



INSTITUTO POLITÉCNICO  
DE VIANA DO CASTELO

Carina Isabel da Silva Matias

# ANÁLISE E ESPACIALIZAÇÃO DE DADOS MULTI-TEMPORAIS DE VARIÁVEIS QUÍMICAS DO SOLO

Mestrado Engenharia Agronómica

Trabalho efetuado sob a orientação do

Professora Doutora Susana Mendes  
Professor Doutor Cláudio Paredes

Fevereiro 2022

As doutrinas expressas neste trabalho são da  
exclusividade responsabilidade do autor.

## Índice

Agradecimentos .....	v
Resumo .....	vi
<i>Abstract</i> .....	vii
Lista de abreviaturas .....	viii
1. Introdução.....	1
2. Revisão Bibliográfica.....	3
2.1. Indicadores físicos, químicos e biológicos de qualidade dos solos .....	3
2.1.1. Matéria orgânica do solo .....	5
2.1.2. pH do solo.....	6
2.1.3. Nutrientes minerais do solo .....	9
2.1.4. Principais pressões/ameaças sobre os solos .....	11
2.2. Importância da georreferenciação como suporte da análise de solos .....	15
3. Materiais e Métodos .....	19
3.1. Área de estudo .....	19
3.2. Métodos de análise de solo .....	20
3.3. Configuração da base de dados.....	21
3.4. Representação dos dados em SIG .....	22
3.5. Análise estatística .....	22
4. Resultados .....	23
4.1 Análise espacial e temporal da distribuição da proveniência das amostras de solo	
23	
4.2. Caracterização das amostras e evolução dos parâmetros químicos e físicos do	
concelho de Barcelos .....	24
4.2.1. Caracterização das amostras por cultura .....	24
4.2.2. Estatística descritiva dos parâmetros físico-químicos das amostras de solos no	
período 2008-2019 .....	24
4.2.3. Evolução dos parâmetros químicos analisados .....	27

4.3. Caraterização das amostras e evolução dos parâmetros químicos e físicos do concelho de Ponte de Lima .....	33
4.3.1. Caraterização das amostras por cultura .....	33
4.3.2. Estatística descritiva dos parâmetros físico-químicos das amostras de solos no período 2008-2020 .....	34
4.3.3. Evolução dos parâmetros químicos analisados .....	37
4.4 Análise espacial e temporal para os concelhos de Barcelos e Ponte de Lima nos períodos 2008-2013 e 2014-2019/2020.....	43
5. Discussão.....	51
6. Conclusões .....	54
7. Referências Bibliográficas .....	55
8. Anexos.....	60

## **Agradecimentos**

Este trabalho representa uma etapa importante na minha vida académica e pessoal. Gostaria de expressar a minha sincera gratidão a todas as pessoas que direta ou indiretamente partilharam comigo esta caminhada com momentos de felicidade, exaustão, mas também de superação e aprendizagem.

Primeiramente, gostaria de agradecer aos pilares da minha vida, aos meus pais e irmã, por todo o apoio, amor, dedicação e incentivo para a realização desta dissertação. Sem eles nada disto seria possível.

Aos meus orientadores, Professora Doutora Susana Mendes e Professor Doutor Cláudio Paredes, por todo o auxílio e partilha de conhecimento científico no decorrer da elaboração deste trabalho.

Aos meus companheiros de curso, Manuel Pires e Margarida Costa que embarcaram comigo nesta aventura, a eles fica o meu agradecimento por toda a amizade, força e diversão que passamos juntos ao longo dos dias árduos de trabalho.

Às minhas amigas, Sara Araújo e Daniela Costa que estiveram sempre comigo em todo o meu percurso e me apoiaram incondicionalmente, sem a vossa presença este capítulo da minha vida não seria tão especial.

Ao Cristiano Barros e Renato Silva por toda a disponibilidade, prontidão e ajuda na resolução de problemas.

Por último, mas não menos importante, um agradecimento muito especial ao Ricardo Machado por toda a compreensão, carinho, apoio e motivação para nunca desistir.

Os meus sinceros agradecimentos.

## Resumo

As propriedades químicas e físicas do solo são recursos valiosos para apoiar a implementação de estratégias de proteção do solo e a promoção de melhores práticas agronómicas tendo em vista a sustentabilidade da produção. Existe uma crescente necessidade de manter a qualidade do solo ao mesmo tempo que se apoia o serviço dos ecossistemas, o que faz da agricultura de precisão o caminho certo para atender às ambições mundiais. No âmbito da agricultura de precisão é fulcral compreender bem as dinâmicas do solo, as propriedades e variabilidade espacial e temporal.

Os laboratórios de solos reúnem informação analítica cuja análise é fundamental para a compreensão da variabilidade espacial e temporal das características dos solos da área de influência desses mesmos laboratórios. Com resultados analíticos de mais de 15 anos, o laboratório de solos da Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Viana do Castelo (ESA-IPVC) não possuía uma sistematização, espacialização e análise destes resultados. Assim, o presente trabalho visou a organização, estruturação e posterior análise espacial e multi temporal dos parâmetros químicos das amostras de solos que deram entrada no laboratório de solos da ESA-IPVC no período 2008-2020.

Após uma organização e estruturação de dados, a análise recaiu sobre os concelhos de Ponte de Lima e Barcelos e os parâmetros do solo foram o pH, matéria orgânica, potássio, fósforo, cálcio, magnésio e a relação cálcio/magnésio.

Relativamente aos parâmetros químicos foi observada uma maior variabilidade dos dados nos teores de matéria orgânica, potássio, fósforo e relação cálcio/magnésio no concelho de Barcelos no período de 2008-2019. No concelho de Ponte de Lima, no período de 2008-2020, existem várias discrepâncias que podem ficar a dever-se aos resultados provenientes de ensaios experimentais/experiências, e não de solos naturais. No contexto das políticas atuais, o presente trabalho torna evidente a necessidade das amostras que dão entrada nos laboratórios para análise, terem informação que permita o seu georreferenciamento, para a criação de bancos de dados que possibilite o acompanhamento da qualidade dos solos e auxiliar na implementação de medidas adaptadas às regiões.

Palavras-chave: *agricultura de precisão; variabilidade espacial e temporal; análises de solo;*

## ***Abstract***

Soil chemical and physical properties are valuable resources to support the implementation of soil protection strategies and the promotion of best agronomic practices with a view to sustainable production. There is a growing need to maintain soil quality while supporting ecosystem services, making precision agriculture the right way to meet the world's ambitions. Within the scope of precision agriculture, it is crucial to understand soil dynamics, properties and spatial and temporal variability.

Soil laboratories gather analytical information whose analysis is essential for understanding the spatial and temporal variability of soil characteristics in the area of influence of these same laboratories. With analytical results of more than 15 years, the soil laboratory of the Escola Superior Agrária of the Polytechnic Institute of Viana do Castelo (ESA-IPVC) did not have a systematization, spatialization and analysis of these results. Thus, the present work aimed at the organization, structuring and subsequent spatial and multi-temporal analysis of the chemical parameters of soil samples that entered the ESA-IPVC soil laboratory in the period 2008-2020.

After organizing and structuring the data, the analysis fell on the municipalities of Ponte de Lima and Barcelos and the soil parameters were pH, organic matter, potassium, phosphorus, calcium, magnesium and the calcium/magnesium ratio.

Regarding the chemical parameters, a greater variability of the data was observed in the contents of organic matter, potassium, phosphorus and calcium/magnesium ratio in the municipality of Barcelos in the period 2008-2019. In the municipality of Ponte de Lima, in the period 2008-2020, there are several discrepancies that may be due to the results from experimental tests/experiments, and not from natural soils. In the context of current policies, the present work makes evident the need for samples that enter the laboratories for analysis, to have information that allows their georeferencing, for the creation of databases that allow the monitoring of soil quality and assist in the implementation measures adapted to the regions.

**Keywords:** *precision agriculture; spatial and temporal variability; soil analysis;*

## **Lista de abreviaturas**

% – Percentagem

Al – Alumínio

AP – Agricultura de precisão

Ca – Cálcio

CO<sub>2</sub> – Dióxido de carbono

CTC – Capacidade de troca catiónica

EDM – Entre Douro e Minho

GPS – Sistema de posicionamento global

H – Hidrogénio

K – Potássio

K<sub>2</sub>O – Óxido de potássio

Mg – Magnésio

Mn – Manganês

MO – Matéria orgânica

N – Azoto

Na – Sódio

P – Fósforo

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – Pentóxido de fósforo

pH – Potência de hidrogénio

S – Enxofre

SAU – Superfície Agrícola Utilizada

SIG – Sistema de informação geográfica

UE – União Europeia

## **Lista de Figuras**

Figura 2. 1. Relação entre a disponibilidade de nutrientes e o pH do solo. ....	7
Figura 2. 2. Processos biogeoquímicos e a sua relação com o pH do solo.....	9
Figura 2. 3. Atlas ilustrativo da qualidade do solo a nível mundial. ....	12
Figura 2. 4. Percentagem de contaminantes que afetam a matriz do solo. ....	14
Figura 2. 5. a) Representação dos pontos sistematicamente e b) aleatoriamente .....	17
Figura 2. 6. Representação do processo das amostras do método de grelha por malha. 17	
Figura 2. 7. Método direcionado com base em mapa de produtividade.....	18

Figura 4. 1. Mapa de densidade da proveniência das amostras de solos nos concelhos do Entre Douro e Minho.	23
Figura 4. 2. Percentagem de amostras por cultura entre 2008-2019 no concelho de Barcelos.	24
Figura 4. 3. Distribuição das texturas do solo entre 2008-2019 no concelho de Barcelos.	26
Figura 4. 4. Valores médios da pH no concelho de Barcelos entre 2008-2019. As barras verticais representam o erro padrão da média.	27
Figura 4. 5. Valores médios da matéria orgânica (%) no concelho de Barcelos entre 2008-2019. As barras verticais representam o erro padrão da média.	28
Figura 4. 6. Valores médios de potássio ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) no concelho de Barcelos entre 2008-2019. As barras verticais representam o erro padrão da média.	29
Figura 4. 7. Valores médios de fósforo ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) no concelho de Barcelos entre 2008-2019. As barras verticais representam o erro padrão da média.	30
Figura 4. 8. Valores médios de cálcio ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) no concelho de Barcelos entre 2008-2019. As barras verticais representam o erro padrão da média.	31
Figura 4. 9. Valores médios de magnésio ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) no concelho de Barcelos entre 2008-2019. As barras verticais representam o erro padrão da média.	32
Figura 4. 10. Valores médios da relação cálcio/magnésio ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) no concelho de Barcelos entre 2008-2019. As barras verticais representam o erro padrão da média.	33
Figura 4. 11. Percentagem de amostras por cultura entre 2008-2020 no concelho de Ponte de Lima.	34
Figura 4. 12. Distribuição das texturas do solo entre 2008-2020 no concelho de Ponte de Lima.	36
Figura 4. 13. Valores médios de pH no concelho de Ponte de Lima entre 2008-2020. As barras verticais representam o erro padrão da média.	37
Figura 4. 14. Valores médios de matéria orgânica (%) no concelho de Ponte de Lima entre 2008-2020. As barras verticais representam o erro padrão da média.	38
Figura 4. 15. Valores médios de potássio ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) no concelho de Ponte de Lima entre 2008-2020. As barras verticais representam o erro padrão da média.	39

Figura 4. 16. Valores médios de fósforo ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) no concelho de Ponte de Lima entre 2008-2020. As barras verticais representam o erro padrão da média.	40
Figura 4. 17. Valores médios de cálcio ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) no concelho de Ponte de Lima entre 2008-2020. As barras verticais representam o erro padrão da média.	41
Figura 4. 18. Valores médios de magnésio ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) no concelho de Ponte de Lima entre 2008-2020. As barras verticais representam o erro padrão da média.	42
Figura 4. 19. Valores médios da relação cálcio/magnésio ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) no concelho de Ponte de Lima entre 2008-2020. As barras verticais representam o erro padrão da média.	43
Figura 4. 20. Diferença temporal e espacial do pH nos concelhos de Barcelos e Ponte de Lima no período de 2008-2013 e 2014-2019/2020.	44
Figura 4. 21. Diferença temporal e espacial da matéria orgânica nos concelhos de Barcelos e Ponte de Lima no período de 2008-2013 e 2014-2019/2020.	45
Figura 4. 22. Diferença temporal e espacial do teor de potássio nos concelhos de Barcelos e Ponte de Lima no período de 2008-2013 e 2014-2019/2020.	46
Figura 4. 23. Diferença temporal e espacial do teor de fósforo nos concelhos de Barcelos e Ponte de Lima no período de 2008-2013 e 2014-2019/2020.	47
Figura 4. 24. Diferença temporal e espacial do teor de magnésio nos concelhos de Barcelos e Ponte de Lima no período de 2008-2013 e 2014-2019/2020.	48
Figura 4. 25. Diferença temporal e espacial do teor de cálcio nos concelhos de Barcelos e Ponte de Lima no período de 2008-2013 e 2014-2019/2020.	49
Figura 4. 26. Diferença temporal e espacial da relação cálcio/magnésio nos concelhos de Barcelos e Ponte de Lima no período de 2008-2013 e 2014-2019/2020.	50

## Lista de Quadros

Quadro 2. 1. Adições ao solo para modificar o pH .....	8
Quadro 4. 1. Tabela descritiva dos parâmetros físico-químicos das amostras de solo entre 2008-2019 no concelho de Barcelos.	25
Quadro 4. 2. Tabela descritiva dos parâmetros físico-químicos das amostras de solo entre 2008-2020 no concelho de Ponte de Lima. ....	35

## **1. Introdução**

O solo é um recurso natural indispensável tanto para o Homem como para os seres vivos. Este ocupa um cargo fundamental para a humanidade, pois auxilia a suprir necessidades básicas como alimentação, locomoção e lazer, mas também tem um papel fulcral na prestação de serviços dos ecossistemas (Santana *et al.*, 1999).

Pode definir-se solo como a camada superficial da crosta terrestre, composta por partículas minerais, matéria orgânica, água, ar e organismos (GPP, 2015).

Os solos desenvolvem propriedades físicas, químicas e biológicas que influem diretamente a sua produtividade. Os principais atributos físico-químicos relacionados com o solo são: textura, cor, densidade, porosidade, permeabilidade, estrutura, compactação, capacidade de água disponível, matéria orgânica, teor de nutrientes, capacidade de troca catiónica, grau de saturação em base e soma de base de troca, entre outros (Pereira, 2019).

O uso antropogénico dos solos causa a sua deterioração através de diversas formas de degradação, entre eles a erosão e a perda de matéria orgânica. De modo a evitar a degradação é necessário realizar uma avaliação do estado do solo que permita utilizar este de forma adequada e, consequentemente, uma gestão mais sustentável (Gutiérrez *et al.*, 2018).

Segundo Gabinete de Planeamento, Políticas e Administração Geral (GPP, 2015) os solos estão a sofrer uma degradação crescente tanto a nível europeu como global, sendo necessário adotar soluções tecnológicas que sejam capazes de impulsionar um melhoramento no potencial dos nossos solos.

A agricultura de precisão consiste na utilização de tecnologias que visam gerir a variabilidade espacial e temporal relacionados com todos os aspetos da produção agrícola, com os principais objetivos de aumentar o rendimento dos agricultores através da diminuição dos custos de produção e o aumento da produtividade das culturas, e reduzir o impacto ambiental resultante da atividade agrícola (Coelho e Silva, 2009).

Neste contexto, a agricultura de precisão procura com mais detalhe informações sobre as condições do solo, de modo que o agricultor tome decisões acertadas. A georreferenciação de amostras de solo permite conhecer as variações que este tem nas

áreas cultivadas e ajuda na intervenção localizada através de aplicação de taxa variável de fatores de produção.

Segundo Gebbers e Adamchuk (2010) e Telabpour *et al.*, (2015) existe uma necessidade crescente de conservar os atributos do solo e o potencial de produção e que ao mesmo tempo ampare o serviço de ecossistemas, o que faz da agricultura de precisão um percurso possível para atender às ambições globais.

O presente trabalho teve como objetivo principal a estruturação da base de dados dos resultados das análises de solos efetuadas pelo laboratório de solos da Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Viana do Castelo, no período de 2008-2020. Outros objetivos deste trabalho foram: i) conversão dos dados analógicos em geoespaciais; ii) análise e evolução multitemporal dos parâmetros físico-químicos do solo, com particular destaque das amostras provenientes do Entre Douro e Minho; iii) variação temporal dos parâmetros físico-químicos no concelho de Barcelos no período de 2008-2013 e 2014-2019.

