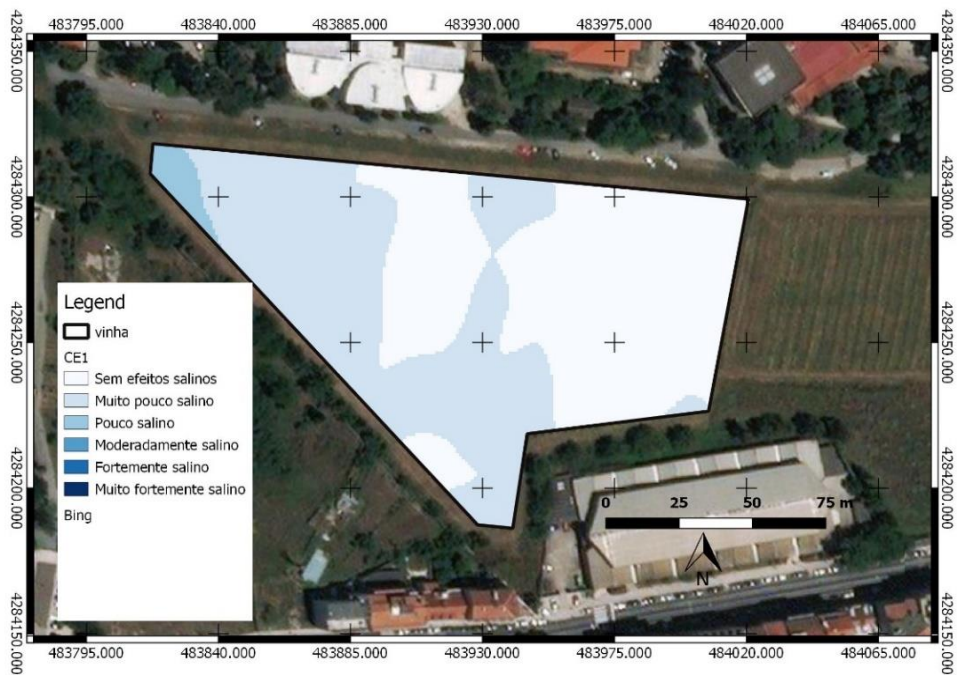
Dados: Prof. Miguel Costa

## **Anexo 4 - Cartas de distribuição espacial das variáveis dentro da parcela**

## 5.1 – pH (H<sub>2</sub>O), CE, MO



Carta 1 - Distribuição espacial do pH (H<sub>2</sub>O) no solo para (1) Ano 1; (2) Ano 2 - 60 pontos; (3) Ano 2 - 80 pontos. pH < 6,5 – Ácido; 6,6 < pH < 7,5 – Neutro; pH > 8,5 - Alcalino



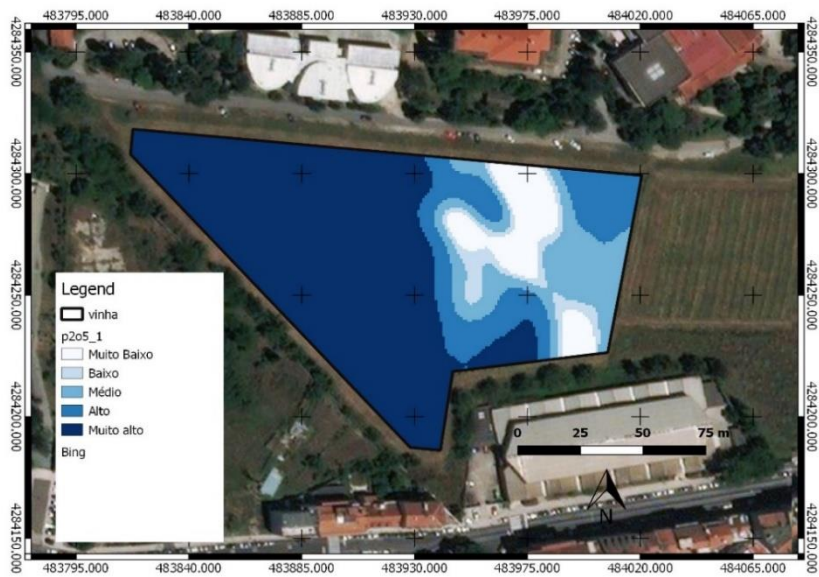
Carta 2 - Distribuição espacial da Condutividade Elétrica (CE,  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) (1) Ano 1; (2) Ano 2 - 60 pontos; (3) Ano 2 - 80 pontos.  
 $CE < 200\mu\text{S}/\text{cm}$  – sem efeitos salinos;  $200\mu\text{S}/\text{cm} < CE < 400\mu\text{S}/\text{cm}$  – muito pouco salino;  $400\mu\text{S}/\text{cm} < CE < 800\mu\text{S}/\text{cm}$  –

*pouco salino;  $800 \mu\text{S}/\text{cm} < \text{CE} < 1200 \mu\text{S}/\text{cm}$  – moderadamente salino;  $1200 \mu\text{S}/\text{cm} < \text{CE} < 1600 \mu\text{S}/\text{cm}$  – fortemente salino;  $\text{CE} > 1600 \mu\text{S}/\text{cm}$  – muito fortemente salino*

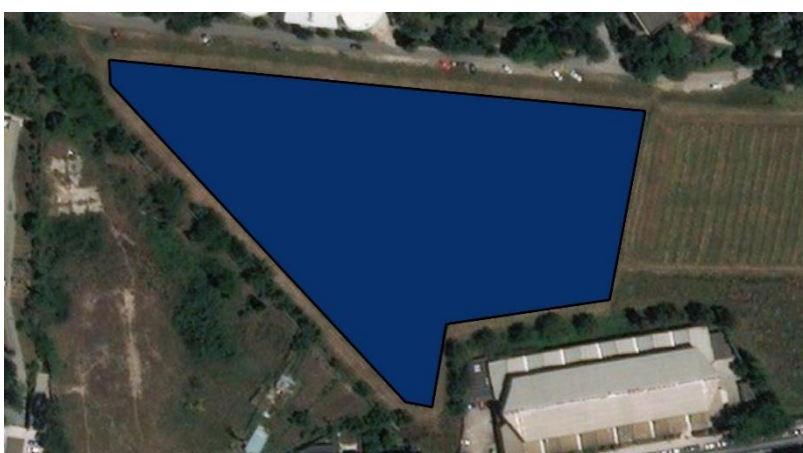
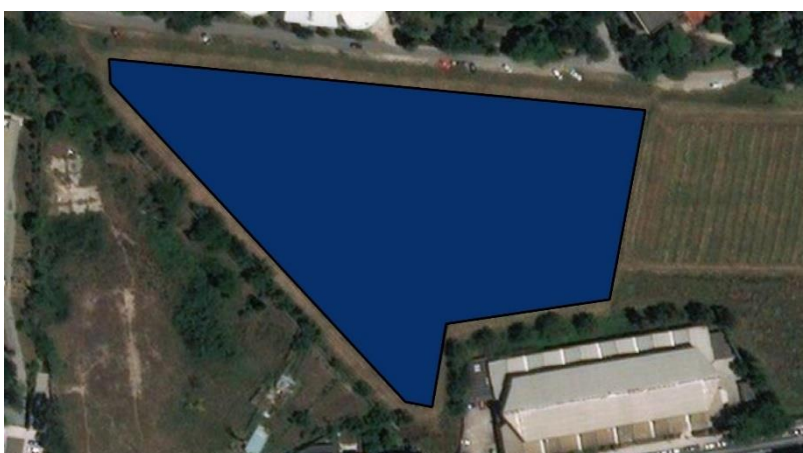


*Carta 3 - Distribuição espacial do teor de Matéria orgânica (MO, %) (1) Ano 1; (2) Ano 2 - 60 pontos; (3) Ano 2 - 80 pontos.  $\text{MO} \leq 1,0$  – muito baixa;  $1,1 < \text{MO} < 2,0$  – baixa;  $2,1 < \text{MO} < 4,0$  – média;  $4,1 < \text{MO} < 6,0$  – alta;  $\text{MO} > 6,0$  – muito alta (para solos de textura média ou fina)*

## 5.2 – Macronutrientes principais ( $P_2O_5_{ext}$ , $K_2O_{ext}$ , $NH_4^+$ , $NO_3^-$ )



Carta 4 - Distribuição espacial do teor de  $P_2O_5_{ext}$  (mg/kg) (1) Ano 1; (2) Ano 2 - 60 pontos; (3) Ano 2 - 80 pontos.  $P_2O_5_{ext} < 25$  – muito baixo;  $26 < P_2O_5_{ext} < 50$  - baixo;  $51 < P_2O_5_{ext} < 100$  – médio;  $100 < P_2O_5_{ext} < 200$  – alto;  $P_2O_5_{ext} > 200$  – muito alto



Carta 5 - Distribuição espacial do teor de  $K_2O_{ext}$  (mg/kg) (1) Ano 1; (2) Ano 2 - 60 pontos; (3) Ano 2 - 80 pontos.  $K_2O_{ext} < 25$  – muito baixo;  $26 < K_2O_{ext} < 50$  - baixo;  $51 < K_2O_{ext} < 100$  – médio;  $100 < K_2O_{ext} < 200$  – alto;  $K_2O_{ext} > 200$  – muito alto



Carta 6 - Distribuição espacial do teor de  $K_2O_{ext}$  (mg/kg) para o Ano 2 – 80 pontos. Escala discriminada de acordo com os valores reais que surgem na parcela. Nota: cada classe da escala refere-se a valores  $\leq$  ao número apresentado



Carta 7 - Distribuição espacial do teor de  $NH_4^+$  (mg/kg) (1) Ano 2 – 60 pontos; (2) Ano 2 – 80 pontos. Nota: não há valores de referência para o  $NH_4^+$  no solo. Cada classe da escala refere-se a valores  $\leq$  ao número apresentado



Carta 8 - Distribuição espacial do teor de  $\text{NO}_3^-$  (mg/kg) (1) Ano 2 – 60 pontos; (2) Ano 2 – 80 pontos. Nota: não há valores de referência para o  $\text{NO}_3^-$  no solo. Cada classe da escala refere-se a valores  $\leq$  ao número apresentado

### 5.3 – Bases de troca ( $K_{troca}$ , $Na_{troca}$ , $Ca_{troca}$ , $Mg_{troca}$ )



Carta 9 - Distribuição espacial do teor de  $K_{troca}$  (cmol(+)/kg) (1) Ano 1; (2) Ano 2 - 60 pontos; (3) Ano 2 - 80 pontos.  $K_{troca} < 0,1$  – muito baixo;  $0,1 < K_{troca} < 0,25$  – baixo;  $0,26 < K_{troca} < 0,50$  – médio;  $0,51 < K_{troca} < 1,0$  – alto;  $K_{troca} 1,0$  – muito alto



Carta 10 - Distribuição espacial do teor de  $Na_{troca}$  (cmol(+)/kg) (1) Ano 1; (2) Ano 2 - 60 pontos; (3) Ano 2 - 80 pontos.  $Na_{troca} < 0,1$  – muito baixo;  $0,1 < Na_{troca} < 0,25$  – baixo;  $0,26 < Na_{troca} < 0,50$  – médio;  $0,51 < Na_{troca} < 1,0$  – alto;  $Na_{troca} \geq 1,0$  – muito alto



Carta 11 - Distribuição espacial do teor de  $Ca_{troca}$  (cmol(+)/kg) (1) Ano 1; (2) Ano 2 - 60 pontos; (3) Ano 2 - 80.  $Ca_{troca} \leq 2,0$  - muito baixo;  $2,1 < Ca_{troca} < 5,0$  - baixo;  $5,1 < Ca_{troca} < 10,0$  - médio;  $10,1 < Ca_{troca} < 20,0$  - alto;  $Ca_{troca} > 20,0$  - muito alto