## **2. Revisão Bibliográfica**

### **2.1. Indicadores físicos, químicos e biológicos de qualidade dos solos**

Existe uma complexidade em definir solo de uma forma concisa pelo que pode dizer-se que solo é o meio natural de onde as plantas retiram a água e os nutrientes que necessitam para crescer. De acordo com Costa (2011), solo é um corpo vivo e dinâmico formado à superfície da crosta terrestre a partir da alteração da rocha mãe sob a influência do clima, relevo e organismos. Para além disso, tem um papel fulcral na prestação de serviços no ecossistema e fornece alimento ao Homem e animais. Porém, o uso antrópico do solo provoca deterioração de variadas formas, entre elas a perda de matéria orgânica e a erosão. Para evitar essas perdas é necessário avaliar as suas condições, de forma a aplicar as técnicas mais adequadas e fazer uma gestão sustentável deste recurso (Gutiérrez *et al.*, 2018).

Segundo Vilela (2017) citando Cardoso que em comunicação ao 1º Congresso da Agricultura Portuguesa constatou que a maioria dos solos portugueses deverão ser usados na prática da silvicultura e em atividades com ela relacionadas, abrangendo a silvopastorícia e a floresta mediterrânica, uma vez que o solo em Portugal é um recurso escasso, e com muitas restrições à sua utilização. No Nordeste Transmontano, aproximadamente 75% dos solos são bastante delgados, com uma espessura inferior a 30 cm (Leptossolos), com alta pedregosidade e escassos em matéria orgânica (Agroconsultores & Coba, 1991 citado por Vilela, 2017).

Devido às ações antrópicas e às alterações climáticas, o solo sofreu ao longo dos anos várias mudanças que comprometeram as suas funções. Nesse sentido, diversos investigadores realizaram estudos sobre a qualidade dos solos, analisando os seus indicadores físicos, químicos e biológicos. Araújo *et al.*, (2012), salientaram que a qualidade dos solos não pode ser medida diretamente pois é necessário um número plausível de variáveis, mas pode ser estimada através de indicadores de qualidade do solo.

Santana *et al.*, (1999) caracterizaram a qualidade do solo como sendo a capacidade do solo de exercer várias funções, dentro dos limites do uso da terra e do ecossistema, para sustentar a produtividade biológica, manter ou melhorar a qualidade ambiental e contribuir para a saúde das plantas, dos animais e humana.

Reichert *et al.*, (2003) mencionaram que atualmente a visão predominante de qualidade do solo refere-se à dinâmica dos solos que é influenciada pelo uso e práticas realizadas pelo Homem, e que o melhor indicador de qualidade é a matéria orgânica, pois esta relaciona-se com diversas propriedades físicas, químicas e biológicas.

Os indicadores de qualidade são propriedades, processos e atributos que podem ser avaliados para acompanhar mudanças na qualidade do solo (Santana *et al.*, 1999). Os indicadores físicos do solo estão relacionados com o crescimento radicular, conservação e provisionamento de água e nutrientes, trocas gasosas e atividade biológica (Araújo *et al.*, 2012). As duas propriedades com mais importância são a textura e a estrutura do solo. Segundo Alvarez e Steinbach (2006), a textura é determinada com base na disposição do tamanho das partículas e a estrutura é definida pela combinação das partículas em agregados. Araújo *et al.*, (2012) consideram que as propriedades físicas que devem ser consideradas como indicadores de qualidade são a textura, estrutura, densidade do solo, porosidade, condutividade hidráulica, capacidade de retenção de água, resistência à penetração e estabilidade dos agregados.

Os indicadores químicos do solo podem ser agrupados em quatro classes distintas: aqueles que demonstram os processos do solo (pH, matéria orgânica), aqueles que indicam a capacidade do solo de resistir à troca de cátions (tipo de argila, capacidade de troca catiónica), aqueles que designam as carências nutricionais das plantas (azoto, magnésio, cálcio, potássio, etc) e aqueles que indicam contaminação e/ou poluição (metais pesados, nitratos, fosfatos, etc) (Gomes e Filizola, 2006).

Santana *et al.*, (1999) mencionam que os indicadores químicos compreendem medições de pH, salinidade, matéria orgânica, capacidade de troca catiónica e concentração de componentes que podem ser bastante contaminantes ou aqueles que são fundamentais para o crescimento e desenvolvimento das plantas. A relação solo-planta, a qualidade da água, a disponibilidade de água e nutrientes para as plantas são influenciadas pelas propriedades químicas do solo.

Os indicadores biológicos do solo abrangem a medição da biomassa microbiana do solo, do azoto mineralizável, da atividade enzimática. As medidas de taxas de decomposição de resíduos também podem auxiliar como indicadores biológicos de qualidade do solo segundo Santana *et al.*, (1999).

### **2.1.1. Matéria orgânica do solo**

O solo é composto por matéria mineral proveniente da rocha-mãe e por matéria orgânica (MO) (Brito, 2017a) que possui uma diversidade de organismos vivos, tecidos mortos vegetais e animais em variados estágios de decomposição e ainda uma mistura de materiais orgânicos já decompostos ou sintetizados, designados de húmus, que representa cerca de 60 a 80% da MO dos solos (Varennnes, 2003).

Varennnes (2003) destaca que normalmente, a MO caracteriza-se por 1 a 6% da massa total da camada arável de um solo e, que influencia de forma direta tanto nas qualidades físicas como nas químicas e biológicas. Nesse sentido, a MO tem um papel fundamental no solo, pois produz melhorias na produtividade deste.

Porém, é de realçar que o teor de MO está dependente de fatores climáticos, edáficos e antropomórficos, tais como: o tipo de solo e clima, a intensidade e profundidade de mobilização do solo, a rotação de culturas, a quantidade e qualidade dos corretivos e resíduos orgânicos incorporados ou deixados à superfície do solo, a atividade biológica do solo, entre outras (Brito, 2017b).

Existem técnicas culturais que conduzem a perdas de MO como é o caso das mobilizações, mas também existem perdas por erosão do solo, lixiviação de MO solúvel e mineralização da MO, que devem ser equilibradas através de práticas agrícolas (Brito, 2017b).

As práticas agrícolas que promovem a manutenção dos solos e o aumento do teor da MO são a rotação e consociação de culturas, incorporação de resíduos de culturas anteriores, aplicação de estumes ou outros fertilizantes orgânicos, manutenção do solo sempre coberto com vegetação e utilizar pastagens temporárias (Brito, 2017b).

Aumentar o teor de MO envolve aumentar os ganhos e diminuir as perdas, contudo temos de ter em conta que a ação do Homem condiciona tanto os ganhos como as perdas (Carvalho, 2019).

Em Portugal, no enquadramento do Programa de Desenvolvimento Rural e/ou dos programas apoiados pelo Fundo Português de Carbono, existem práticas que ao longo dos tempos têm alcançado especial atenção: a sementeira direta, a sementeira de pastagens semeadas biodiversas e o controlo de matos em áreas de montado com recurso a procedimentos que não envolvem a mobilização do solo (Terraprima, s/d).

Segundo Carvalho *et al.*, (2012), ensaios realizados revelaram que existe um aumento de 18% da MO do solo devido à sementeira direta face à mobilização e de 62% se forem também deixadas as palhas.

Howard (2012) realça que, apesar da MO se encontrar em pequenas quantidades nos solos minerais, esta é fundamental no melhoramento da fertilidade e aumento da produtividade das culturas. A MO é detentora de um elevado poder tampão, impede alterações de pH, ajuda na subida da retenção de água e da capacidade de troca catiónica forma macroporos através da agregação do solo, onde a água e o ar circulam de forma simplificada e, também, reduz as perdas de solo e nutrientes provocadas pela erosão (Fernandes *et al.*, 2009). Para além das influências que a MO tem no solo, esta constitui a maior reserva de CO<sub>2</sub>, atuando como um regulador do CO<sub>2</sub> na atmosfera (Fonseca *et al.*, 2017).

Segundo Lopes e Guilherme (2007) o declínio da MO deve-se maioritariamente a práticas culturais coma a adoção do cultivo intensivo ao invés do cultivo mínimo ou sementeira direta. As práticas agrícolas intensivas levam a uma queda rápida de MO, sendo esta o indicador mais simples para avaliar a qualidade de um solo e, conseqüentemente, dos ecossistemas. Sendo o solo a superfície ambiental primária que sustenta a agricultura e a subsistência do ser humano é imprescindível manter e aumentar o teor de MO no solo de modo a evitar a diminuição da fertilidade, garantir a sua qualidade e o seu funcionamento (Lopes e Guilherme, 2007).

### **2.1.2. pH do solo**

O potencial hidrogénico ou pH é uma propriedade química essencial dos solos que determina tanto o comportamento como a evolução dos componentes químicos deste (Calvo,1999). Os valores de pH estão relacionados com a concentração de iões H<sup>+</sup> e OH<sup>-</sup>. Quanto maior a concentração de H<sup>+</sup> menor é o pH e quanto maior a concentração de OH<sup>-</sup> maior é o pH. Os solos podem ser referidos como ácidos, neutros ou alcalinos, consoante os seus valores de pH em uma escala que varia entre 0 e 14 (McCauley *et al.*, 2009).

O nível de pH desejado para o desenvolvimento da maioria das culturas está situado entre a faixa dos 6,0 a 7,0, no entanto estes valores variam de cultura para cultura. Este influencia na produtividade dos solos e na eficiência com que as plantas assimilam os nutrientes de que necessitam, por isso a determinação do pH é de extrema importância para estabilizar um solo.

A disponibilidade da maioria dos nutrientes essenciais para o normal desenvolvimento das plantas depende do pH do solo (Figura 2.1).

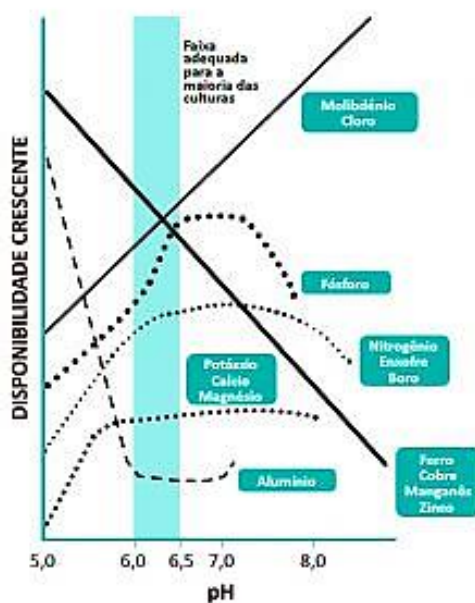


Figura 2. 1. Relação entre a disponibilidade de nutrientes e o pH do solo (Ucanorte, s/d).

A acidez ou alcalinidade de um solo podem originar diversos problemas para as plantas. Os solos ácidos libertam metais tóxicos e pesados, reduzem a disponibilidade de nutrientes e diminuem o ritmo da mineralização da MO. Por outro lado, a adição de determinados fertilizantes inorgânicos aos solos pode provocar uma diminuição do pH. Existem diversos métodos para proceder à correção do pH (Quadro 2.1). No caso dos solos ácidos, o método de correção mais utilizado é a calagem, ou seja, a adição de cal ao solo em forma de carbonato de cálcio, cal viva, entre outros. No que diz respeito aos solos alcalinos o método mais comum é adicionar MO, tendo em conta que a sua decomposição ajuda a mobilizar o cálcio (Calvo, 1999).

Quadro 2. 1. Adições ao solo para modificar o pH (Adaptado de Calvo, 1999).

<b>Tipo de solo</b>	<b>Matéria a adicionar</b>
<b>Solos alcalinos</b>	Turfa ácida
	Enxofre
	Muito frequentemente Fe, Zn, Mn, Cu, B
	Ureia
	Sulfato de amónio
	Cloreto de amónio
<b>Solos ácidos</b>	Cal (óxido)
	Cal (hidróxido)
	Carbonato de cálcio
	Carbonato de magnésio
	Cianamida de cálcio
	Escórias básicas
	Estrume
<b>Geral</b>	Fertilizantes potássicos: não alteram a acidez do solo
	Superfosfatos: não alteram a acidez do solo
	Rochas fosfatadas: não alteram a acidez do solo
	Fertilizantes amoniacais: tendem a acidificar
	Nitratos: reduzem a acidez

O pH do solo é influenciado por ácidos e iões formadores de bases de solo. Os catiões formadores de ácidos mais comuns são hidrogénio ( $H^+$ ), alumínio ( $Al^{3+}$ ) e ferro ( $Fe^{2+}$  ou  $Fe^{3+}$ ), enquanto os catiões formadores de base mais comuns são cálcio ( $Ca^{2+}$ ), magnésio ( $Mg^{2+}$ ), potássio ( $K^+$ ) e sódio ( $Na^+$ ) (McCauley *et al.*, 2009). Neina (2019), refere que o pH do solo é controlado pela lixiviação de catiões básicos.

Tanto a biologia do solo como os processos biológicos são controlados pelo pH e, por conseguinte, existe uma relação bidirecional entre o pH e os processos biogeoquímicos em ecossistemas, principalmente no solo. Nesse sentido, o pH influencia vários processos biogeoquímicos e vice-versa (Figura 2.2) (Neina, 2019).



Figura 2. 2. Processos biogeoquímicos e a sua relação com o pH do solo (Adaptado Neina, 2019)

Os processos biogeoquímicos e a sua relação com o pH do solo influem substancialmente na saúde do solo. Neina (2019) revela que esse relacionamento fornece conhecimentos para aplicações futuras para aumentar o rendimento e crescimento de determinadas culturas através da reciclagem e disponibilidade de nutrientes.

### 2.1.3. Nutrientes minerais do solo

Todas as plantas necessitam de um conjunto de elementos minerais para se desenvolverem, sendo que estes estão distribuídos em dois grupos: os macronutrientes que estão subdivididos em principais e secundários e os micronutrientes (Santos, 2015).

Os nutrientes primários mais requeridos pelas plantas são o azoto, o fósforo e o potássio, sendo estes os que mais limitam o crescimento das plantas. Os nutrientes secundários são o cálcio, o magnésio e o enxofre. Estes nutrientes também são fulcrais para o solo e para o crescimento das culturas, porém não necessitam de quantidades tão elevadas em relação aos nutrientes primários. Os micronutrientes são o boro, o cobre, o ferro, o manganês, o molibdénio e o zinco (Barros, 2020; Santos, 2015).

O azoto (N) é responsável pela cor verde das folhas (Arrobas, 2010) e é fundamental para a formação das proteínas, que são imprescindíveis para a vida das plantas e animais. O N atua em todas as fases de desenvolvimento da planta (crescimento, floração e frutificação) (Barros, 2020) e é o nutriente que mais efeitos visíveis tem na planta (Arrobas, 2010). O N pode ser assimilado nas suas duas formas iónicas, nítrica e amoniacal.

O fósforo (P) atua na produção de energia e a nível de respiração, mas também no aumento da divisão celular. O P facilita a floração, aumenta a frutificação e antecipa a maturação. Este contribui para o crescimento do sistema radicular e encontra-se no solo sob a forma de fosfatos e é absorvido através do ião ortofosfato primário e secundário (Barros, 2020). A disponibilidade do elemento P não depende apenas da quantidade presente no solo, mas também do pH. Um pH elevado ou baixo influencia a hipótese de absorção deste nutriente pelas raízes (Arrobas, 2010).

O potássio (K) é indispensável para a geração e maturação dos frutos, aumenta a rigidez dos tecidos e a resistência das plantas às doenças e pragas (Barros, 2020). Este elemento auxilia as plantas a manterem-se hidratadas e torna-as resistentes à escassez de água no solo (Arrobas, 2010). É absorvido pelas plantas sob a sua forma iónica de  $K^+$  (Barros, 2020).

O cálcio (Ca) contribui para o fortalecimento de todos os órgãos das plantas, primordialmente das raízes e folhas. É absorvido sob a forma iónica de  $Ca^{2+}$  (Barros, 2020).

O magnésio (Mg) está diretamente relacionado ao metabolismo energético das plantas pois, este nutriente é parte integrante da molécula da clorofila. A forma iónica em que é absorvido é  $Mg^{2+}$  (Barros, 2020).

O enxofre (S) é um nutriente pouco móvel e encontra-se maioritariamente na constituição das proteínas relacionadas ao azoto (Barros, 2020).

A disponibilidade dos nutrientes é afetada por diversos fatores como: pH do solo, CTC, MO presente no solo. O pH afeta a disponibilidade de todos os nutrientes, principalmente de P como já foi referido anteriormente. A maioria dos nutrientes apresenta um máximo de disponibilidade com pH entre 6 e 7,5. Para além de afetar a disponibilidade dos elementos nutricionais, o pH também influi a toxicidade de determinados nutrientes. É de extrema importância realizar análises de solo para proceder à correção do pH de modo que a mobilização de macro e micronutrientes seja favorável. A CTC é um fenómeno

essencial no apoio na fase de crescimento das plantas. O facto de os materiais orgânicos e minerais estarem continuamente carregados negativamente, possibilita-lhes adsorver cationes por troca. A CTC diminui a possibilidade desses cationes serem lixiviados e aumenta a concentração de nutrientes no solo para as plantas. A CTC no solo é reduzida e, com valores de pH bastante baixos, este não tem capacidade para segurar os nutrientes. Em relação à MO presente no solo, esta promove o desenvolvimento de poros no solo desencadeados pela agregação de partículas, que facilitam a infiltração de água, as deslocções gasosas, a penetração radicular e a resistência à erosão do solo. A MO é responsável por diminuir a toxicidade de elementos como alumínio (Al) e o manganês (Mn) (Ribeiro, 2013).

Do ponto de vista nutricional, a extração de nutrientes do solo não ocorre de forma constante ao longo do ciclo da planta. Deste modo é necessário introduzir fertilizantes que visam fornecer nutrientes para o desenvolvimento das plantas e assim, aumentar a sua produção (Barros, 2020).

#### **2.1.4. Principais pressões/ameaças sobre os solos**

O meio principal para o crescimento e desenvolvimento das plantas é o solo. Uma boa qualidade e funcionamento do solo é fulcral para garantir a capacidade de produção de ecossistemas e preservação de outros serviços ambientais como o fluxo e qualidade da água, biodiversidade e o equilíbrio dos gases da atmosfera (Lopes e Guilherme, 2007).

O solo é reconhecido como a camada superficial da crosta terrestre, a interface entre a atmosfera, hidrosfera e geosfera (Dinis e Fraga, 2005). É um meio bastante complexo, variável e vivo, podendo considerar-se um recurso não renovável, tendo em conta que a sua constituição é um procedimento extremamente moroso. O solo produz alimento, biomassa, matérias-primas, servindo como plataforma para as atividades humanas e paisagísticas e é o maior reservatório de carbono do mundo. Tanto na União Europeia (UE) como a nível global (Figura 2.3), os solos estão a sofrer gradualmente uma deterioração (GPP, 2015).

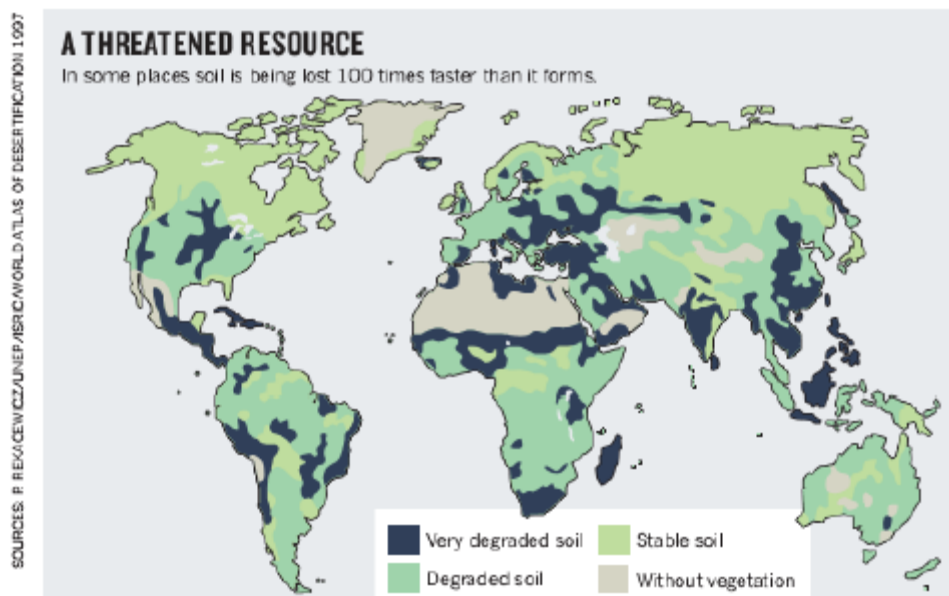


Figura 2. 3. Atlas ilustrativo da qualidade do solo a nível mundial (Banwart, 2011).

Segundo a Carta Mundial do solo (FAO, 2015b) os solos são essenciais para a vida na Terra, contudo, as pressões humanas sobre os recursos do solo estão a chegar a limites críticos. O manuseamento prudente do solo é um componente fundamental da agricultura sustentável, e também provê uma alavanca importante para a regulação do clima e um caminho para a proteção dos serviços de ecossistemas e biodiversidade.

O facto de os solos se estarem a degradar, afeta negativamente o papel que estes têm na produção de alimentos, na atenuação das mudanças climáticas, na proteção da biodiversidade e no combate à desertificação. Os solos pobres em MO e pouco estruturados não conseguem armazenar água de forma eficiente, o que torna difícil a acomodação às condições climáticas extremas, sejam elas secas ou chuvas torrenciais (GPP, 2015).

Segundo a CCE (2006), nas últimas décadas verificou-se um aumento significativo nos processos de degradação dos solos e, se não forem tomadas medidas preventivas, a degradação irá aumentar cada vez mais.

Entende-se por degradação, de acordo com a FAO e a *Comission of the European Communities* (2002), como uma alteração de qualidade, que leva ao decréscimo da aptidão do ecossistema em fornecer bens e serviços para os seus beneficiários.

O solo está submetido a pressões ambientais crescentes, resultantes e/ou agravadas pelas atividades humanas tais como: práticas agrícolas e silvícolas, atividades industriais, turismo ou desenvolvimento urbano inadequados. Todas estas atividades estão a prejudicar a capacidade que o solo tem para desempenhar em pleno as variadas funções cruciais. A Comissão das Comunidades Europeias identificou oito principais ameaças que são as principais causas da degradação dos solos: erosão, diminuição da MO, contaminação, salinização, compactação, perda de biodiversidade, impermeabilização e desabamento de terras e inundações (CCE, 2006).

O processo de erosão do solo atua de forma gradual devido à ação do vento ou pela água. Contudo, Costa (2004) refere que a intervenção do Homem através da utilização dos solos, provoca muitas vezes uma aceleração dos fenómenos erosivos, podendo dizer-se que a erosão acelerada ou erosão do solo começou com a agricultura.

Portugal possui solos pouco desenvolvidos, delgados e com baixa percentagem em MO e nutrientes, que têm vindo a ser ao longos dos anos degradados. Segundo a Resolução do Conselho de Ministros n.º 78/2014, aproximadamente 32,6% dos solos do território nacional português estão classificados como degradados. Portugal foi classificado como um dos países mais afetados pelo fenómeno de erosão, mas também, de desertificação. Este fenómeno acontece desde há muitos anos e de forma quase impercetível e “silenciosa”, porém, começou a causar interesse mundialmente devido à grave situação em que os solos se encontram. Como já foi referido anteriormente, a formação de solo é um processo lento e como tal não existe uma solução única para a degradação, apesar de já terem sido realizados vários estudos a nível mundial com o principal objetivo de reverter a erosão. Esses estudos visam a criação de instrumentos que possibilitam estimar o estado de degradação, bem como um registo de “sinais de alerta”, que permitem detetar e diagnosticar atempadamente tais fenómenos (Machado, 2018).

Para além da erosão, também a contaminação do solo afeta os seres vivos, o ambiente, a matriz do solo (Figura 2.4) e reduz a segurança alimentar, pois diminui o rendimento das plantas devido aos níveis tóxicos de contaminantes que fazem com que as colheitas das culturas não sejam seguras para consumo (FAO, 2015c). A contaminação do solo é causada particularmente por atividades humanas desordenadas como contaminação industrial, desmatamento de árvores, aplicação em demasia de fertilizantes e pesticidas e poluição do lixo (AmbScience, s/d).

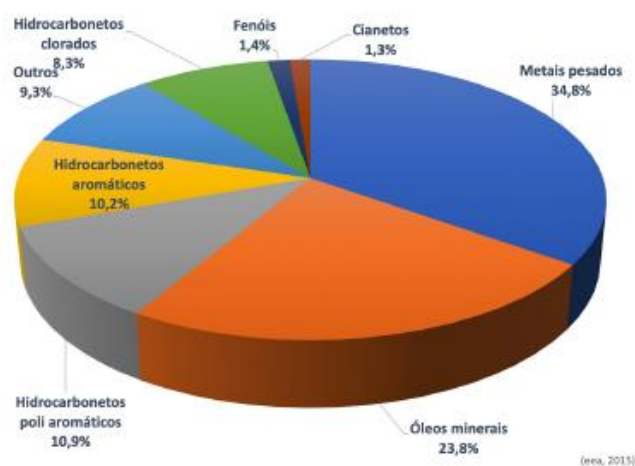


Figura 2. 4. Percentagem de contaminantes que afetam a matriz do solo (Gomes e Lanceiro, 2019).

Outra ameaça e causa de degradação do solo é a salinização. Existem dois tipos de salinização: salinização primária, sendo os solos naturalmente salinos, e a salinização secundária que é causada pelo manuseio desadequado como é o caso dos programas de irrigação. A salinização está associada a zonas áridas e semiáridas (FAO, 2015c).

A compactação do solo afeta as suas funções, apresentando limitações na troca de água e gases, mas também a penetração das raízes da planta (FAO, 2015c). Este processo ocorre maioritariamente na agricultura pois, com o uso de tratores e máquinas agrícolas pesadas, mas também dos animais a pisar o solo irá influenciar negativamente as plantas. Nos locais onde ocorre compactação poderá existir uma diminuição do rendimento, mas não suprime na totalidade o crescimento da planta. Devido a este processo existe uma diminuição da circulação da água pelo solo, onde esta não se infiltra e provoca escorrência superficial (Globo Rural, 2014). Adotar práticas culturais e realizar um bom manejo do solo são medidas que previnem a compactação (FAO, 2015c).

O declínio da MO e da biodiversidade do solo estão ambos ligados. Com uma gestão que não é sustentável dos solos estes são conduzidos a uma perda de MO que ameaça a fertilidade do solo (GPP, 2015) e, consequentemente, dos organismos que dependem da MO para sobreviverem (Florestas, 2021). A biodiversidade faculta diversos serviços fundamentais, desde a libertação de nutrientes sob formas que podem ser aproveitadas pelas plantas como também a purificação da água através da eliminação de contaminantes e organismos patogénicos (GPP, 2015).

Embora a Estratégia Temática de Proteção do Solo da CCE (2006) tenha chamado a atenção para todas estas questões que afetam os solos, o conhecimento sobre o estado e qualidade do solo continua a ser incompleto e a sua proteção não é efetuada de forma eficiente e coerente (GPP, 2015).

## **2.2. Importância da georreferenciação como suporte da análise de solos**

Embora seja recente, a introdução de novas tecnologias têm possibilitado conhecer profundamente as circunstâncias do meio em que as culturas se desenvolvem mas também, monitorizar o seu desenvolvimento. O avanço das novas tecnologias no setor agrícola é inevitável. Com esse avanço haverá uma maior probabilidade de utilização do solo de maneira mais correta e eficaz (Santos, 2009).

Atualmente, as tecnologias disponíveis envolvem sistemas de colheita e tratamento de dados, assim como de controlo automático de equipamentos. A informação é adquirida através de sensores associados a sistemas de GPS, que posicionam geograficamente os dados e os equipamentos, sendo que a sua gestão é georreferenciada e efetuada com sistemas de informação geográfica (SIG). A aplicação de sensores possibilita a medida, com precisão, a variabilidade dos dados relacionados com a cultura e solo e os SIG permitem o armazenamento, processamento, análise e síntese dos dados relativos à variabilidade espacial (Santos, 2009).

Para fazer face à variabilidade do meio, é essencial criar um novo tipo de agricultura, designada agricultura de precisão (AP). A AP utiliza técnicas tendo em conta o solo, o tipo de cultura e o espaço para alcançar um melhor rendimento da cultura (Santos *et al.*, 2017). Coelho e Silva (2009) mencionam que existem diversas definições para o conceito de AP, mas propõem de forma simples e abrangente o seguinte: «A Agricultura de Precisão envolve a aplicação diferenciada e à medida dos fatores de produção, tendo em conta a variação espacial e temporal do potencial do meio e das necessidades específicas das culturas, de forma a aumentar a sua eficiência de utilização e, assim, melhorar o rendimento económico e reduzir o impacto ambiental da atividade agrícola».

A AP é uma estratégia de gestão que tem em consideração a variabilidade temporal e espacial para aperfeiçoar a sustentabilidade da produção agrícola (ISPA, s/d). Segundo Coelho e Silva (2009), o conceito de AP está relacionado com o uso de equipamento de alta tecnologia, seja ele *hardware* ou *software*, para avaliar ou supervisionar as condições de determinada parcela, aplicando posteriormente de forma apropriada e diferenciada os

variados fatores de produção como sementes, fertilizantes, agroquímicos, água, entre outros. Santos (2009) refere que na agricultura convencional a variabilidade é considerada entre as parcelas enquanto, na AP é analisada no interior das parcelas, de modo a entender o impacto e decidir de forma acertada como realizar as operações culturais e, se aplicar forma correta e diferenciada os fatores de produção.

A AP tem como principal objetivo gerir, com coerência, a variabilidade espacial das características das parcelas, características essas que estão associados ao tipo de solo, capacidade de armazenamento de água, teor de nutrientes, pH e MO. Porém, existem outras características que não estão relacionadas ao tipo de solo, mas que também são responsáveis pela variabilidade espacial da produtividade das culturas como é o caso do declive, exposição solar e existências de pragas e/ou doenças.

A variabilidade também pode ser temporal, e existem certas variáveis que pouco ou nada se alteram no decorrer do tempo como é o caso do pH do solo (Coelho e Silva, 2009). Já o teor em água do solo altera-se rapidamente. É extremamente importante realizar estimativas da variabilidade dessas características e atender à taxa de variação. Todo o processo de supervisionamento das características de determinada parcela deve ter especial atenção sobre ambas as variabilidades, espacial e temporal (Coelho e Silva, 2009). Os mesmos autores referem que em Portugal existe uma grande variabilidade espacial dos solos, e perante esse panorama é essencial efetuar análises de solo, mesmo que em pequenos terrenos.

Na AP as amostras de solo georreferenciadas são uma informação fundamental. Estas permitem criar mapas de diversos parâmetros relativamente à fertilidade do solo e intervir de forma localizada, visando assim a otimização do uso de corretivos e fertilizantes através da aplicação de taxa variável (Resende e Coelho, 2017).

A amostragem tradicional diferencia-se da amostragem georreferenciada. Enquanto a primeira trabalha com base em médias de poucas amostras, a segunda leva em consideração a variabilidade espacial e temporal do solo, ambiente e plantas com recurso a um maior número de amostras. Contudo, a elaboração errada de uma amostra georreferenciada poderá afetar negativamente na tomada de decisão final, pois as distorções dos mapas de atributos do solo irão fazer com que as práticas culturais não vão de encontro com a variabilidade real existente naquele ambiente (Resende e Coelho, 2017).

Existem três métodos possíveis para realizar a amostragem de solo georreferenciada: o método de grelha por ponto, o método de grelha por malha e o método direcionado.

No método de grelha por ponto é utilizado um SIG, onde se produzem na parcela grelhas através da criação polígonos regulares e define-se um ponto amostral, que poderá ser sistemático se estiver no centro ou aleatório se, se encontrar numa posição aleatória dentro do polígono (Colaço e Molin, 2014), como se pode verificar na figura 2.5.

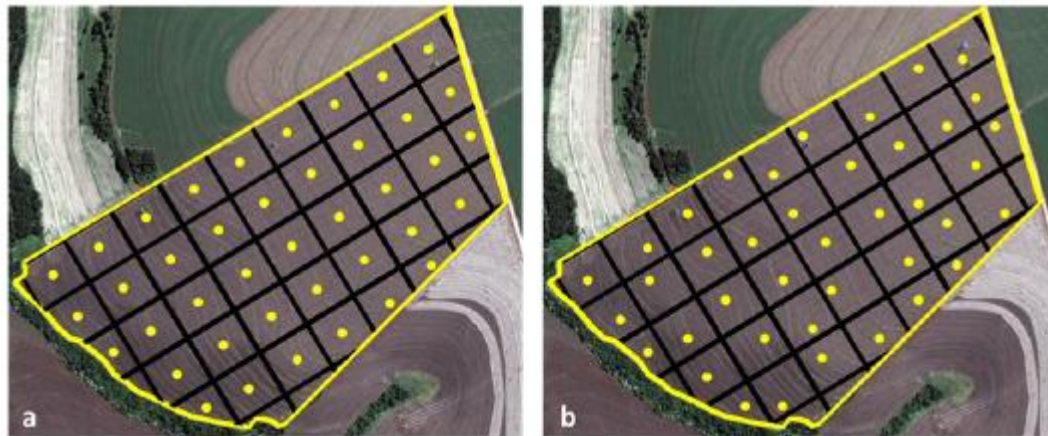


Figura 2. 5. a) Representação dos pontos sistematicamente e b) aleatoriamente (Colaço e Molin, 2014).