Carta 12 - Distribuição espacial do teor de  $Mg_{troca}$  (cmol(+)/kg) (1) Ano 1; (2) Ano 2 - 60 pontos; (3) Ano 2 - 80 pontos.  $Mg_{troca} \leq 0,5$  - muito baixo;  $0,6 < Mg_{troca} < 1,0$  - baixo;  $1,1 < Mg_{troca} < 2,5$  - médio;  $2,6 < Mg_{troca} < 5,0$  - alto;  $Mg_{troca} > 5,0$  - muito alto



*Carta 13 – Distribuição espacial da relação  $K_{troca}/Mg_{troca}$  no ano 2. Nota: não há valores de referência para esta relação. Cada classe da escala refere-se a valores  $\leq$  ao número apresentado*

#### 5.4 – Micronutrientes extraíveis do solo ( $Fe_{ext}$ , $Cu_{ext}$ , $Zn_{ext}$ , $Mn_{ext}$ )



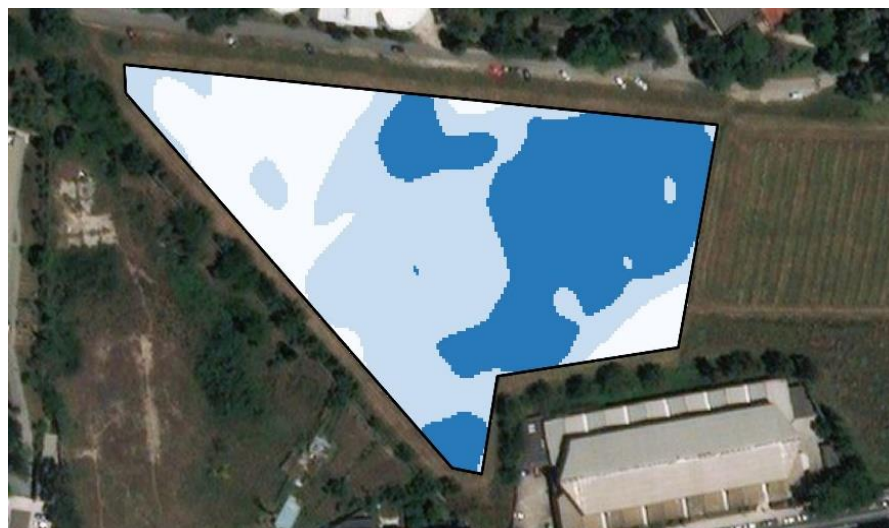
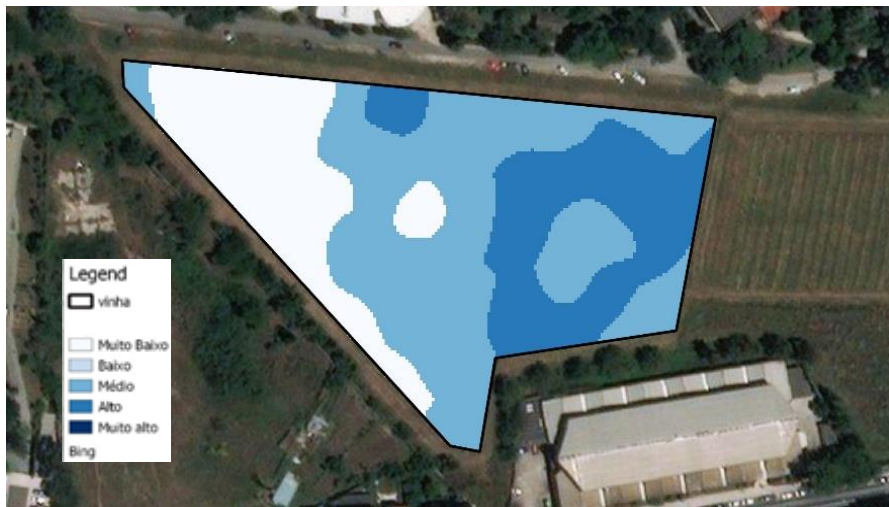
Carta 14 - Distribuição espacial do teor de  $Fe_{ext}$  (mg/L) (1) Ano 2 - 60 pontos; (2) Ano 2 - 80 pontos.  $Fe_{ext} \leq 10$  – muito baixo;  $11 < Fe_{ext} < 25$  – baixo;  $26 < Fe_{ext} < 40$  – médio;  $41 < Fe_{ext} < 80$  – alto;  $Fe_{ext} > 80$  – muito alto



Carta 15 - Distribuição espacial do teor de  $Cu_{ext}$  (mg/L) (1) Ano 2 - 60 pontos; (2) Ano 2 - 80 pontos.  $Cu_{ext} \leq 0,3$  – muito baixo;  $0,4 < Cu_{ext} < 0,8$  – baixo;  $0,9 < Cu_{ext} < 7,0$  – médio;  $7,1 < Cu_{ext} < 15$  – alto;  $Cu_{ext} > 15$  – muito alto

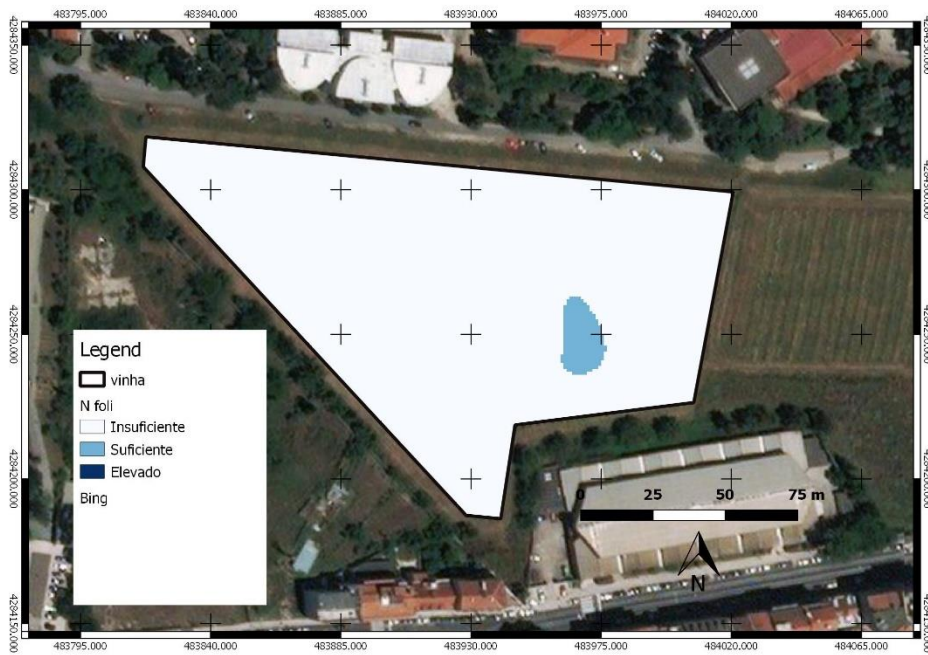


Carta 16 - Distribuição espacial do teor de  $Zn_{ext}$  (mg/L) (1) Ano 2 - 60 pontos; (2) Ano 2 - 80 pontos.  $Zn_{ext} \leq 0,6$  – muito baixo;  $0,7 < Zn_{ext} < 1,4$  – baixo;  $1,5 < Zn_{ext} < 3,5$  - médio;  $3,6 < Zn_{ext} < 10$  – alto;  $Zn_{ext} > 10$  – muito alto



Carta 17 - Distribuição espacial do teor de  $Mn_{ext}$  (mg/L) (1) Ano 2 - 60 pontos; (2) Ano 2 - 80 pontos.  $Mn_{ext} \leq 7$  – muito baixo;  $8 < Mn_{ext} < 15$  – baixo;  $16 < Mn_{ext} < 45$  – médio;  $46 < Mn_{ext} < 100$  – alto;  $Mn_{ext} > 100$  – muito alto

## 5.5 – Teor de nutrientes foliares ( $N_{fol}$ , $P_{fol}$ , $K_{fol}$ , $Ca_{fol}$ , $Mg_{fol}$ , $Fe_{fol}$ , $Cu_{fol}$ , $Zn_{fol}$ , $Mn_{fol}$ , $B_{fol}$ )



Carta 18 - Distribuição espacial do teor foliar de N (g/kg).  $N_{fol} < 30$  – insuficiente;  $30 \leq N_{fol} \leq 55$  – suficiente;  $N_{fol} > 55$  – elevado



Carta 19 - Distribuição espacial do teor foliar de P (g/kg).  $P_{fol} < 2,5$  – insuficiente;  $2,5 \leq P_{fol} \leq 5,0$  – suficiente;  $P_{fol} > 5,0$  – elevado



Carta 20 - Distribuição espacial do teor foliar de K (g/kg).  $K_{fol} < 15$  – insuficiente;  $15 \leq K_{fol} \leq 30$  - suficiente;  $K_{fol} > 30$  – elevado



Carta 21 - Distribuição espacial do teor foliar de Ca (g/kg).  $Ca_{fol} < 10$  – insuficiente;  $10 \leq Ca_{fol} \leq 20$  – suficiente;  $Ca_{fol} > 20$  – elevado



Carta 22 - Distribuição espacial do teor foliar de Mg (g/kg).  $Mg_{fol} < 2,5$  – insuficiente;  $2,5 \leq Mg_{fol} \leq 5,0$  – suficiente;  $Mg_{fol} > 5,0$  - elevado



Carta 23 - Distribuição espacial do teor foliar de Fe (mg/kg).  $Fe_{fol} < 60$  – insuficiente;  $60 \leq Fe_{fol} \leq 200$  – suficiente;  $Fe_{fol} > 200$  - elevado



Carta 24- Distribuição espacial do teor foliar de Cu (mg/kg).  $Cu_{fol} < 7$  – insuficiente;  $7 \leq Cu_{fol} \leq 25$  – suficiente;  $Cu_{fol} > 25$  – elevado



Carta 25 - Distribuição espacial do teor foliar de Zn (mg/kg).  $Zn_{fol} < 18$  – insuficiente;  $18 \leq Zn_{fol} \leq 100$  – suficiente;  $Zn_{fol} > 100$  - elevado