No método de grelha por malha, a parcela é dividida em subáreas, podendo estas ser regulares ou irregulares, em que cada subárea corresponde a uma malha. Efetua-se a recolha de subamostras ao longo de toda a malha. Após esse procedimento executa-se uma homogeneização das subamostras e irá ser gerada uma amostra composta. O resultado da análise é atribuído a toda a área da malha (Figura 2.6) (Colaço e Molin, 2014).

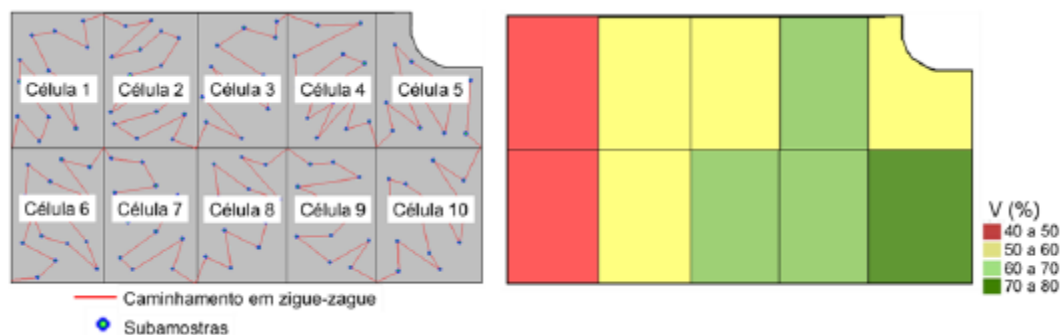


Figura 2. 6. Representação do processo das amostras do método de grelha por malha (Colaço e Molin, 2014).

No método direcionado (Figura 2.7.), não há uma ordem regular dos pontos da amostragem. Estes são selecionados com o apoio de mapas já existentes da parcela, com a intenção de procurar locais específicos tendo em conta os resultados obtidos, como por exemplo de mapas de produtividade, índices de vegetação, relevo, textura, entre outros (Colaço e Molin, 2014).

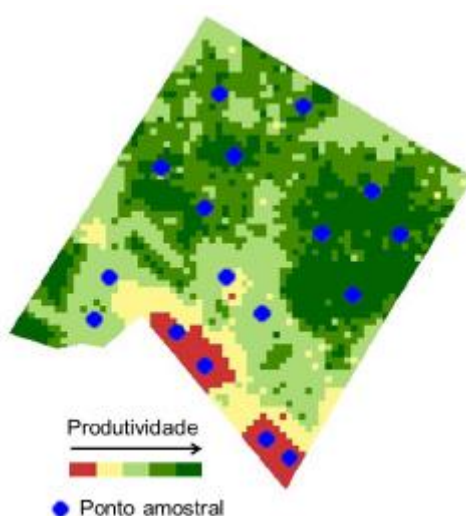


Figura 2. 7. Método direcionado com base em mapa de produtividade (Colaço e Molin, 2014).

Conhecer a variabilidade dos atributos do solo é um passo fundamental para que se implemente práticas culturais adequadas.

Canzian *et al.* (1999) citado por Tschiedel e Ferreira (2002) relatam que alguns campos são uniformes, mas outros exibem alterações no tipo de solo, fertilidade, entre outros fatores que afetam a produção. Ao pudermos medir e registar a variabilidade da parcela, essas informações irão ser utilizadas para otimizar as aplicações de insumos e, consequentemente, o seu rendimento.

Gentil e Ferreira (1999) citado por Tschiedel e Ferreira (2002) referem que a AP traz grandes benefícios tais como: diminuição dos custos de produção, tomada de decisão rápida e correta, controlo da situação através do uso da informação, maior produtividade, mais tempo livre para o agricultor e promoção de um meio ambiente melhor.

### 3. Materiais e Métodos

#### 3.1. Área de estudo

O presente trabalho teve por base todas as amostras de solo cedidas pelo laboratório de solos da Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Viana do Castelo (ESA-IPVC).

Como foram obtidas uma grande diversidade de amostras, restringiu-se os dados à região agrícola do Entre Douro e Minho (EDM) pertencente à NUT III por uma questão de proximidade de localização e por nuvem de dados, pois é nesta região onde existe um maior número de informação para o propósito deste estudo.

Existem seis tipos de solo que são predominantes na zona do EDM, sendo estes os seguintes: antrossolos, arenossolos, cambissolos, fluvisolos, leptossolos e regossolos.

Segundo a *Base Referencial Mundial del Recurso Suelo* da FAO (2015a), os seis tipos de solo são descrevem-se da forma abaixo mencionada.

Os Antrossolos abrangem solos que foram alterados através de práticas desenvolvidas pelo Homem tais como: incorporação de MO ou mineral, carvão, detritos vegetais ou domésticos, rega contínua e cultivo. Encontram-se em ambientes com áreas agrícolas na qual foi praticada agricultura durante longos períodos (FAO, 2015a).

Os Arenossolos compreendem solos arenosos profundos que incluem solos de areia residual após intemperismo in situ de sedimentos ou rochas em geral ricas em quartzo assim como, solos de areias recentemente depositadas como dunas em desertos e praias. Encontram-se em ambientes com condições climáticas diversas, desde áridas a muito húmidas, com variadas geoformas e cobertura vegetal (FAO, 2015a).

Os cambissolos são solos em início de formação, ou seja, incluem solos com a formação de pelo menos um horizonte subsuperficial incipiente. A transformação do material de origem é visível pela constituição da estrutura, tonalidade acastanhada e percentagem de argila (FAO, 2015a). O nome cambissolo vem do latim *cambiare* que significa mudança (Lepsch, 2010). Encontram-se em ambientes com uma grande variedade de contextos climáticos, geomorfológicos e de tipos de vegetação (FAO, 2015a).

Os fluvisolos são solos geneticamente jovens em depósitos de rios e/ou lagos. Apesar do nome, os fluvisolos não se restringem aos sedimentos fluviais, mas também aparecem

em depósitos marinhos e lacustres. Encontram-se em ambientes como: planícies e leques aluviais, fundos de vale e áreas pantanosas, com condições climáticas muito variadas e frequentemente relacionados a áreas com cheias cíclicas (FAO, 2015a).

Os leptossolos compreendem solos limitados em profundidade, por rocha contínua e que são excessivamente ricos em fragmentos grossos. São particularmente comuns em regiões montanhosas. Encontram-se em ambientes que abrangem todas as condições climáticas, nomeadamente em áreas de altitude média a alta onde a erosão é intensa (FAO, 2015a).

O regossolos são solos pouco desenvolvidos em materiais inconsolidados que carecem de um horizonte mólico ou úmblico, não são muito delgados ou muito ricos em fragmentos grossos, nem são arenosos, nem com materiais flúvicos. Estes tipos de solos são muito extensos em terras que sofreram efeitos de erosão e zonas de acumulação. Encontram-se em todas as zonas climáticas sem permafrost e são comuns principalmente em zonas áridas e montanhosas (FAO, 2015a).

### **3.2. Métodos de análise de solo**

Os parâmetros do solo tratados neste trabalho que foram analisados pelo laboratório de solos da ESA-IPVC foram o pH, teor de matéria orgânica, teores de Ca e Mg, teores  $P_2O_5$  e  $K_2O$  extraíveis e ainda foi caracterizada a textura manual do solo (Anexo I).

Os parâmetros do solo foram determinados através do Método Interno dos Serviços Técnicos do Laboratório da Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Viana do Castelo sendo que existiram ajustes relativos às análises nomeadamente com padrões, calibrações e condições de espectrofotometria.

A determinação do pH foi realizada através do método potenciométrico em extrato aquoso, que consiste em adicionar 10 g da amostra de solo em 25 ml de água destilada e deixar a proporção solo:água em contacto durante uma hora, agitando com a vareta de vidro. Após esse procedimento, prossegue-se à sua leitura.

O teor de matéria orgânica foi determinado através do método colorimétrico de rotina em espectrofotometria de absorção molecular por desenvolvimento de cor com o dicromato de sódio em meio ácido, com reta de calibração validada pelo método titulométrico de Tinsley. A MO do solo está expressa em % de MO da matéria seca.

As bases de troca Ca e Mg foram determinadas pela extração em acetato de amónio a pH 7,0. Coloca-se 4 gramas de solo em 50 ml da solução de acetato de amónio a pH 7,0. As

bases de troca são quantificadas por espectrofotometria de absorção atômica e os resultados são expressos em microgramas/grama de solo seco.

O teor extraível  $P_2O_5$  foi determinado através da extração por Egner-Riehm (lactato de amónio), 2 gramas de solo em 40 ml. A sua quantificação é realizada pelo método colorimétrico em espectrofotometria de absorção molecular por desenvolvimento de cor pela reação do heptanolibdato de amónio na presença do ácido ascórbico. Os resultados são expressos em microgramas/grama de solo seco equivalente a fosfato em ácido fosfórico.

O teor extraível  $K_2O$  foi determinado através da extração por Egner-Riehm (lactato de amónio), 2 gramas de solo em 40 ml. A sua quantificação é realizada pelo método de espectrofotometria de emissão e os seus resultados são expressos em microgramas/grama de solo seco equivalente a potássio em  $K_2O$ .

A textura do solo foi determinada pelo método manual, que consiste na determinação da textura que se fundamenta na distinção entre a areia, limo e a argila através do manuseamento do solo.

### **3.3. Configuração da base de dados**

Para a análise e espacialização dos resultados das amostras de solo, a base de dados existente foi analisada e preparada para posterior análise com o *software* ArcGis. O tratamento da base de dados consistiu nas seguintes tarefas:

- Denominação das freguesias e concelhos segundo a Carta Administrativa Oficial de Portugal (CAOP 2019);
- Exclusão dos dados que apenas possuíam o nome do concelho, não possuíam data de receção da amostra, dados de outras regiões;
- Cálculo da relação entre cálcio e magnésio;
- Criação de colunas para o mês e data de receção das amostras e código postal relativo à freguesia e/ou morada;
- Criação de coluna para atribuição de código para cada freguesia de modo a facilitar posteriormente a espacialização dos dados em ArcGis;
- Cálculo das médias dos dados das freguesias por ano;
- Cálculo do número de amostras das freguesias por ano;
- Divisão das folhas de cálculo por ano;

- Seleção dos concelhos de Barcelos e Ponte de Lima.

### **3.4. Representação dos dados em SIG**

Os resultados das amostras de solo fornecidas pelo Laboratório de solos da ESA-IPVC encontravam-se em formato analógico. Com o apoio dos limites administrativos da Carta Administrativa Oficial de Portugal, retirada do website da Direção Geral do Território, e do Sistema de Informação Geográfica (SIG), *software* utilizado para o tratamento de dados foi o ESRI ArcGis 10.5 realizou-se um *Join* entre os dados associados à sua freguesia.

A partir desta fase foi possível proceder à representação das variáveis por freguesia para os concelhos de Barcelos e Ponte de Lima para criar e interagir com os mapas, onde as informações geográficas são visualizadas, editadas, analisadas e consultadas de forma interativa. São disponibilizadas duas formas de visualização de dados: a visualização geográfica (*Data View*) e a visualização do *layout* (*Layout View*), aqui os mapas são construídos sobrepondo-se os temas (*Layer*).

### **3.5. Análise estatística**

As amostras de solo recolhidas no campo e analisadas no laboratório da ESA, foram sujeitas a uma análise estatística através dos softwares Excel e SPSS.

Foi efetuada uma análise de caracterização das amostras através de uma análise estatística descritiva com o software SPSS. Posteriormente analisaram-se os parâmetros químicos, ao longo de cada período de tempo estudado. Para as variáveis nominais fez-se uma análise estatística através do teste do qui-quadrado que avalia a força da associação entre as duas variáveis categóricas e determinou-se o V de Cramer para aferir a força de correlação entre as variáveis, que varia entre 0 e 1. Quanto mais perto o valor for de 0 mais fraca é a associação e quanto mais perto de 1 mais forte é a relação. Também foi efetuada uma análise para determinar os *outliers*, realizando diagramas em caixa onde era possível observar os *outliers*.

## 4. Resultados

### 4.1 Análise espacial e temporal da distribuição da proveniência das amostras de solo

Para estruturar a análise da base de dados de amostras de solo, efetuou-se primeiramente uma análise espacial da densidade de amostras por todo o Entre Douro e Minho (Figura 4.1). Da análise da figura pode-se observar uma distribuição irregular das amostras, sendo a densidade superior nos concelhos de Barcelos e Ponte de Lima.

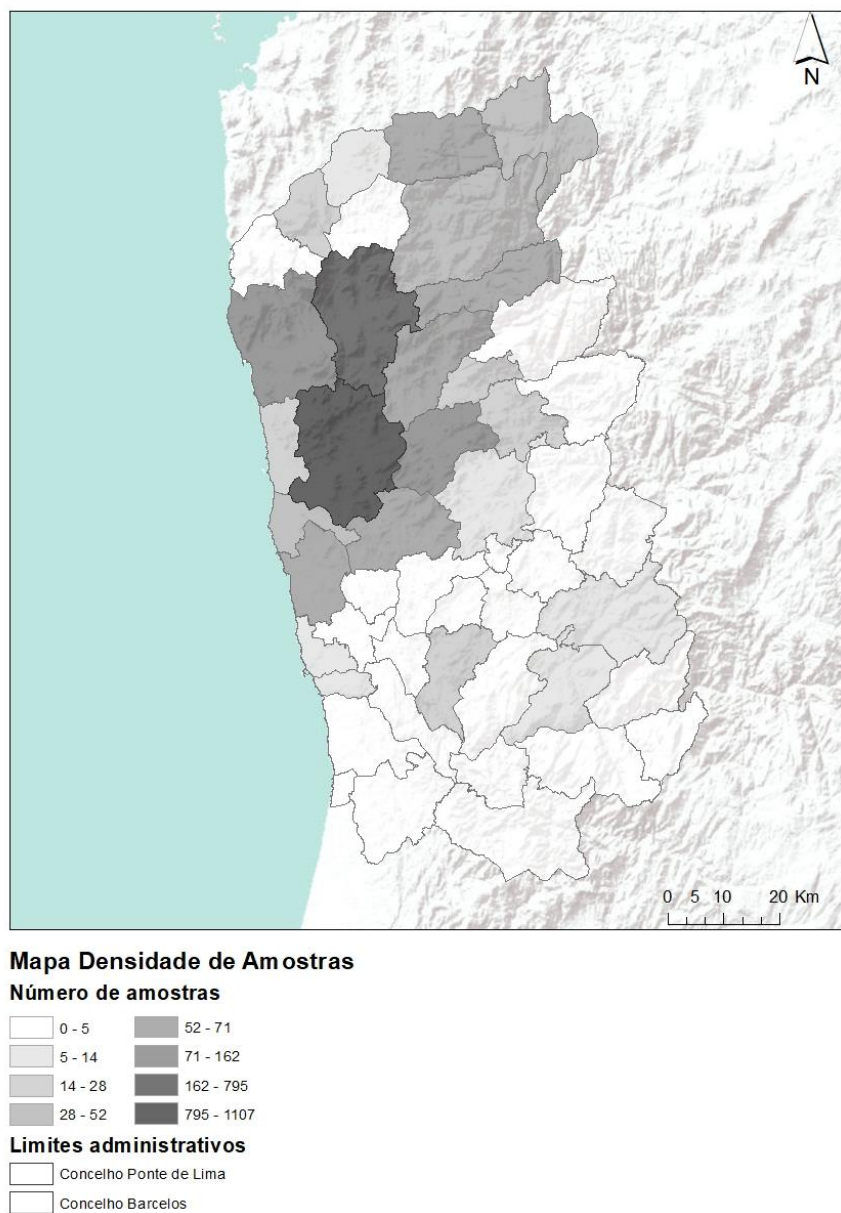


Figura 4. 1. Mapa de densidade da proveniência das amostras de solos nos concelhos do Entre Douro e Minho.

## 4.2. Caraterização das amostras e evolução dos parâmetros químicos e físicos do concelho de Barcelos

### 4.2.1. Caraterização das amostras por cultura

Como podemos observar na figura 4.2 as amostras relativas à cultura do milho representam 88,1%, seguidas da cultura da vinha com 2,3%. Os pequenos frutos, os pomares representam 1,1% e as outras culturas, em que se incluíram as hortícolas, as ornamentais e as amostras provenientes de floresta, representam 1%. De salientar que no período de 2008 a 2019 deram entrada amostras sem qualquer indicação da cultura no valor de 7,3%.