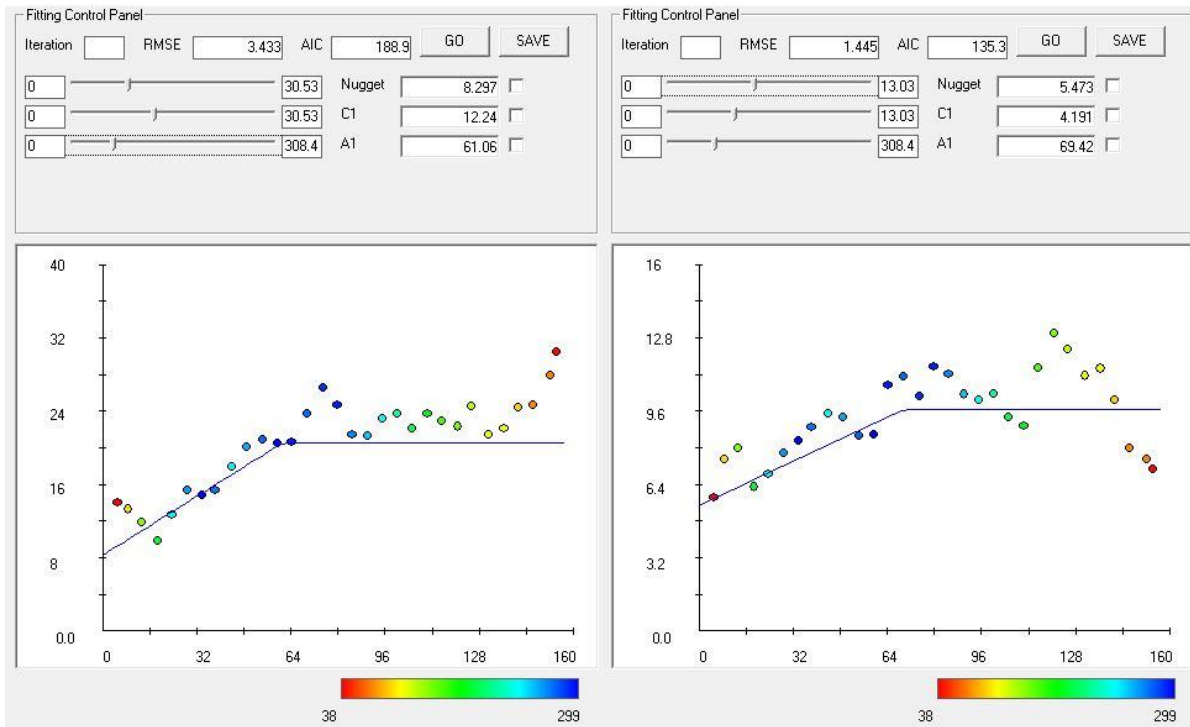


Carta 26 - Distribuição espacial do teor foliar de Mn (mg/kg).  $Mn_{fol} < 30$  – insuficiente;  $30 \leq Mn_{fol} \leq 200$  – suficiente;  $Mn_{fol} > 200$  - elevado



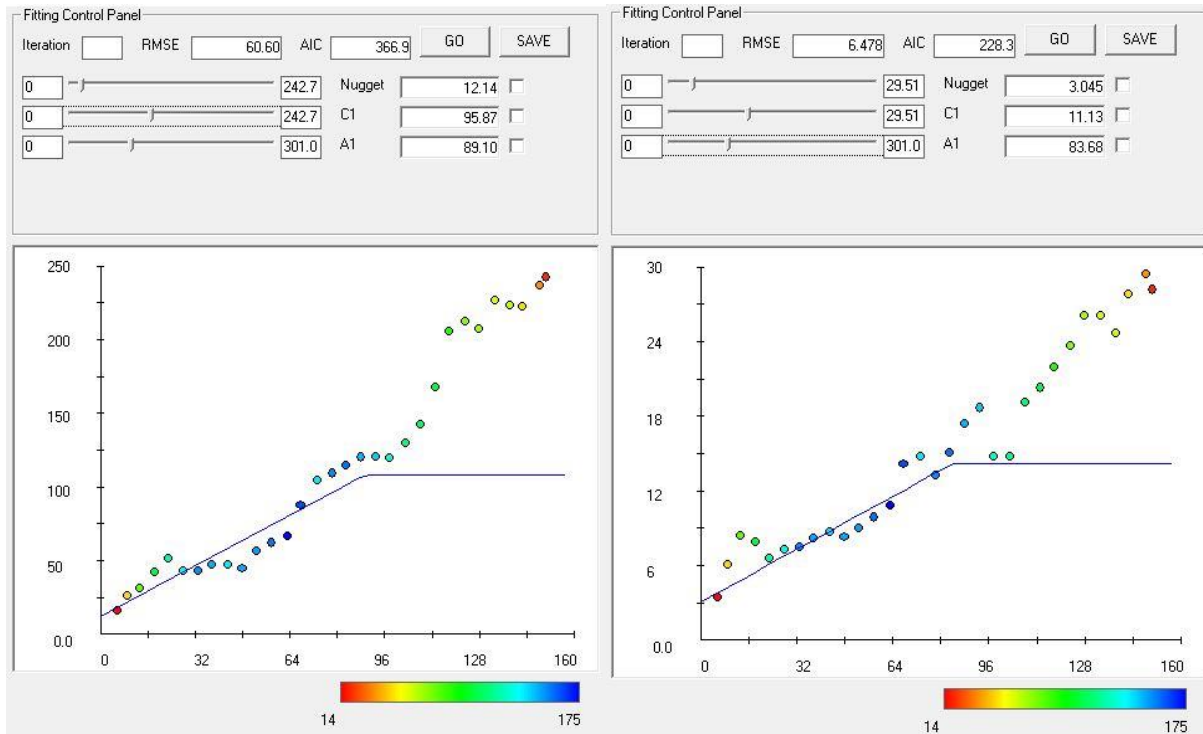
Carta 27 - Distribuição espacial do teor foliar de B (mg/kg).  $B_{fol} < 30$  – insuficiente;  $30 \leq B_{fol} \leq 60$  – suficiente;  $B_{fol} > 60$  – elevado

## Anexo 5 – Semi-variogramas ajustados para cada variável



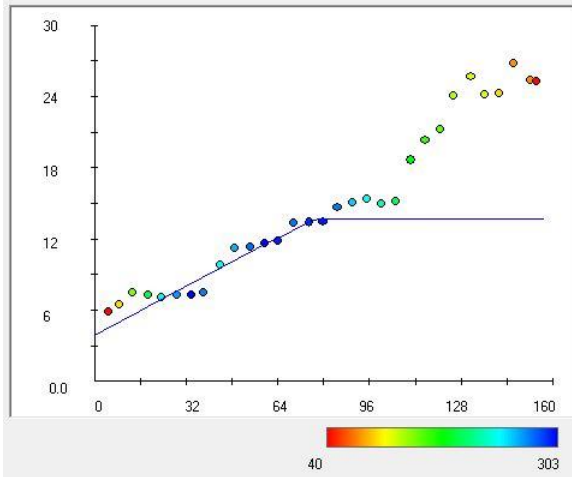
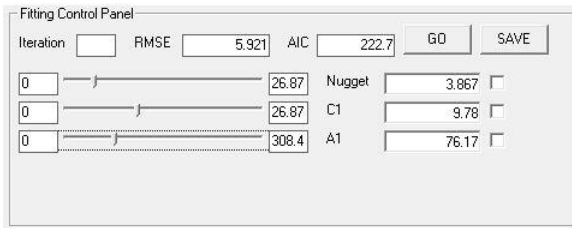
B foliar

Ca foliar

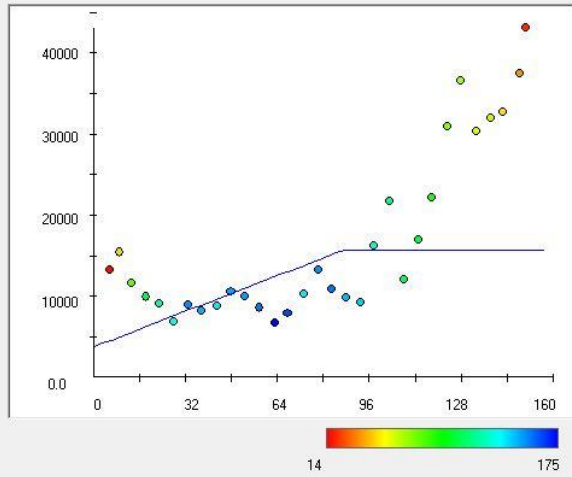
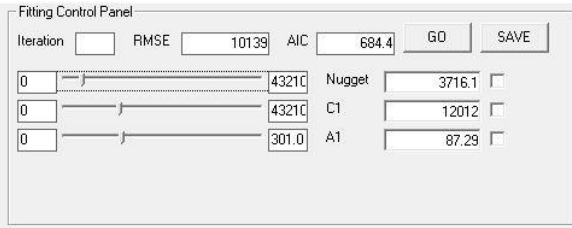


Ca troca ano 1

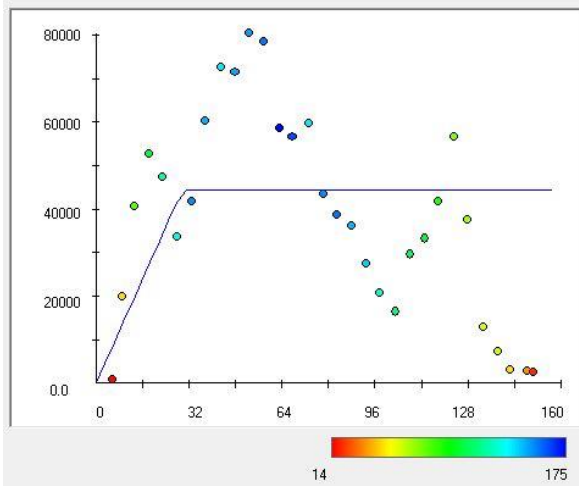
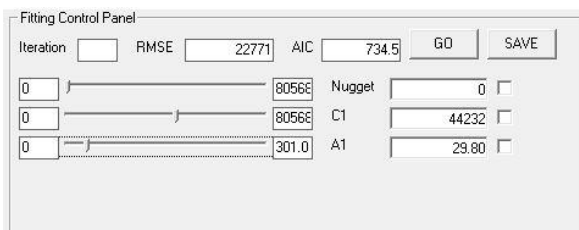
Ca troca ano 2, 60 pontos



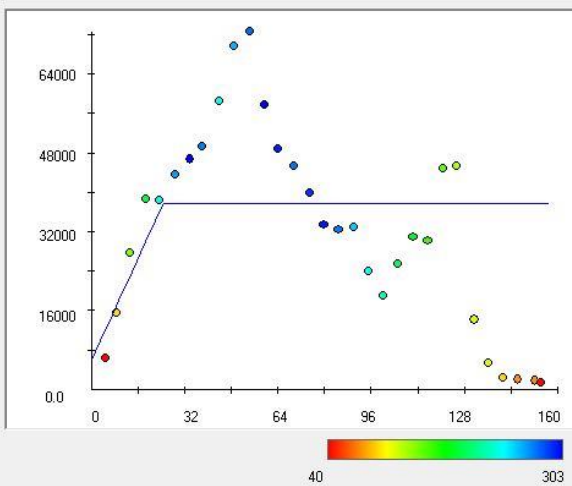
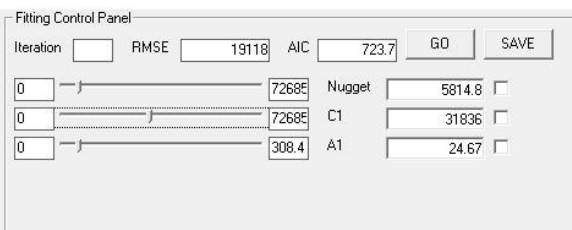
Ca troca ano 2, 80 pontos



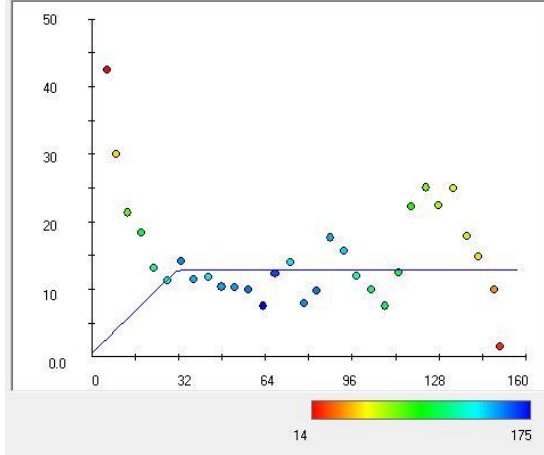
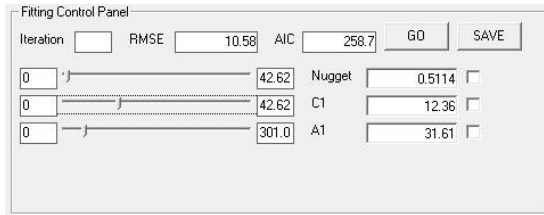
CE ano 1