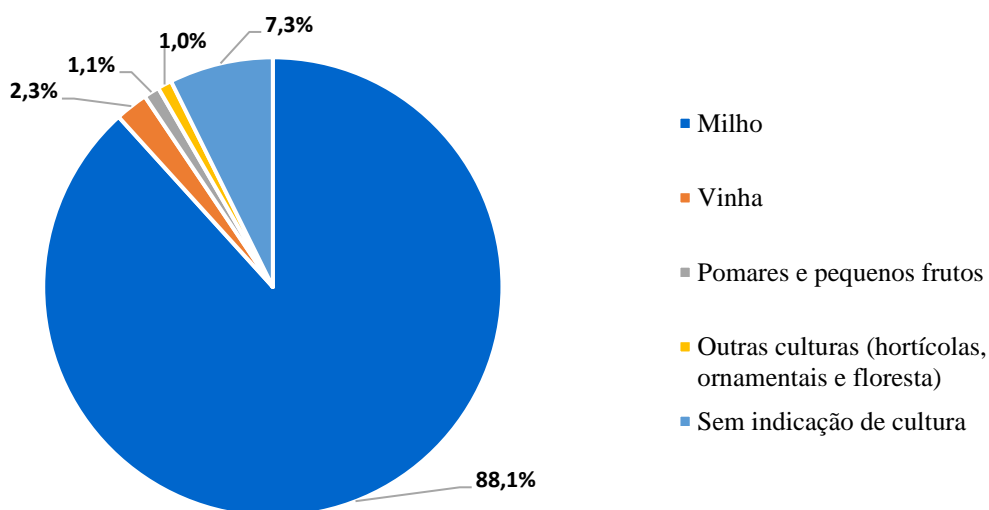


Figura 4. 2. Percentagem de amostras por cultura entre 2008-2019 no concelho de Barcelos.

### 4.2.2. Estatística descritiva dos parâmetros físico-químicos das amostras de solos no período 2008-2019

Como podemos observar no Quadro 4.1, no período analisado deram entrada no laboratório de solos da ESA-IPVC entre 1091 a 1112 amostras de solos provenientes do concelho de Barcelos.

Quadro 4. 1. Tabela descritiva dos parâmetros físico-químicos das amostras de solo entre 2008-2019 no concelho de Barcelos.

	Nº de amostras	Intervalo	Média	Mediana	Coefficiente de variação (%)
<b>pH</b>	1112	3,3-7,7±0,5	5,3	5,3	9,7
<b>Matéria orgânica</b>	1112	0,1-12,4±1,6	4,4	4,2	36,5
<b>Fósforo</b>	1112	0-1158,0±137,95	203,3	181,5	67,9
<b>Potássio</b>	1112	12,0-1508,0±132,0	235,4	206,5	56,1
<b>Cálcio</b>	1091	5,0-11190,0±913,7	1056,1	851,0	86,5
<b>Magnésio</b>	1091	0-8529,0±274,0	129,9	106,0	211,0
<b>Cálcio/Magnésio</b>	1112	0-420,5±17,1	11,4	7,6	150,7

O pH varia entre 3,3 e 7,7 situando-se entre as classes muito ácido a pouco alcalino (LQARS, 2000). O desvio padrão é de 0,5, a média e mediana de 5,3 e apresenta um coeficiente de variação de 9,7 %.

Os valores de matéria orgânica estão entre 0,1 e 7,7. O desvio padrão é de 1,6 e a média e mediana são de 4,4 e 5,2 respetivamente. O coeficiente de variação tem um valor de 36,5%.

O teor de fósforo varia entre 0 e 11558,0 situando-se entre as classes de fertilidade como muito alto (LQARS, 2000). A partir do desvio padrão e da média (137,95 e 203,3 respetivamente) foi possível calcular um coeficiente de variação de 67,9%.

O teor de potássio varia entre 12 e 1508 situando-se entre as classes de fertilidade como muito alto (LQARS, 2000). Apresenta um desvio padrão de 132,0, uma média de 235,4, uma mediana de 206,5 e um coeficiente de variação de 56,1%.

Para o cálcio obtivemos valores entre 5,0 e 11190,0. O desvio padrão é de 913,7, a média é de 1056,1 e a mediana é de 851,0. O coeficiente de variação é de 86,5%.

O teor de magnésio varia entre 0 e 8529,0 situando-se entre as classes de fertilidade como muito alto (LQARS, 2000). O desvio padrão é de 274,0, a média é de 129,9 e a mediana é de 106,0. O coeficiente de variação é de 211,0%.

A relação cálcio/magnésio varia entre 0 e 420,5 sendo classificada entre as classes como muito alta (LQARS, 2000). O desvio padrão é de 17,1, a média é de 11,4 e a mediana de 7,6. O coeficiente de variação é de 15,7%.

Na figura 4.3 é possível observar a distribuição das texturas do solo (determinadas pelo método manual) no período 2008-2019 para o concelho de Barcelos.

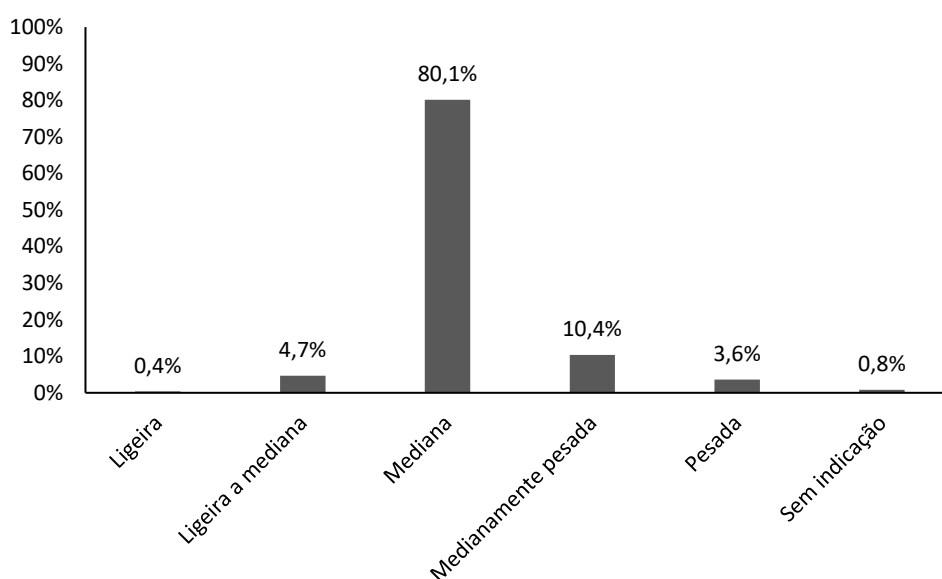


Figura 4. 3. Distribuição das texturas do solo entre 2008-2019 no concelho de Barcelos.

Na totalidade das texturas do solo 80,1% concentra-se na classe mediana, seguida da classe medianamente pesada com 10,4% e a classe ligeira a mediana com 4,7%. A metodologia utilizada no laboratório de solos da ESA-IPVC para a determinação da textura do solo demonstra pouca capacidade de discriminar entre as classes de textura, resultando numa classe de textura mediana que englobará as texturas de solo francas (franco-arenosas, franco-argilo-limosas, franco-limosas e franco-argilosas).

Seguidamente efetuou-se uma análise da correlação existente entre a classe de textura e a proveniência das amostras ao nível da freguesia (Anexo II). Do resultado do teste do qui-quadrado,  $p < 0,001$ , entre as duas variáveis categóricas permite-nos concluir que elas não estão dissociadas uma da outra. No entanto, para aferir a força da associação entre ambas as variáveis determinou-se o V de Cramer. Embora as duas estejam associadas uma à

outra, essa associação de acordo com o V de Cramer é fraca (0,2) (Anexo II). Estes valores podem dever-se ao facto de os dados se tratar de valores médios dentro de cada freguesia. Uma espacialização dos dados, discriminando temporal e espacialmente os mesmos, poderá tornar mais evidente a relação entre a textura e o local de proveniência da análise.

#### 4.2.3. Evolução dos parâmetros químicos analisados

Esta base de dados, como já foi referido anteriormente, engloba um período muito alargado de anos, no caso do concelho de Barcelos de 2008 a 2019. A análise da evolução dos parâmetros químicos, pH, matéria orgânica, teor de fósforo, teor de potássio, teor de cálcio, teor de magnésio e relação cálcio-magnésio, diz respeito a todas as amostras de solos provenientes do concelho de Barcelos independentemente da localização exata.

Como é possível observar na Figura 4.4 ao longo de 12 anos (2008-2019) o pH para as diversas culturas manteve-se estável no período de 2008 a 2016 na ordem dos 5,4, sendo considerado segundo o LQARS (2000) como solos ácidos. Entre 2016 e 2018 houve uma queda do teor de pH de 5,4 para 4,7, tendo no ano seguinte (2019) estabilizado para 5,3.

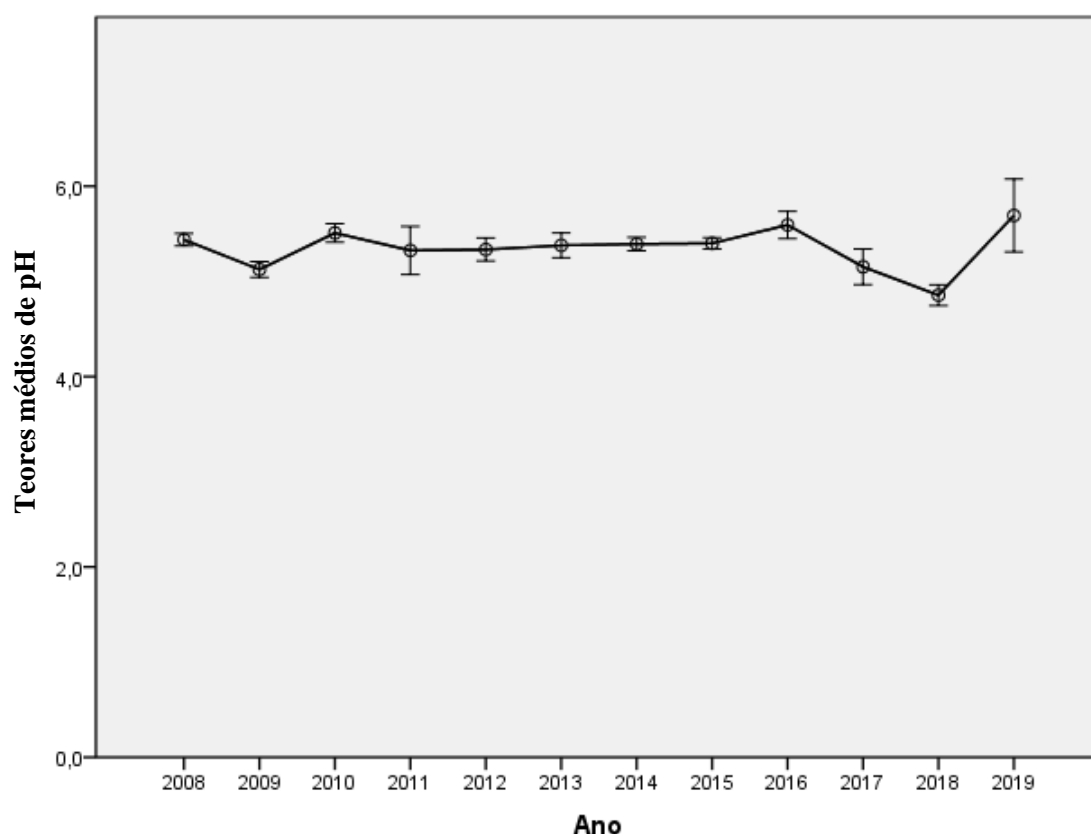


Figura 4. 4. Valores médios da pH no concelho de Barcelos entre 2008-2019. As barras verticais representam o erro padrão da média.

No ano de 2008 na classe ácida tínhamos valores de 60,7% e na pouca ácida 37,4%, enquanto no ano de 2019 na classe ácida 50%, neutra 14,3% e pouco ácida 35,7% (Anexo IV).

Na Figura 4.5 podemos observar que os teores médios de matéria orgânica têm uma tendência decrescente apesar de no ano de 2010 ter havido um valor elevado (5,4%) em relação à média dos restantes anos. Entre 2008 e 2019 o teor de matéria orgânica diminuiu de 4,2% para 3,8%.

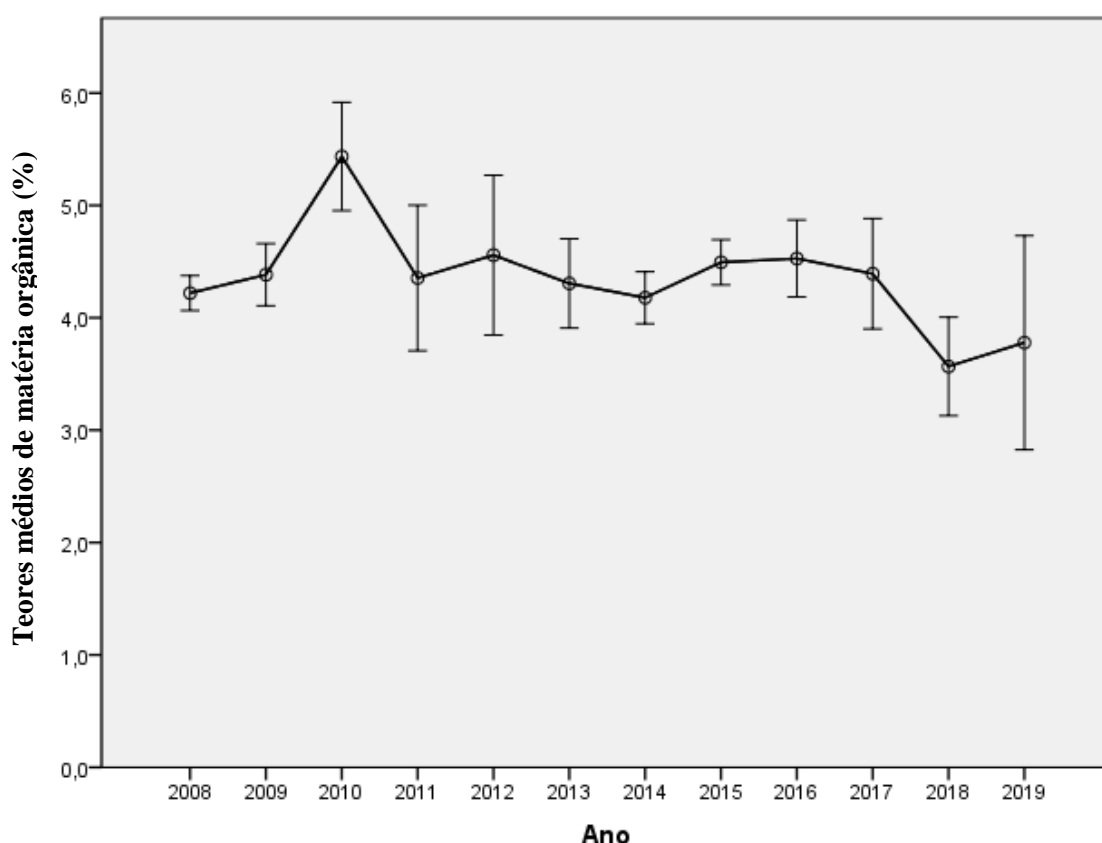


Figura 4. 5. Valores médios da matéria orgânica (%) no concelho de Barcelos entre 2008-2019. As barras verticais representam o erro padrão da média.

No ano de 2008, na classe muito alta tínhamos 2,3% e na classe média 49,1%. Em 2019 muito baixo 7,1% e médio 64,3% (Anexo IV).

Os teores médios de potássio (Figura 4.6) são bastante variáveis, sendo que os valores mais altos situam-se nos anos de 2011 e 2013 com  $239 \mu\text{g g}^{-1}$  e  $231 \mu\text{g g}^{-1}$ , respetivamente, e os valores mais baixos situam-se em 2010 ( $158 \mu\text{g g}^{-1}$ ) e 2012 ( $152 \mu\text{g g}^{-1}$ ). Comparando com a tabela de classes de fertilidade os valores médios de potássio são classificados maioritariamente como muito altos ( $>200 \mu\text{g g}^{-1}$ ) LQARS (2000).