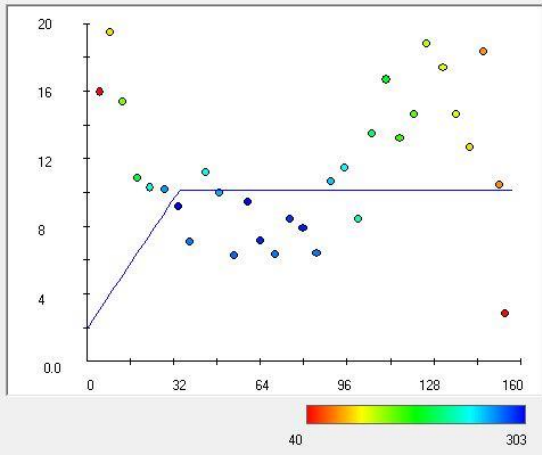
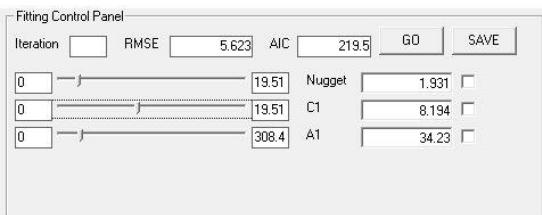
CE ano 2, 60 pontos



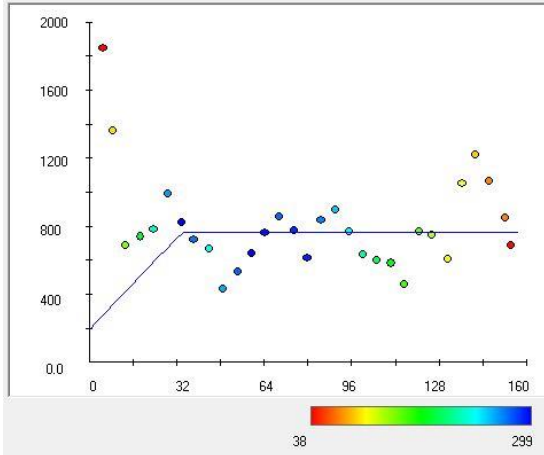
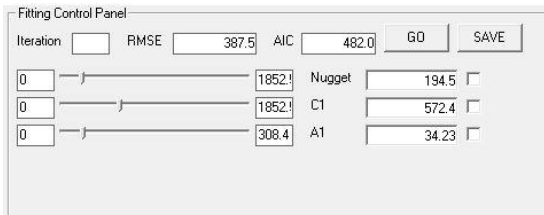
CE ano 2, 80 pontos



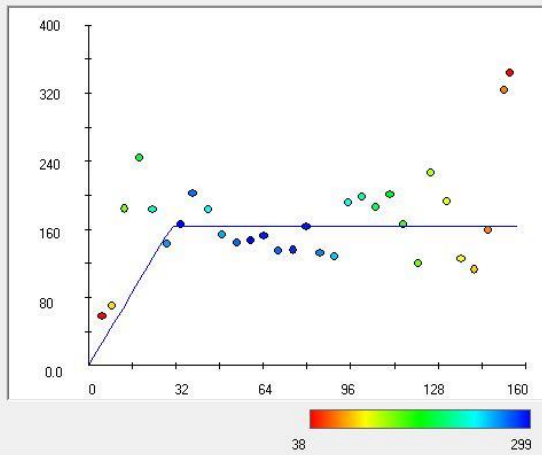
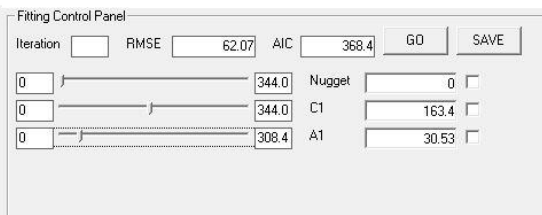
Cu ano 2, 60 pontos



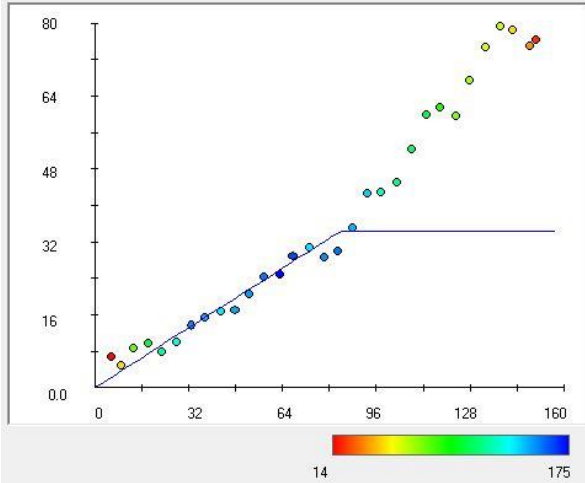
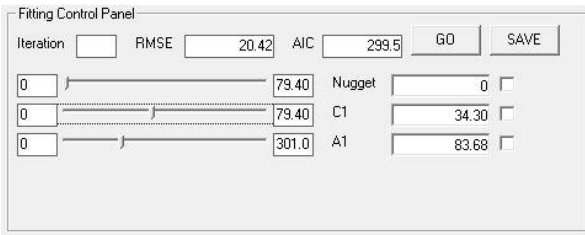
Cu ano 2, 80 pontos



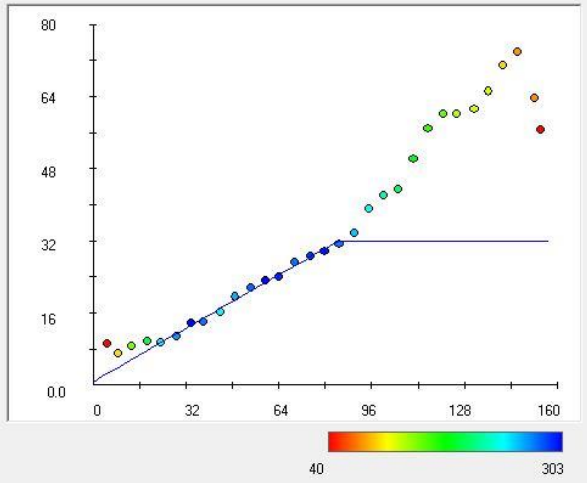
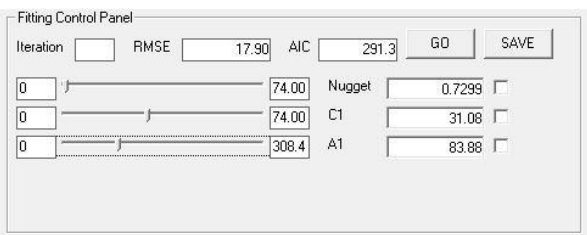
Cu foliar



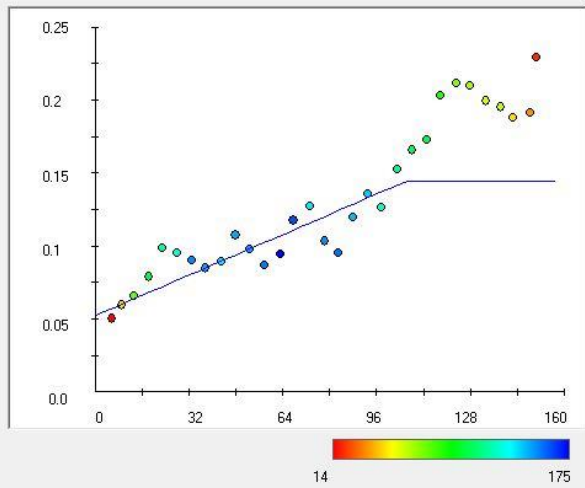
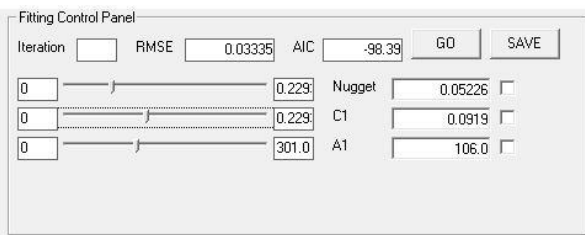
Fe foliar



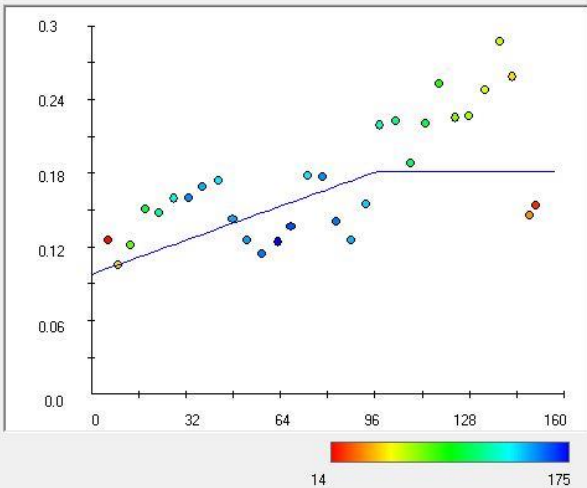
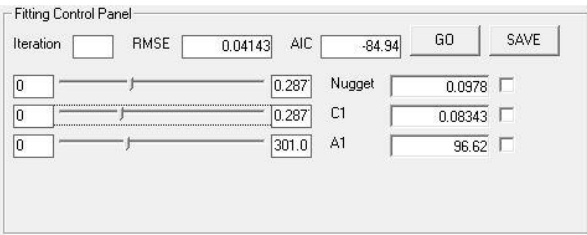
Fe 60 pontos



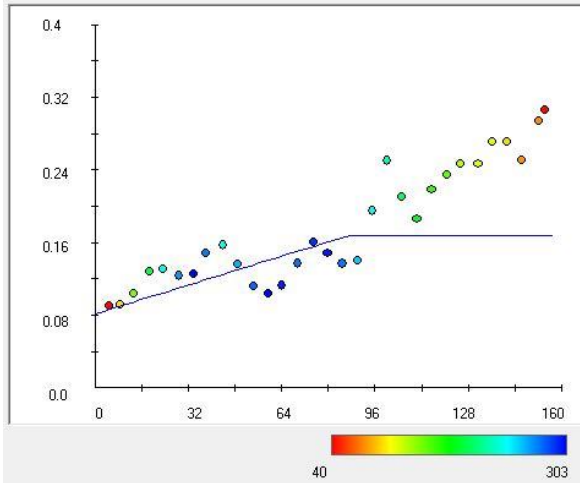
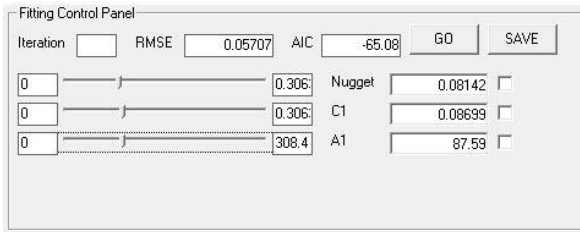
Fe 80 pontos