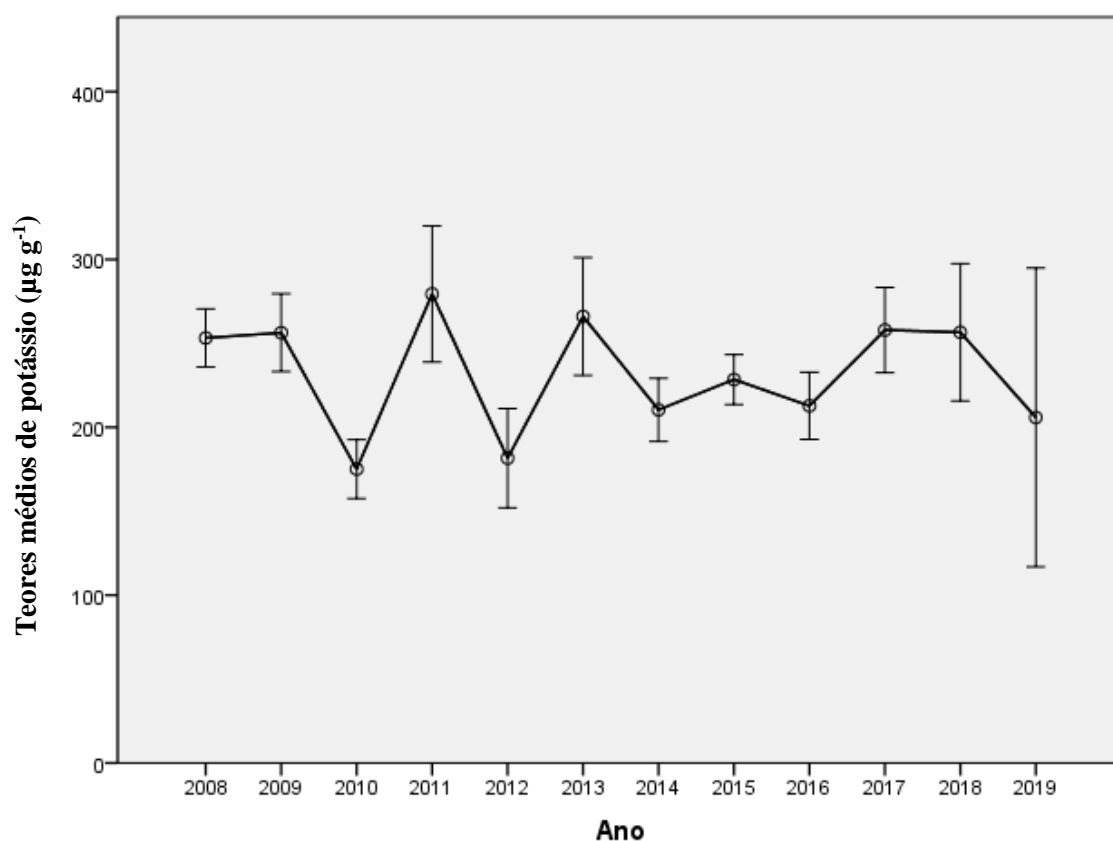


Figura 4. 6. Valores médios de potássio ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) no concelho de Barcelos entre 2008-2019. As barras verticais representam o erro padrão da média.

Em 2008 na classe de fertilidade média tínhamos 22,4% e na muito alta 60,3%, enquanto em 2019 possuíamos na classe muito alta 50,0%, na média 21,4% e na muito baixa 21,4% (Anexo IV).

Como podemos observar na Figura 4.7 os teores médios de fósforo foram inconstantes ao longo dos anos da recolha de dados. De acordo com os dados obtidos é possível verificar que houve uma descida acentuada nos períodos de 2009 a 2012 ( $169 \mu\text{g g}^{-1}$  para  $98 \mu\text{g g}^{-1}$ ) e outra entre 2015 e 2016 ( $212 \mu\text{g g}^{-1}$  para  $148 \mu\text{g g}^{-1}$ ).

É possível identificar três principais grupos de fertilidade em relação aos teores de fósforo, sendo eles média ( $51-100 \mu\text{g g}^{-1}$ ), alta ( $101-200 \mu\text{g g}^{-1}$ ) e muito alta ( $>200 \mu\text{g g}^{-1}$ ) (LQARS,2000).

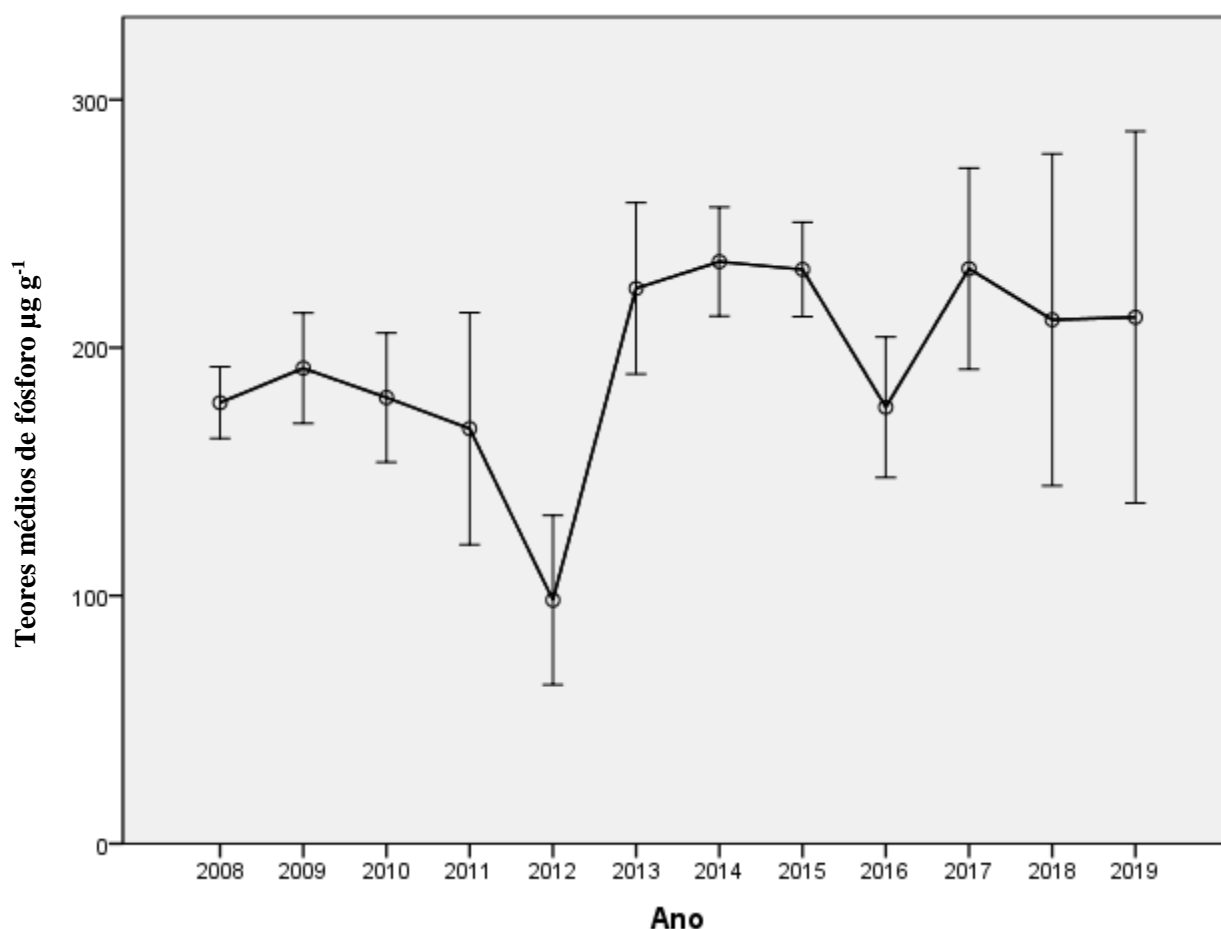


Figura 4. 7. Valores médios de fósforo ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) no concelho de Barcelos entre 2008-2019. As barras verticais representam o erro padrão da média.

No ano de 2008 podemos observar que a classe de fertilidade média correspondeu a valores de 35,5%, a alta 19,2% e na muito alta 34,6%. No ano de 2019 para a classe de fertilidade média obtiveram-se valores inferiores aos de 2008 (28,6%), no entanto a classe muito alta aumentou para 57,1% (Anexo IV).

Pela análise da Figura 4.8 verificou-se que os teores médios de cálcio têm uma tendência decrescente, havendo diversas variações ao longo dos 12 anos. No ano 2008 obteve-se o valor mais alto de  $1452 \mu\text{g g}^{-1}$  tendo posteriormente decaído drasticamente para  $507 \mu\text{g g}^{-1}$  em 2010.

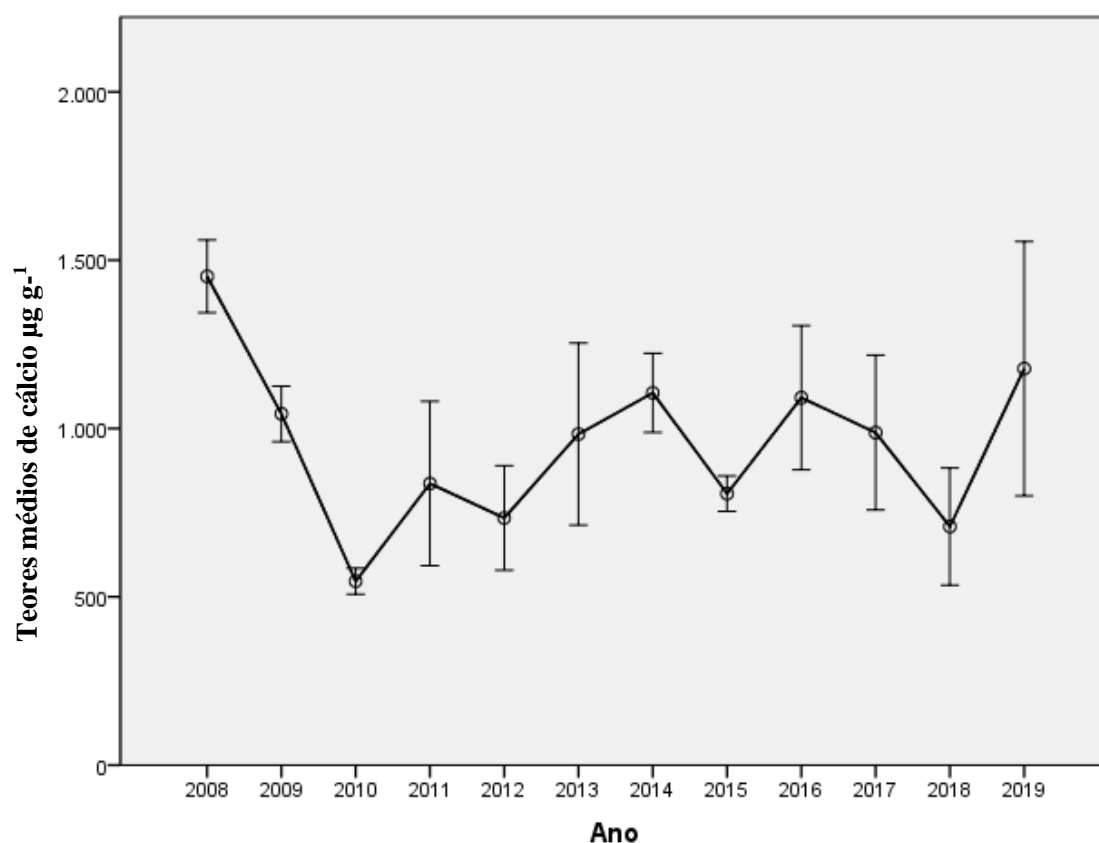


Figura 4. 8. Valores médios de cálcio ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) no concelho de Barcelos entre 2008-2019. As barras verticais representam o erro padrão da média.

Através da Figura 4.9 podemos analisar que os teores médios de magnésio ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) variam ao longo dos anos. No ano de 2014 obteve-se o valor mais alto de  $184 \mu\text{g g}^{-1}$ , seguido de um declínio durante quatro anos consecutivos atingindo um valor de  $80 \mu\text{g g}^{-1}$ , classificado como um valor médio ( $61\text{-}90 \mu\text{g g}^{-1}$ ) na classe de fertilidade (LQARS, 2000).

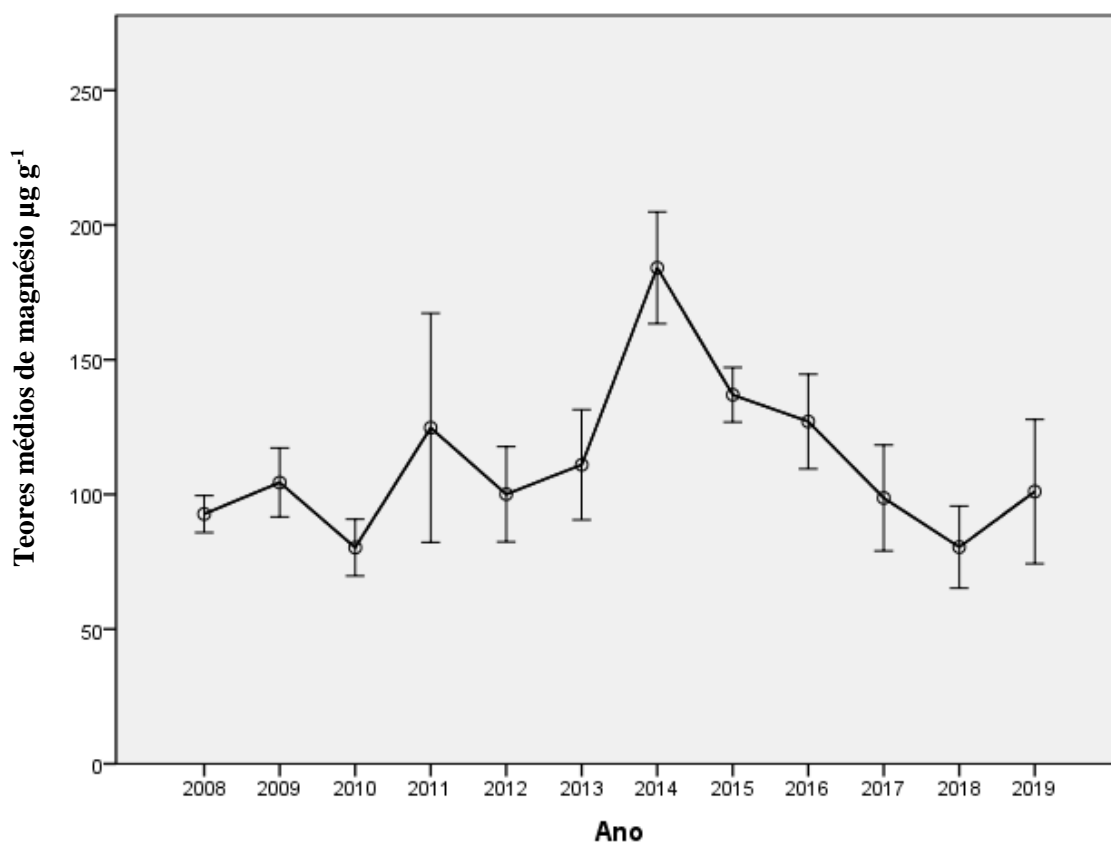


Figura 4. 9. Valores médios de magnésio ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) no concelho de Barcelos entre 2008-2019. As barras verticais representam o erro padrão da média.

No ano de 2008 obteve-se valores em ambas as classes alta e baixa de 19,6% e na média de 20,6%. No ano de 2019 na classe alta tínhamos 42,9%, baixa 7,1% (Anexo IV).

Na Figura 4.10 estão registados os valores médios da relação cálcio/magnésio. Da análise da figura é evidente que os valores são maioritariamente baixos entre 2009 e 2018, sendo os valores mais frequentes entre  $6 \mu\text{g g}^{-1}$  e  $9 \mu\text{g g}^{-1}$ , classificados como altos ( $4,1-8,0 \mu\text{g g}^{-1}$ ) e muito altos ( $8,0 \mu\text{g g}^{-1}$ ) e, com particular apreciação desfavorável para a nutrição da planta em magnésio (LQARS, 2000).

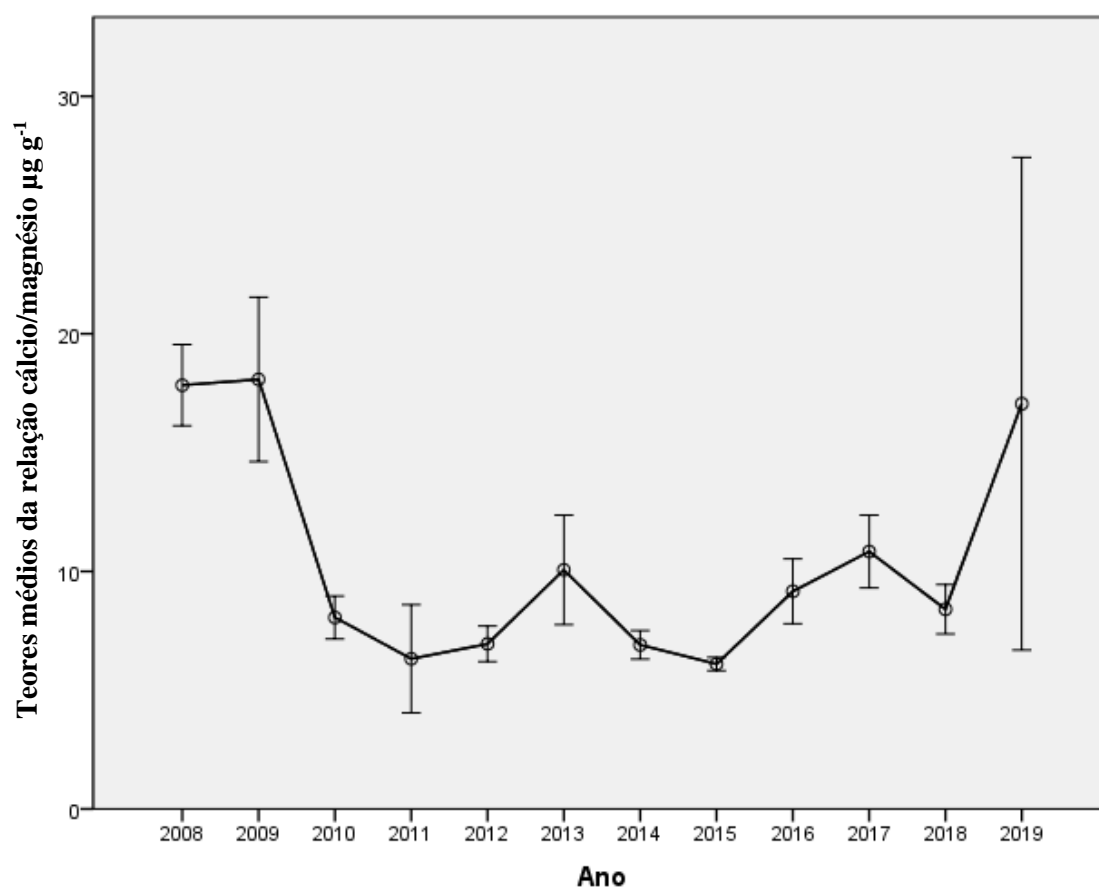


Figura 4. 10. Valores médios da relação cálcio/magnésio ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) no concelho de Barcelos entre 2008-2019. As barras verticais representam o erro padrão da média.

### 4.3. Caraterização das amostras e evolução dos parâmetros químicos e físicos do concelho de Ponte de Lima

#### 4.3.1. Caraterização das amostras por cultura

Como podemos observar na Figura 4.11 as amostras relativas à cultura do milho representam 18%, seguidas da cultura da vinha com 23,7%. Os pomares, pequenos frutos representam 4,1% e as outras culturas, em que se incluíram as hortícolas, o olival e as amostras provenientes de floresta e pastagem representam 10,7%. De salientar que no período de 2008 a 2020 deram entrada amostras sem qualquer indicação da cultura no valor de 43,4%.

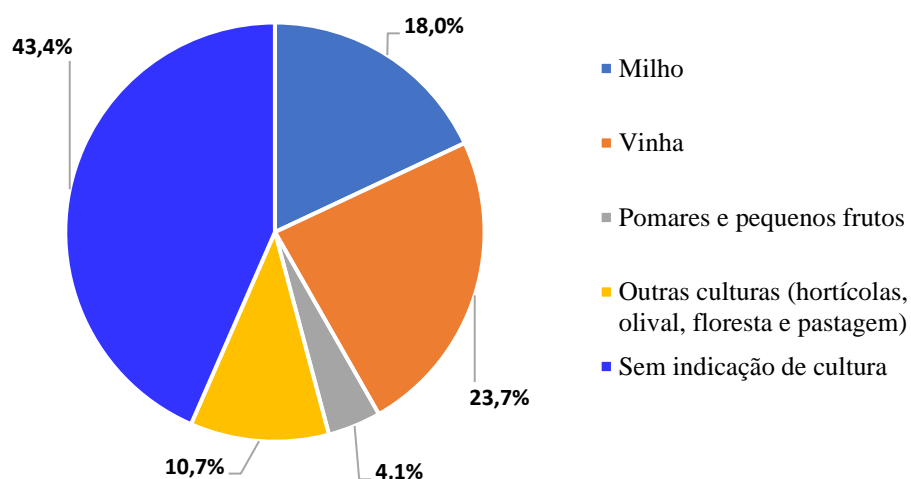


Figura 4. 11. Percentagem de amostras por cultura entre 2008-2020 no concelho de Ponte de Lima.

#### 4.3.2. Estatística descritiva dos parâmetros físico-químicos das amostras de solos no período 2008-2020

Como podemos observar através do Quadro 4.2, no período analisado deram entrada no laboratório de solos da ESA-IPVC entre 715 a 751 amostras de solos provenientes do concelho de Ponte de Lima.

Quadro 4. 2. Tabela descritiva dos parâmetros físico-químicos das amostras de solo entre 2008-2020 no concelho de Ponte de Lima.

	Nº de amostras	Intervalo	Média	Mediana	Coefficiente de variação (%)
<b>pH</b>	751	3,4-8,3±0,6	5,3	5,3	12,2
<b>Matéria orgânica</b>	751	0-17,3±2,0	3,6	3,4	54,5
<b>Fósforo</b>	751	-1,0- 752,0±135,4	129,3	81,0	104,7
<b>Potássio</b>	751	16,0- 2300,0±167,3	212,1	173,0	78,9
<b>Cálcio</b>	751	0- 25567,0±2258,2	1020,6	554,0	221,3
<b>Magnésio</b>	716	0-1411,0±102,9	95,8	72,0	107,4
<b>Cálcio_Magnésio</b>	715	0,4-356,4±18,8	10,9	8,1	172,5

O pH varia entre 3,4 e 8,3 situando-se entre as classes muito ácido a pouco alcalino (LQARS, 2000). O desvio padrão é de 0,6, a média e mediana de 5,3 e apresenta um coeficiente de variação de 12,2%.

Os valores de matéria orgânica estão entre 0 e 17,3. O desvio padrão é de 2 e a média e mediana são de 3,6 e 3,4 respetivamente. O coeficiente de variação tem um valor 54,5%.

O teor de fósforo varia entre -1 e 752 situando-se entre as classes de fertilidade como muito alto (LQARS, 2000). A partir do desvio padrão e da média (129,3 e 81 respetivamente) foi possível calcular um coeficiente de variação de 104,7%.

O teor de potássio varia entre 16 e 2300 situando-se entre as classes de fertilidade como muito alto (LQARS, 2000). Apresenta um desvio padrão de 167,3, uma média de 212,1, uma mediana de 173 e um coeficiente de variação de 78,9%.

Para o cálcio obtivemos valores entre 0 e 25567. O desvio padrão é de 2258,2, a média é de 95,8 e a mediana é de 72. O coeficiente de variação é de 107,4%.

O teor de magnésio varia entre 0 e 1411 situando-se entre as classes de fertilidade como alto (LQARS, 2000). O desvio padrão é de 102,9, a média é de 95,8 e a mediana é de 72. O coeficiente de variação é de 107,4%.

A relação cálcio/magnésio varia entre 0,4 e 356,4 sendo classificada entre as classes como muito alta, sendo considerada desfavorável para a planta (LQARS, 2000). O desvio padrão é de 18,8, a média é de 10,9 e a mediana de 8,1. O coeficiente de variação é de 172,5%.

Na Figura 4.12 é possível observar a distribuição das texturas do solo (determinadas pelo método manual) no período 2008-2020 para o concelho de Ponte de Lima.

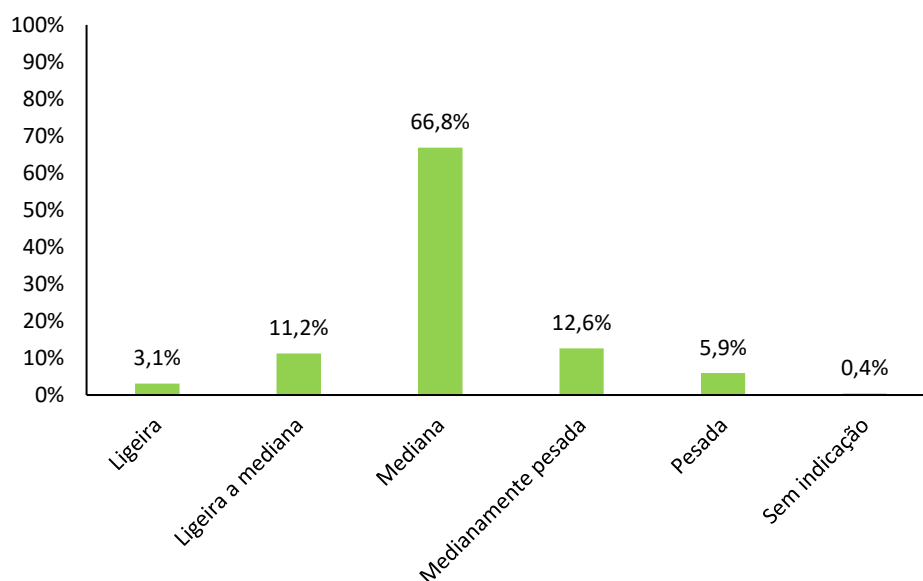


Figura 4. 12. Distribuição das texturas do solo entre 2008-2020 no concelho de Ponte de Lima.

Na totalidade das texturas do solo 66,8% concentra-se na classe mediana, seguida da classe medianamente pesada com 12,6% e a classe ligeira a mediana com 11,2%. A metodologia utilizada no laboratório de solos da ESA-IPVC para a determinação da textura do solo demonstra pouca capacidade de discriminar entre as classes de textura, resultando numa classe de textura mediana que englobará as texturas de solo francas (franco-arenosas, franco-argilo-limosas, franco-limosas e franco-argilosas).

Seguidamente efetuou-se uma análise da correlação existente entre a classe de textura e a proveniência das amostras ao nível da freguesia (Anexo III). Do resultado do teste do qui-quadrado entre as duas variáveis categóricas permite-nos concluir que elas não estão associadas uma à outra ( $p=0,949$ , não significativo). Perante este resultado, não se efetuou o V de Cramer.

#### 4.3.3. Evolução dos parâmetros químicos analisados

Esta base de dados do concelho de Ponte de Lima abrange um período bastante amplo, de 2008 a 2020. A análise da evolução dos parâmetros químicos, pH, matéria orgânica, teor de fósforo, teor de potássio, teor de cálcio, teor de magnésio e relação cálcio-magnésio, diz respeito a todas as amostras de solos provenientes do concelho de Ponte de Lima independentemente da localização exata.

Como é possível observar na Figura 4.13 ao longo dos 13 anos (2008-2020) os teores médios de pH mantiveram-se estáveis na ordem dos 5,1, tendo havido uma ligeira subida em 2011 (5,5). Segundo a tabela de classes de fertilidade estes solos são classificados como ácidos (LQARS, 2000).

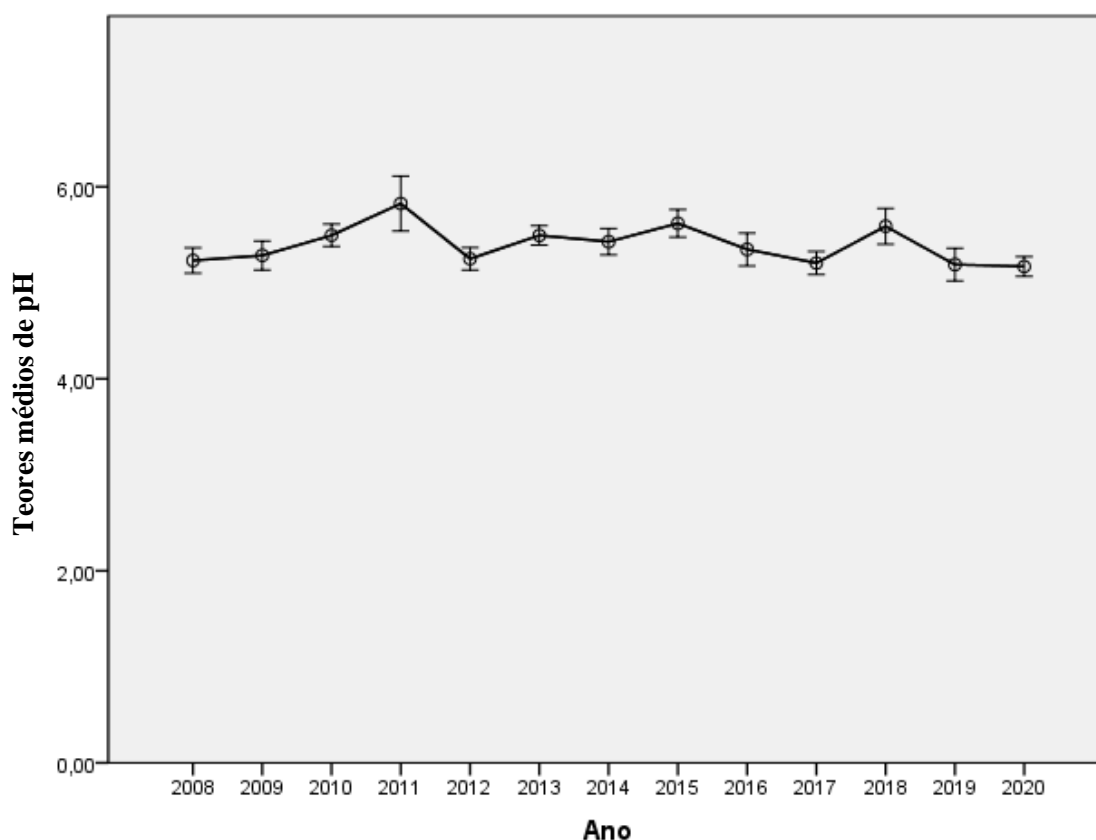


Figura 4. 13. Valores médios de pH no concelho de Ponte de Lima entre 2008-2020. As barras verticais representam o erro padrão da média.

No ano de 2018 segundo as classes de fertilidade (Anexo V) tínhamos valores na classe ácida de 86,0% e na classe pouco ácida de 12,0%, enquanto no ano de 2020 a classe ácida desceu ligeiramente para os 78,8% e a pouco ácida aumentou para os 17,3%.

Na Figura 4.14 podemos analisar que os valores médios de matéria orgânica têm valores altos e baixos entre 2008-2020. No ano 2014 registou-se o valor mais alto de 4,7% e, posteriormente, a matéria orgânica desceu para 2,5% em 2018 e aumentou em 2020 para 3,3%.

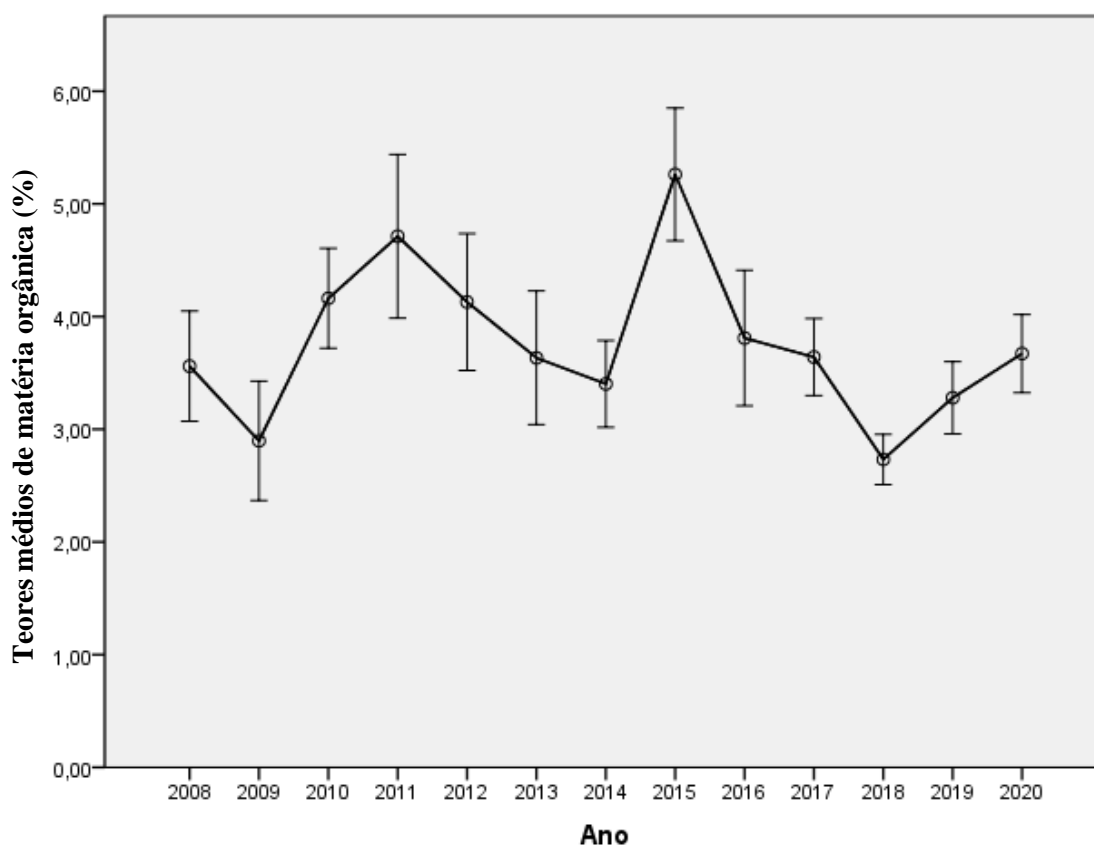


Figura 4. 14. Valores médios de matéria orgânica (%) no concelho de Ponte de Lima entre 2008-2020. As barras verticais representam o erro padrão da média.