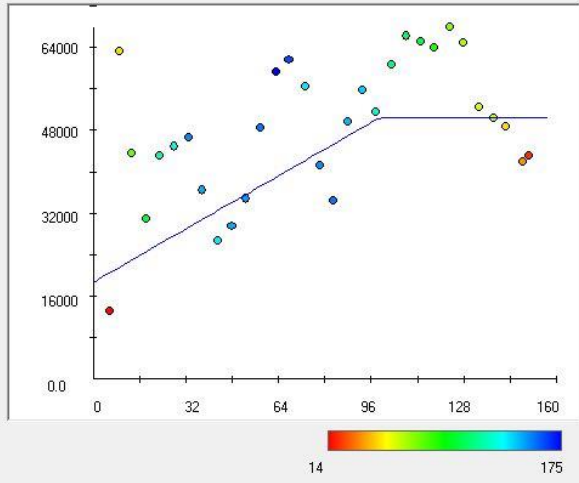
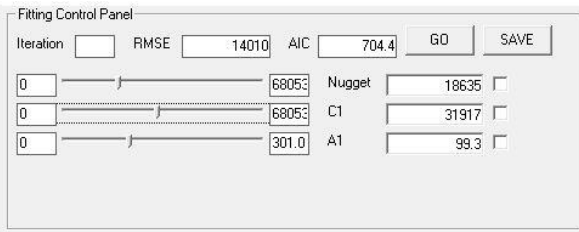
K troca ano 1



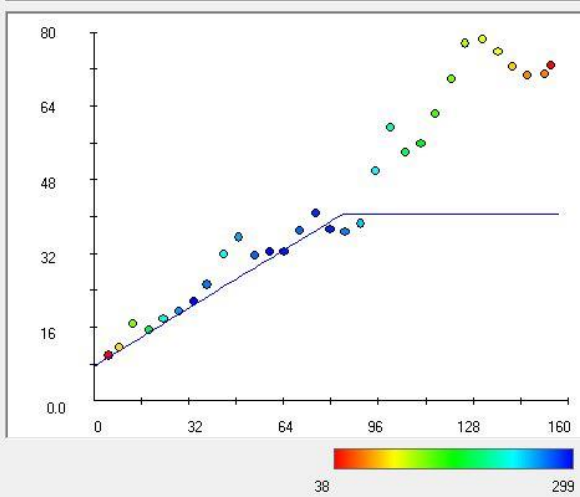
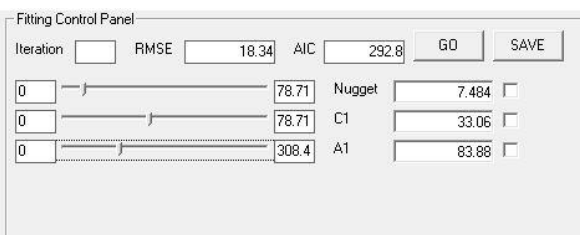
K troca ano 2, 60 pontos



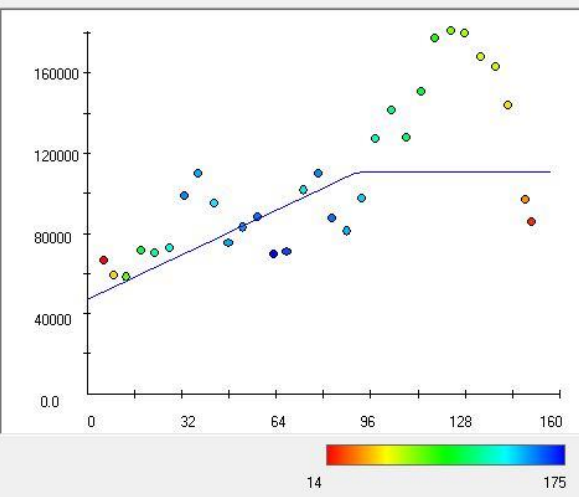
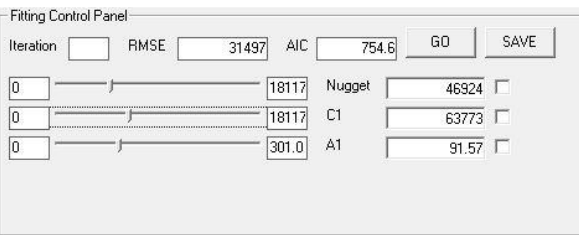
K troca ano 2, 80 pontos



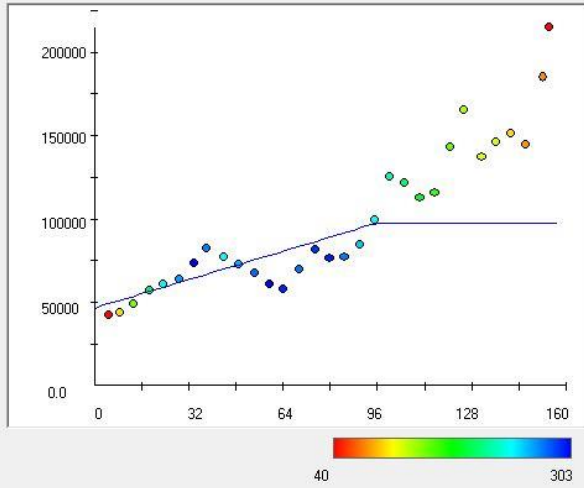
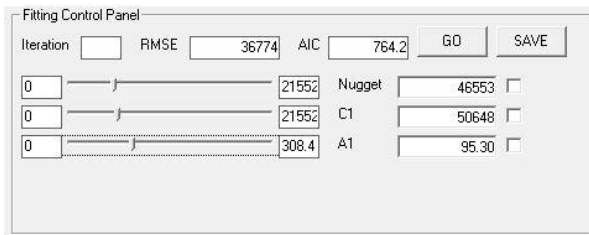
K<sub>2</sub>O ext ano 1



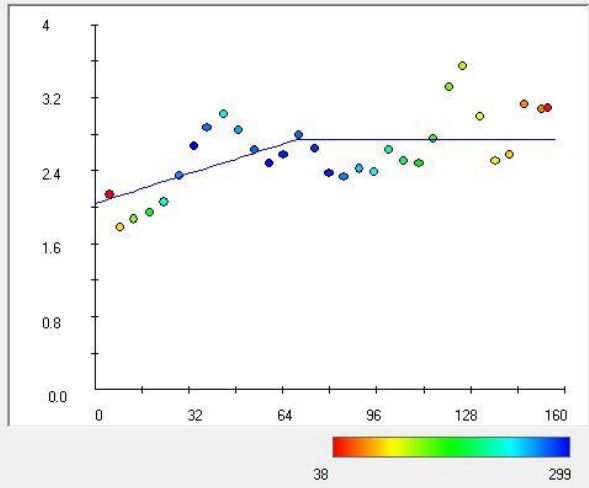
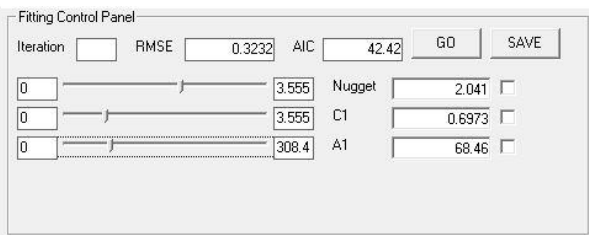
K foliar



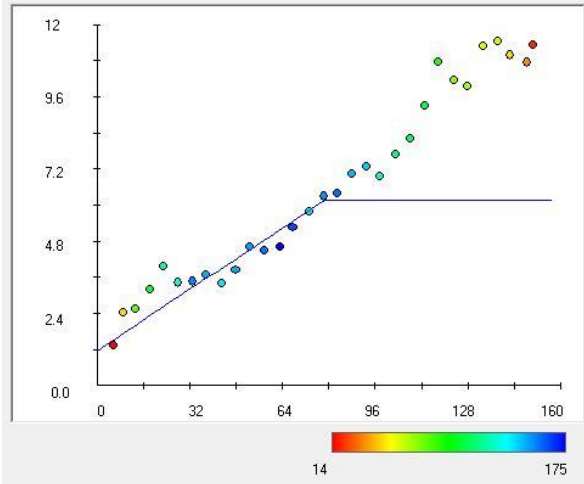
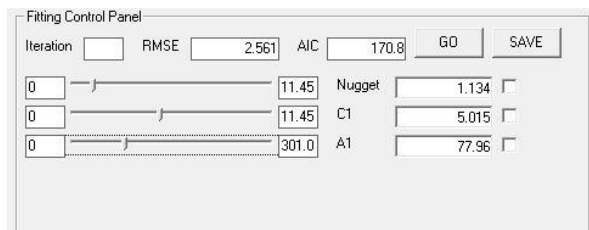
K<sub>2</sub>O ext ano 2, 60 pontos



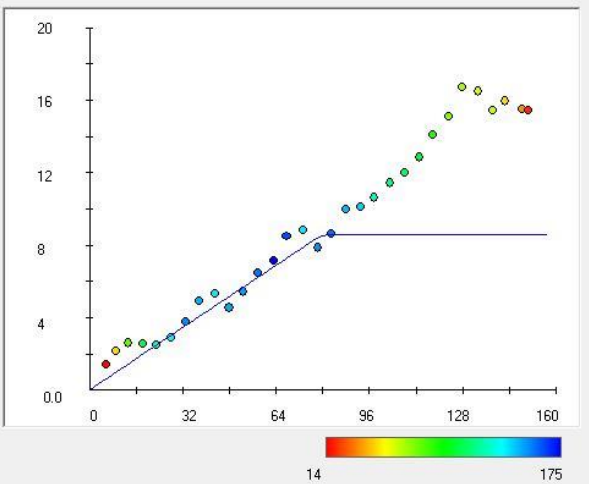
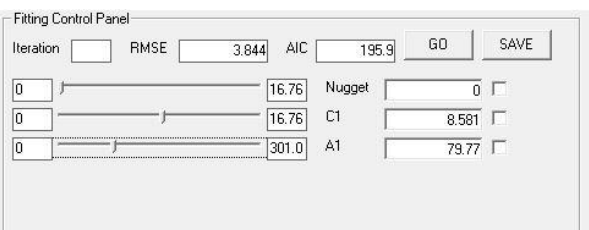
K<sub>2</sub>O ext ano 2, 80 pontos



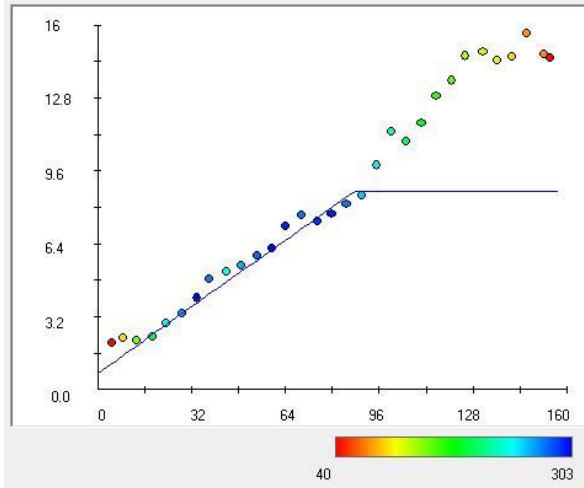
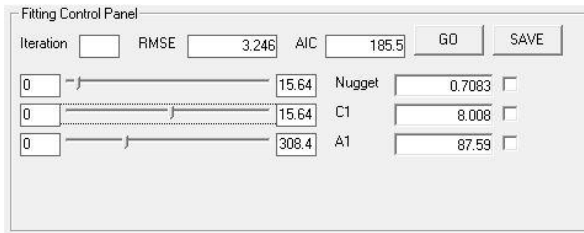
Mg foliar



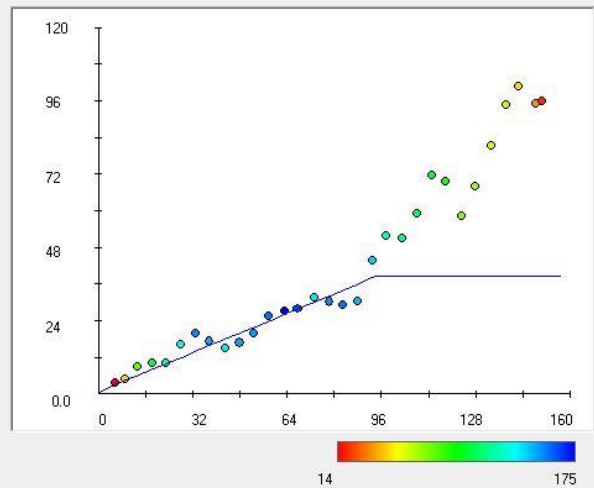
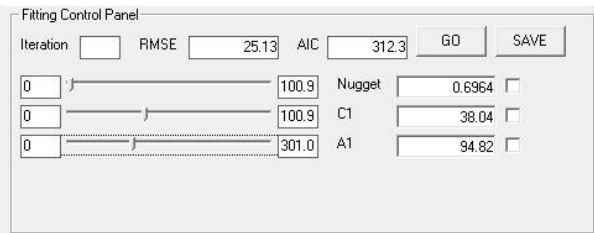
Mg ano 1



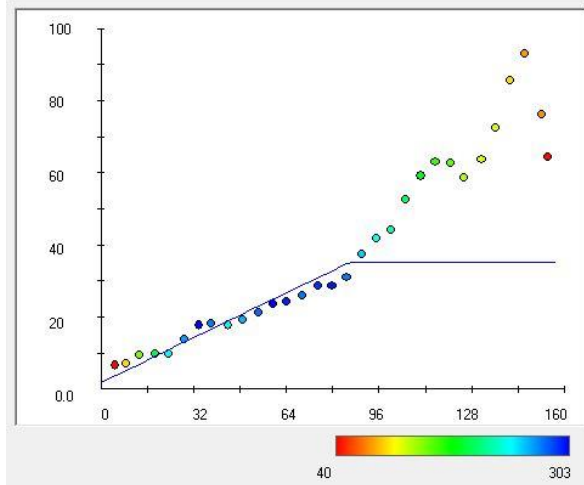
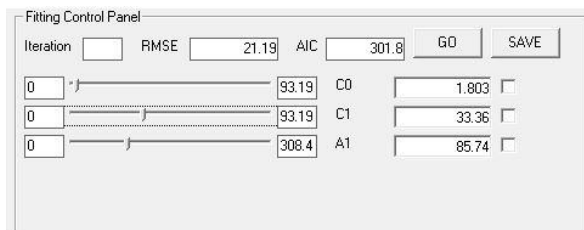
Mg ano 2, 60 pontos



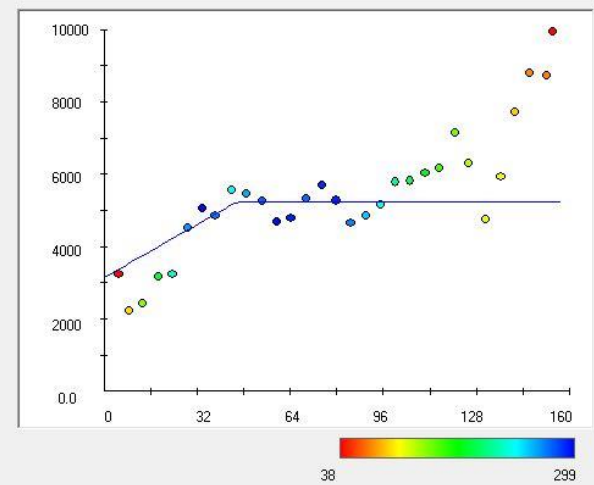
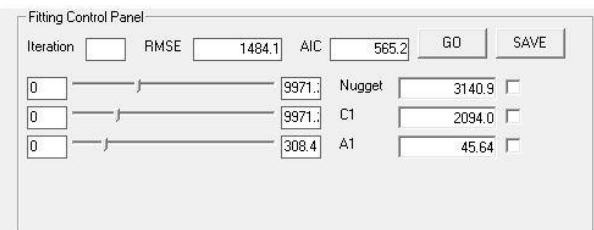
Mg ano 2, 80 pontos



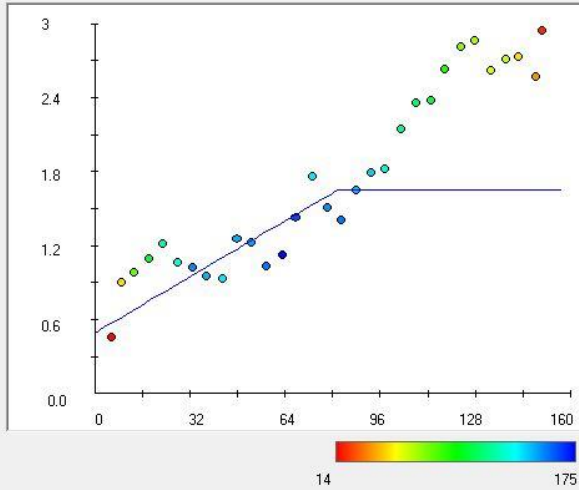
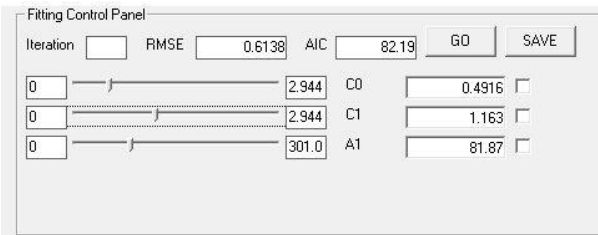
Mn ano 2, 60 pontos



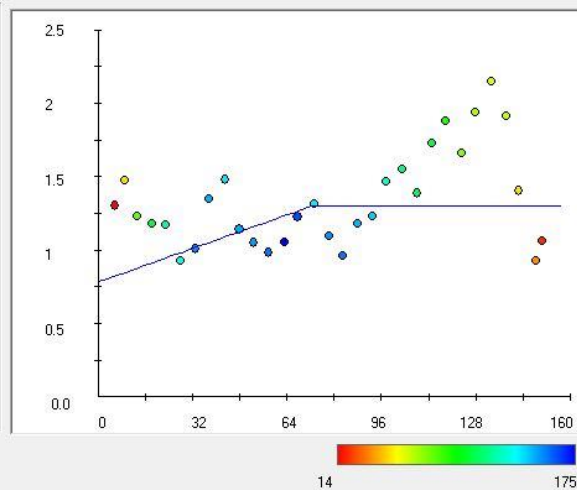
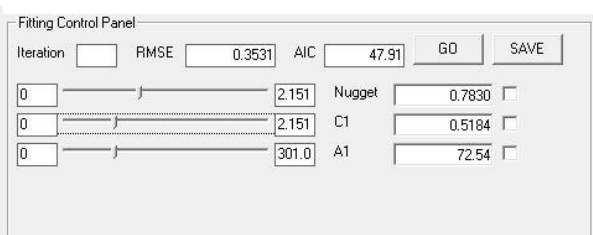
Mn ano 2, 80 pontos



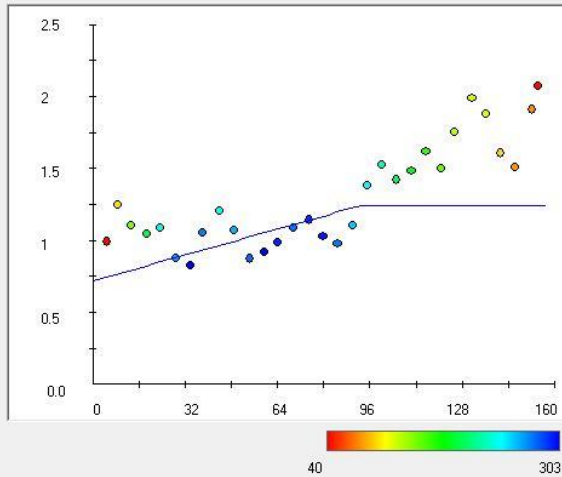
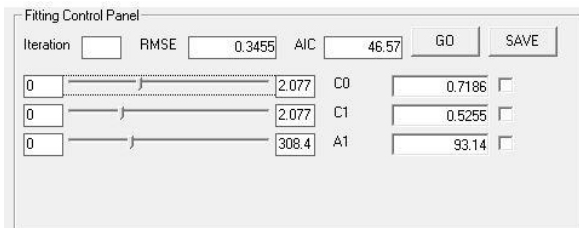
Mn foliar



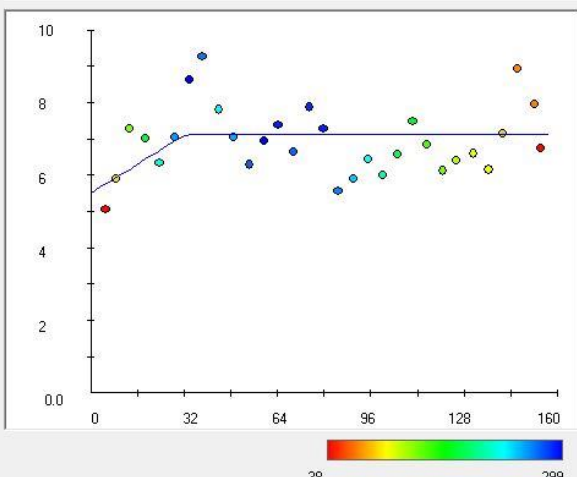
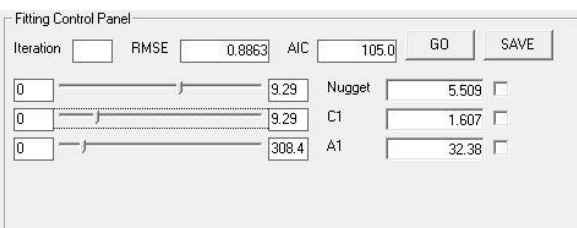
MO ano 1



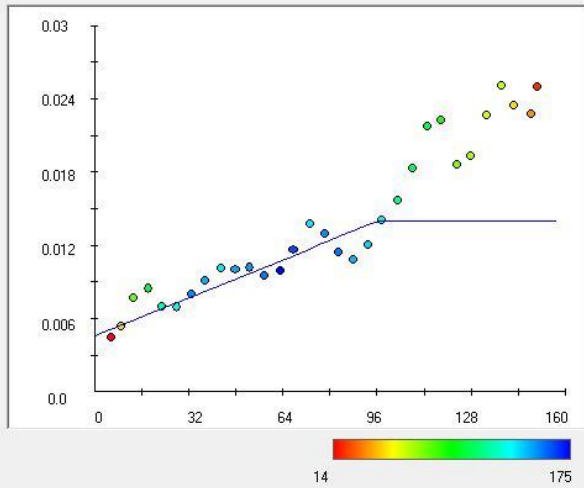
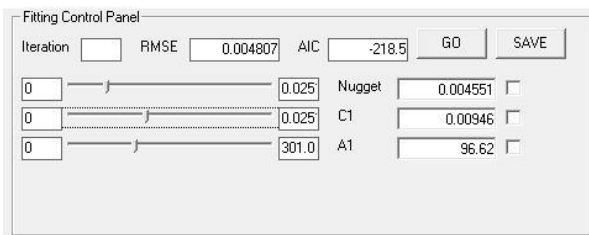
MO ano 1, 60 pontos



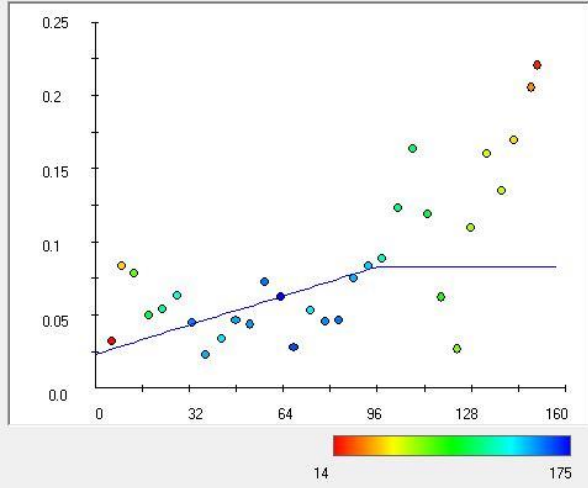
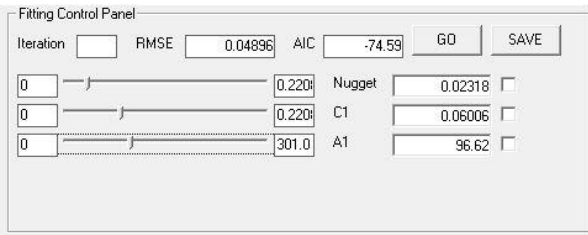
MO ano 2, 80 pontos



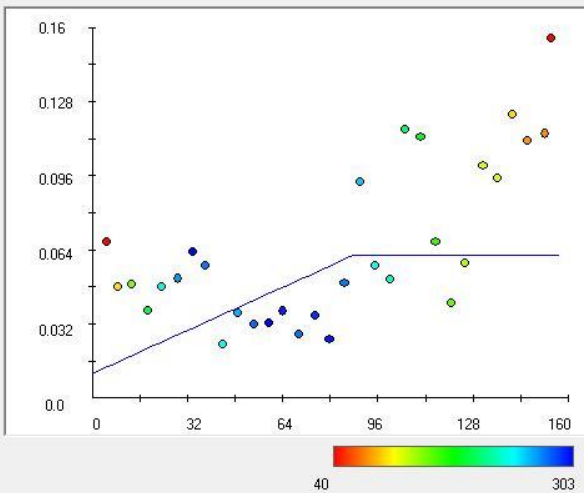
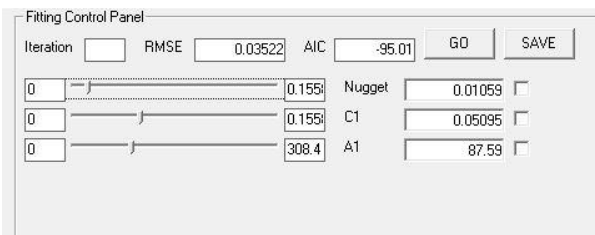
N foliar



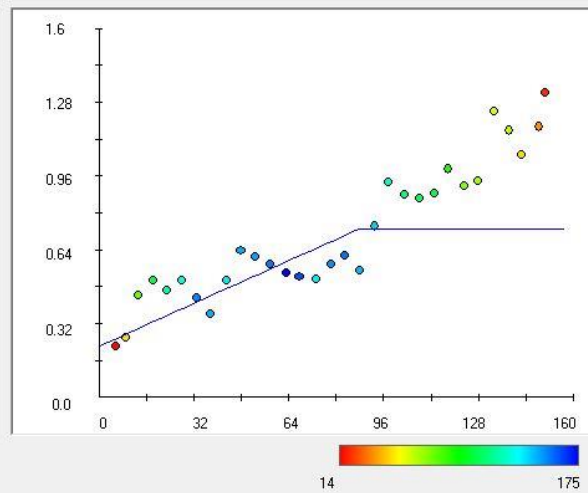
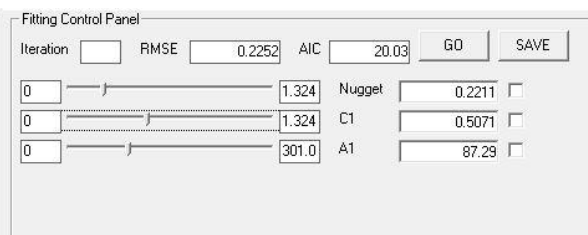
Na ano 1



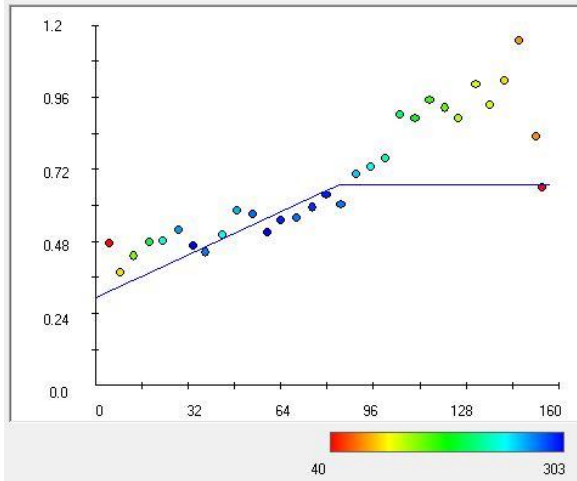
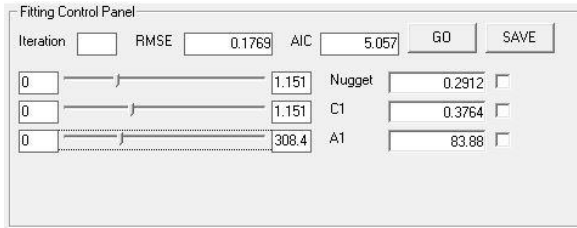
Na ano 2, 60 pontos



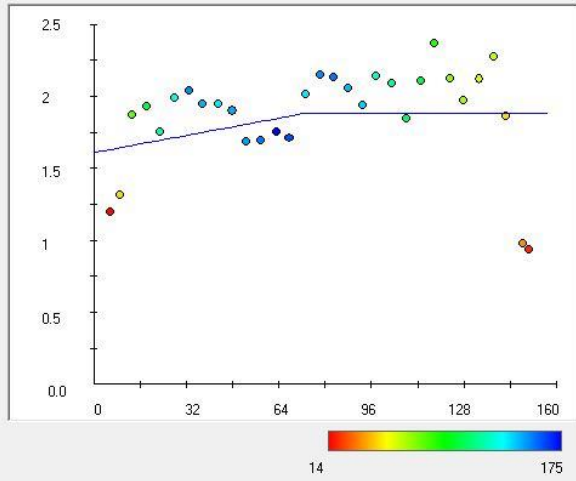
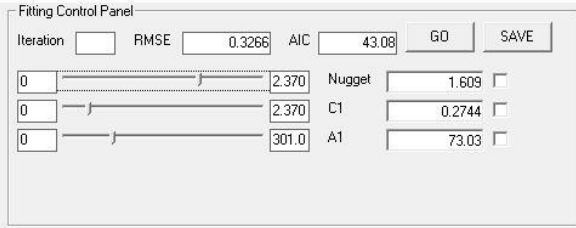
Na ano 2, 80 pontos



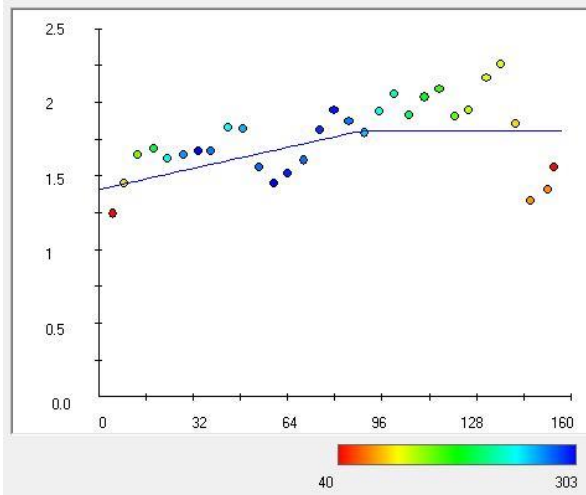
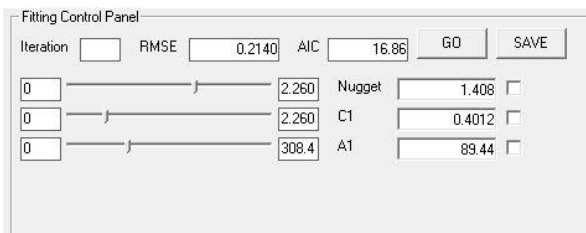
NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 60 pontos



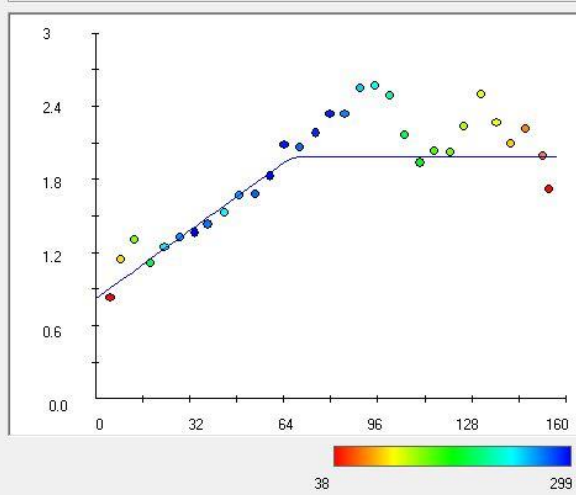
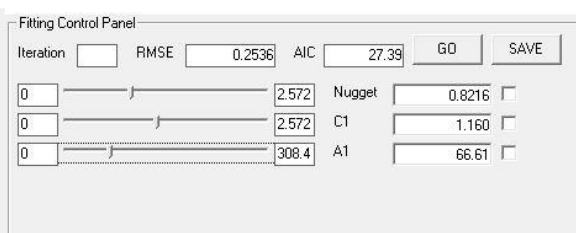
$\text{NH}_4^+$  80 pontos



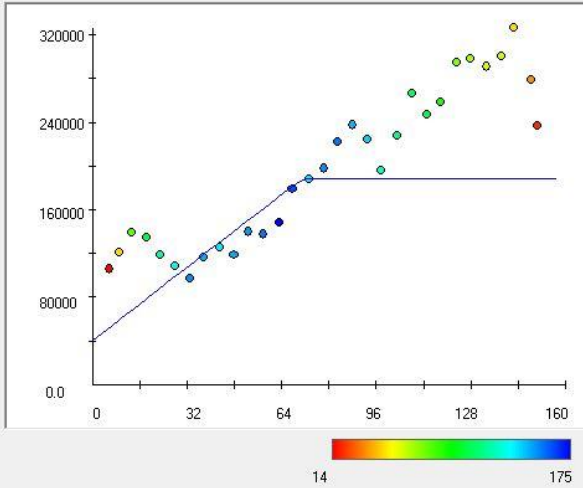
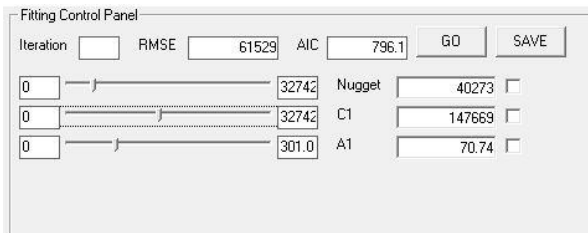
$\text{NO}_3^-$  60 pontos



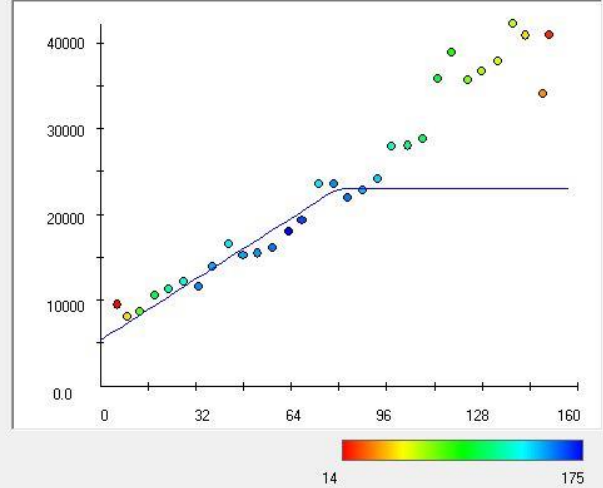
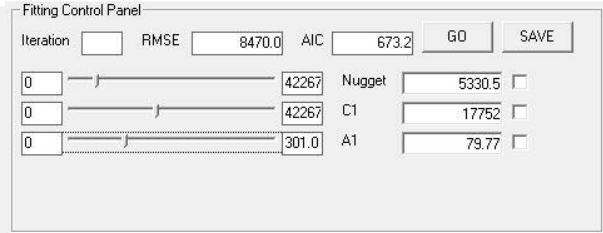
$\text{NO}_3^-$  60 pontos



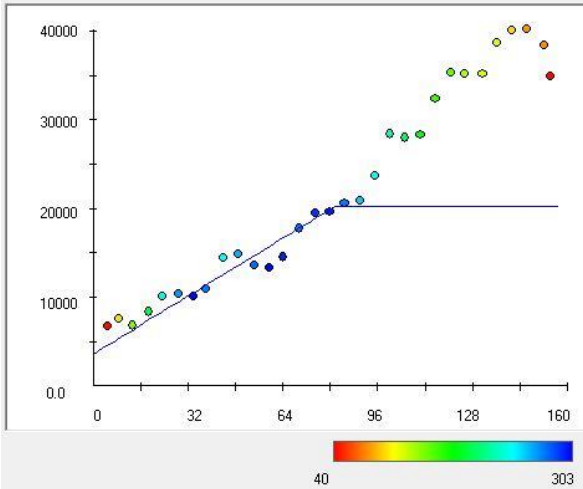
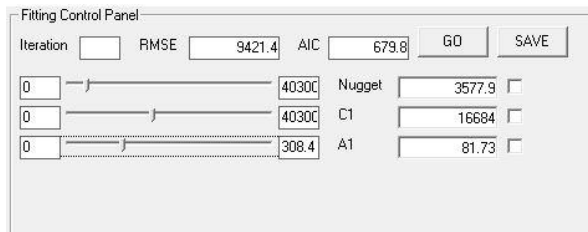
P foliar



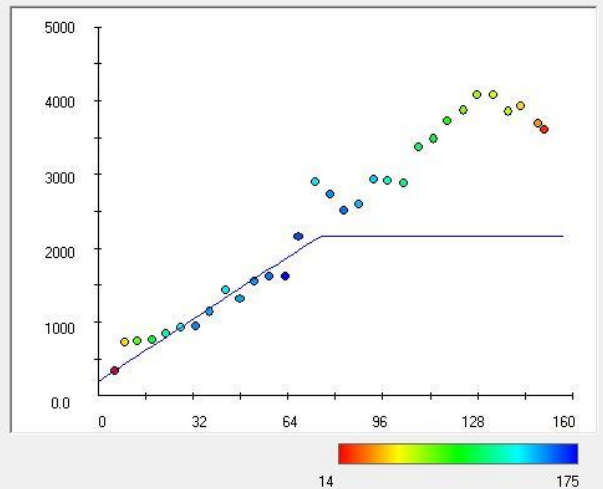
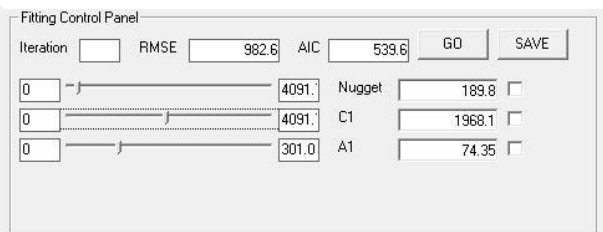
$P_2O_5$  ext ano 1



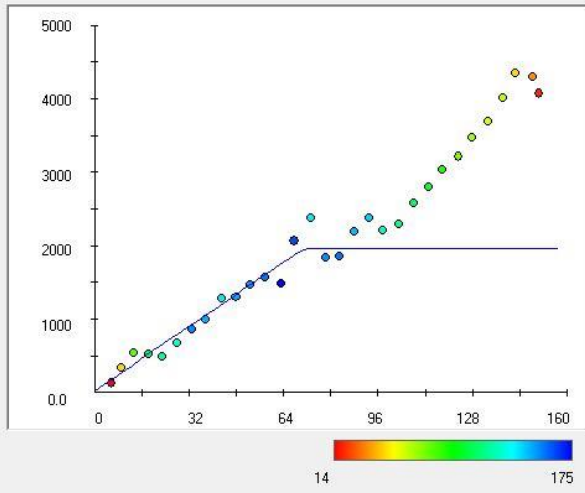
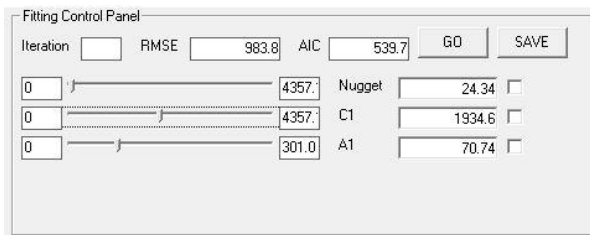
$P_2O_5$  ext ano 2, 60 pontos



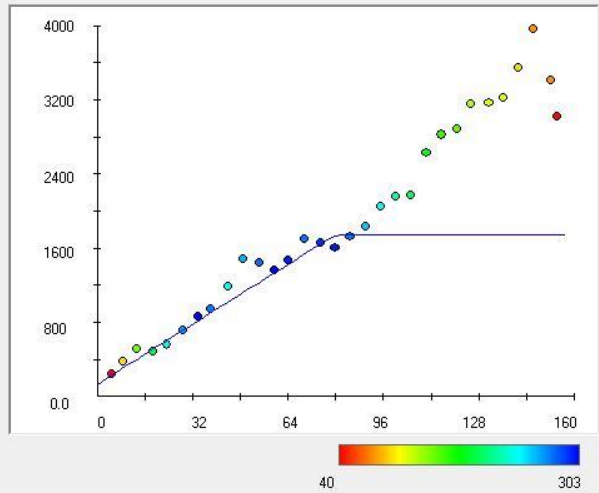
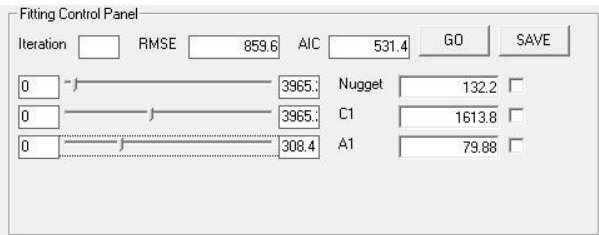
$P_2O_5$  ext ano 2, 80 pontos



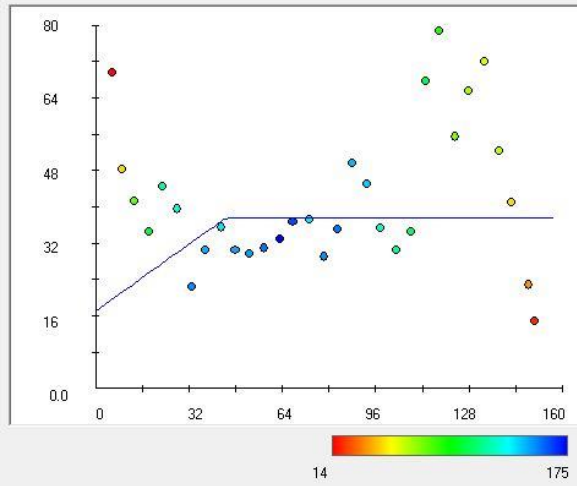
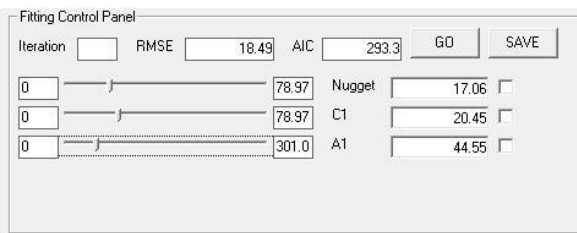
pH (H<sub>2</sub>O) ano 1



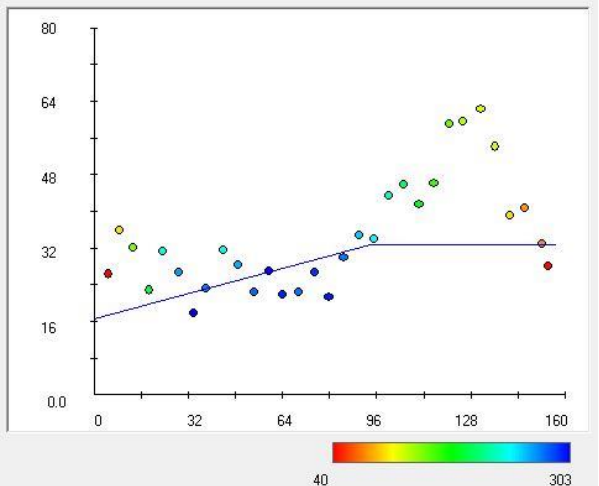
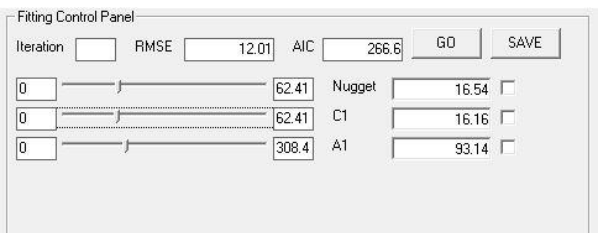
pH (H<sub>2</sub>O) ano 2, 60 pontos



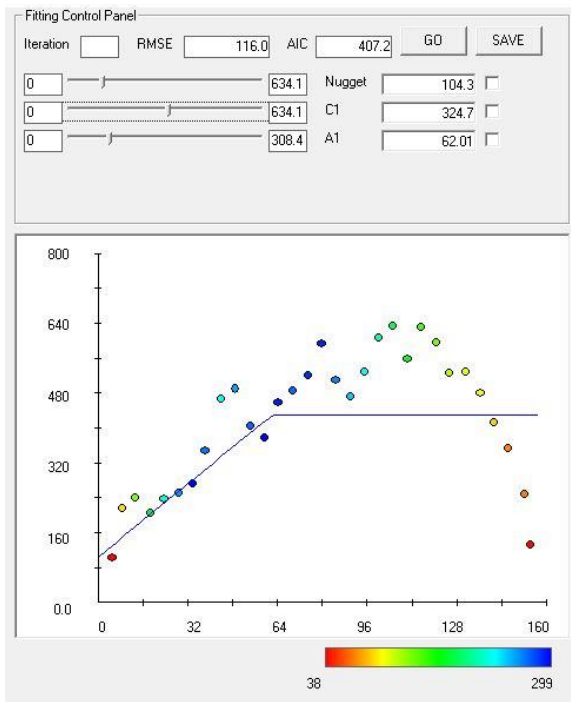
pH (H<sub>2</sub>O) ano 2, 80 pontos



Zn ano 2, 60 pontos



Zn ano 2, 80 pontos



Zn foliar