Podemos verificar que no ano de 2008 (Anexo V) na classe de fertilidade baixa para o parâmetro da matéria orgânica possuíamos um valor de 16,0%, na classe média 56,0% e na muito alta 8,0%. No ano de 2020 os valores diminuíram, sendo que na classe baixa obtivemos um valor de 7,7%, na média 46,2%, e na muito baixa 1,9%.

Da análise da Figura 4.15 é visível que os teores médios de potássio variam ao longo dos anos, tendo no ano de 2013 atingindo um valor máximo de  $342 \mu\text{g g}^{-1}$ . Os valores mais baixos situam-se na ordem dos  $135\text{-}170 \mu\text{g g}^{-1}$  nos anos de 2012 e 2020. Os valores são classificados como altos ( $101\text{-}200 \mu\text{g g}^{-1}$ ) e muito altos ( $>200 \mu\text{g g}^{-1}$ ) (LQARS, 2000).

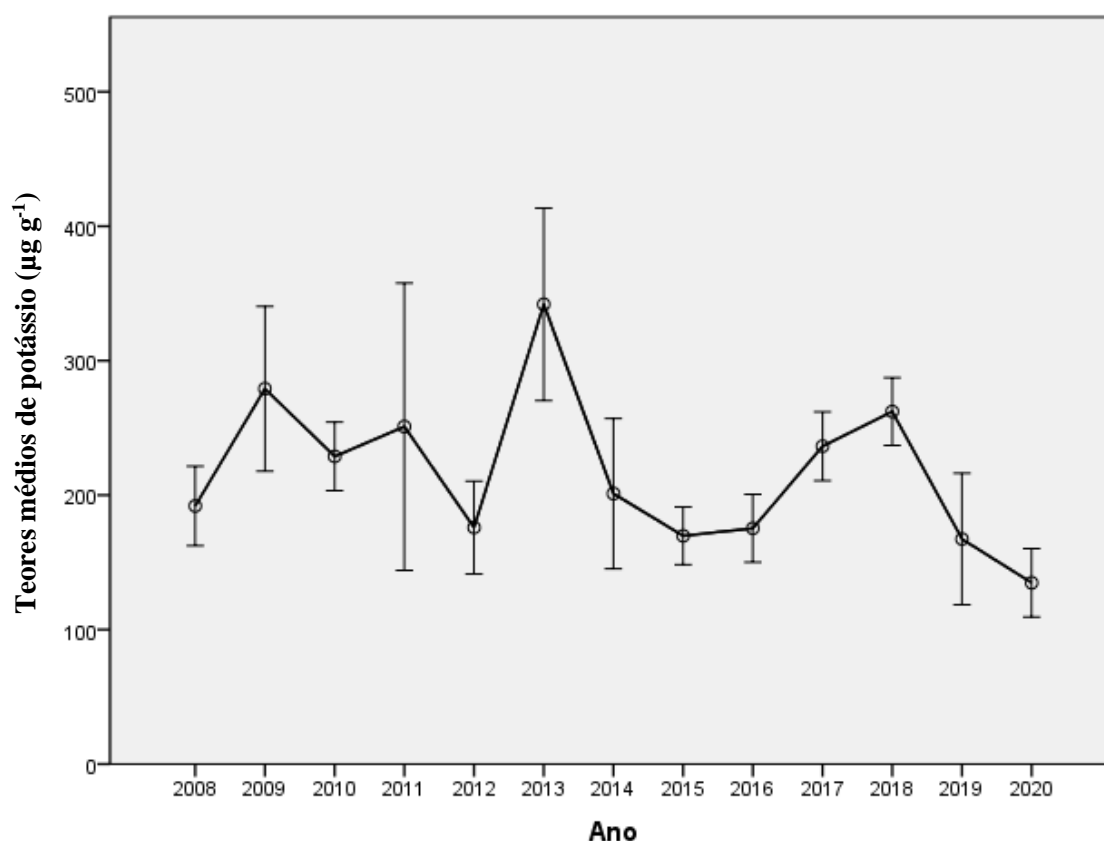


Figura 4. 15. Valores médios de potássio ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) no concelho de Ponte de Lima entre 2008-2020. As barras verticais representam o erro padrão da média.

No ano de 2008 tínhamos valores na classe alta 26,0% e na média 38% enquanto em 2020 tínhamos 25,0% na alta e 53,8% na classe média (Anexo V).

Os teores médios de fósforo (Figura 4.16) oscilam bastante ao longo do período de tempo. Os valores mais altos situam-se em 2009 ( $158 \mu\text{g g}^{-1}$ ), 2016 ( $172 \mu\text{g g}^{-1}$ ) e 2018 ( $197 \mu\text{g g}^{-1}$ ) e os mais baixos em 2008 ( $55 \mu\text{g g}^{-1}$ ), 2012 ( $50 \mu\text{g g}^{-1}$ ) e 2020 ( $25 \mu\text{g g}^{-1}$ ). É possível identificar os quatro grupos de fertilidade em relação aos teores de potássio, sendo eles muito baixo ( $\leq 25 \mu\text{g g}^{-1}$ ), baixo ( $26-50 \mu\text{g g}^{-1}$ ), médio ( $51-100 \mu\text{g g}^{-1}$ ), alto ( $101-200 \mu\text{g g}^{-1}$ ) e muito alto ( $>200$ ) (LQARS, 2000).

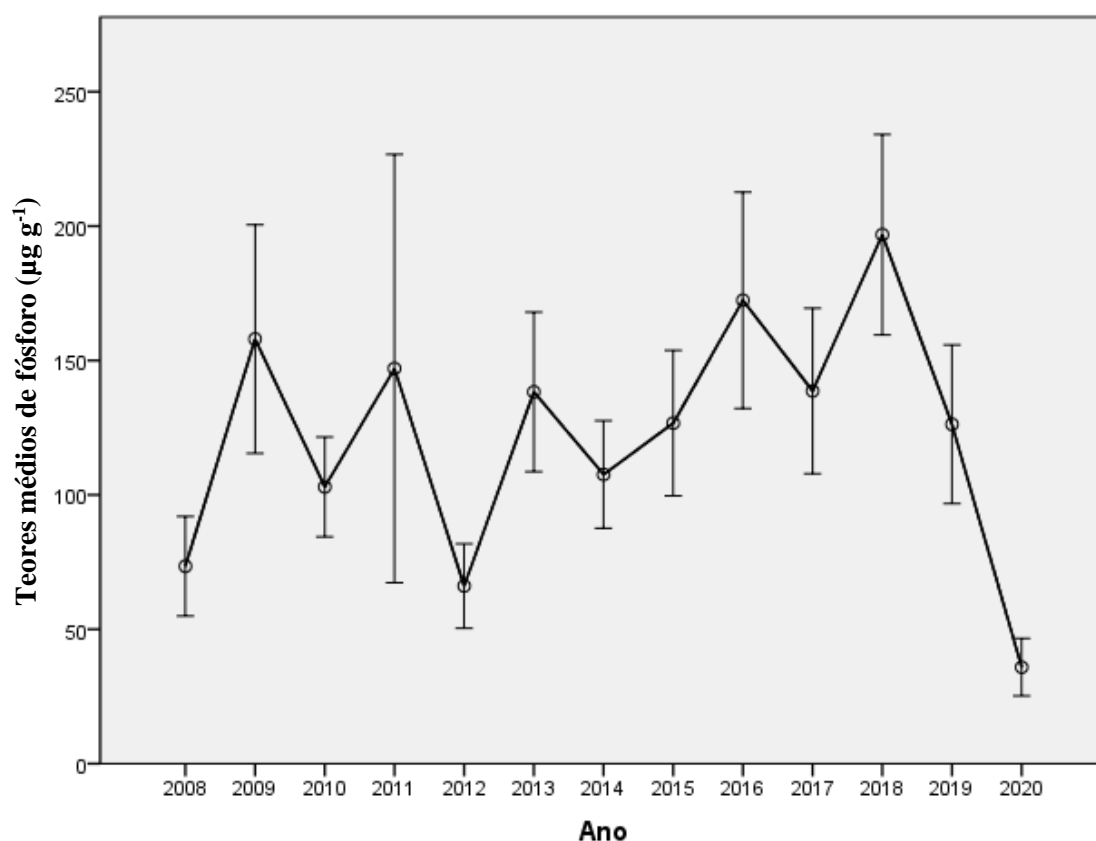


Figura 4. 16. Valores médios de fósforo ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) no concelho de Ponte de Lima entre 2008-2020. As barras verticais representam o erro padrão da média.

Através das observações da classe fertilidade dos valores de fósforo (Anexo V), em 2008 na classe baixa obtivemos um valor de 32,0% e na muito alta 6%. No ano de 2020 a classe baixa, diminuiu para 17,3%.

Pela análise da figura 4.17 verificou-se uma subida bastante significativa em 2011 atingindo um valor de  $1837 \mu\text{g g}^{-1}$ , tendo no ano seguinte descido para  $568 \mu\text{g g}^{-1}$ . Nos anos posteriores (2014-2019) manteve-se estável com valores na ordem  $750\text{-}800 \mu\text{g g}^{-1}$ .

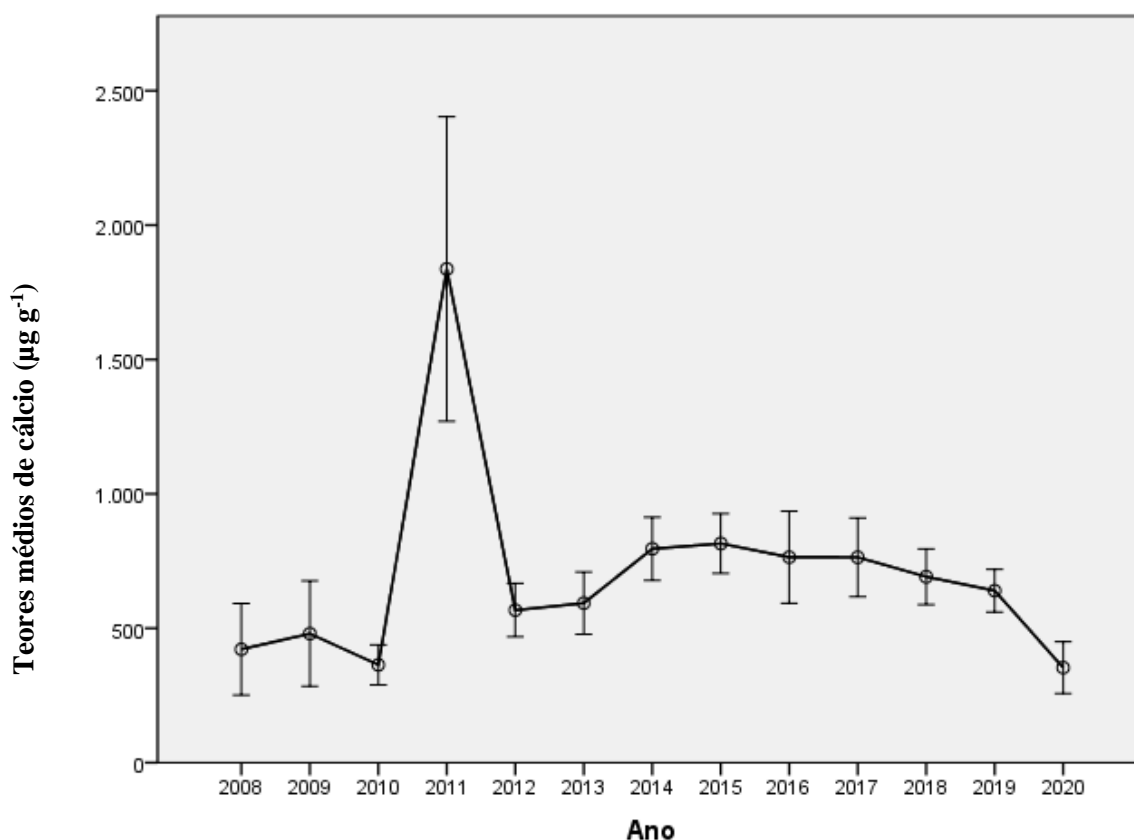


Figura 4. 17. Valores médios de cálcio ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) no concelho de Ponte de Lima entre 2008-2020. As barras verticais representam o erro padrão da média.

Os teores médios de magnésio (Figura 4.18) têm uma tendência crescente ao longo de 2008-2020, apesar de no ano de 2011 ter atingido um valor elevado ( $210 \mu\text{g g}^{-1}$ ). Segundo a tabela de LQARS (2000), é possível identificar três grupos principais, sendo eles médio ( $61\text{-}90 \mu\text{g g}^{-1}$ ), alto ( $91\text{-}125 \mu\text{g g}^{-1}$ ) e muito alto ( $>125 \mu\text{g g}^{-1}$ ).

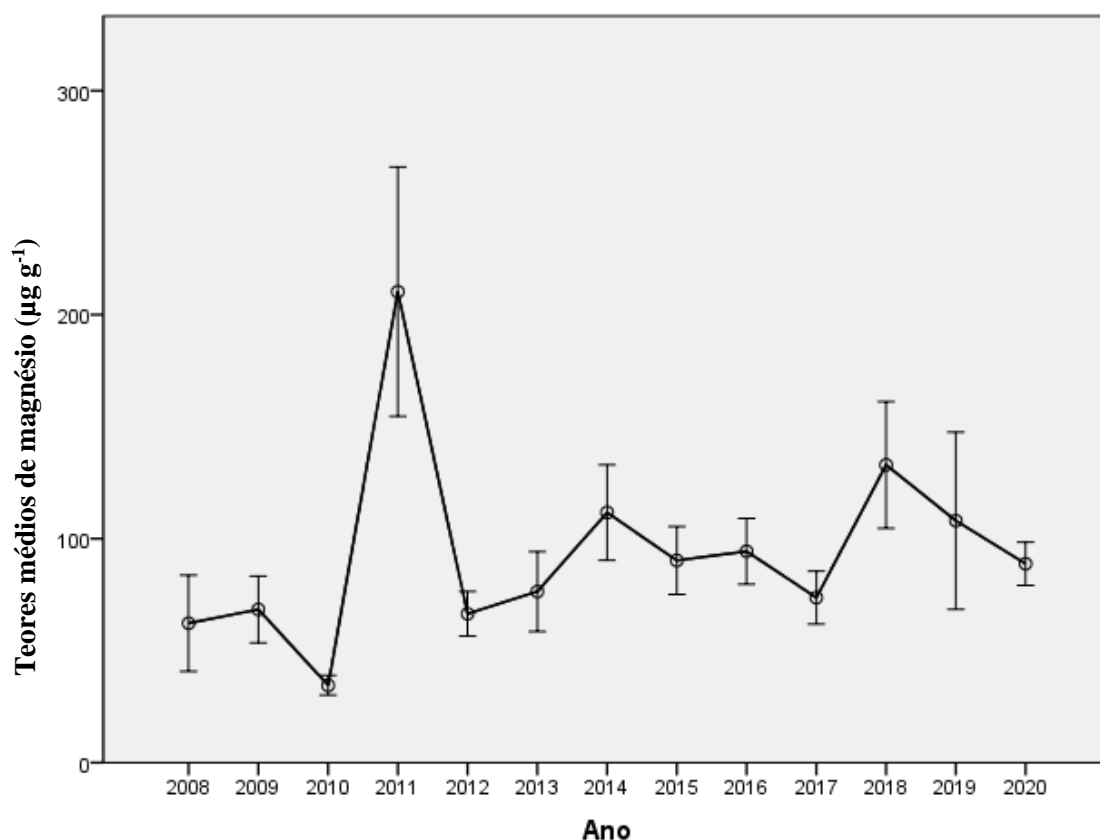


Figura 4. 18. Valores médios de magnésio ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) no concelho de Ponte de Lima entre 2008-2020. As barras verticais representam o erro padrão da média.

No ano de 2008 na classe média obtivemos valores de 8,0%, baixa 4,0% e muito baixa 50,0%. No ano de 2020 as classes médias e baixas aumentaram significativamente para 46,2% e 21,2%, respetivamente. (Anexo V).

Na Figura 4.19 estão registados os valores médios da relação cálcio/magnésio. Da análise da figura é evidente uma tendência decrescente. Entre 2008 e 2020 o teor da relação cálcio/magnésio diminuiu de  $20 \mu\text{g g}^{-1}$  para  $4 \mu\text{g g}^{-1}$ . Segundo a tabela de classes de fertilidade (LQARS, 2000) estes valores são considerados muito altos ( $>8,0 \mu\text{g g}^{-1}$ ) e altos ( $4,1-8,0 \mu\text{g g}^{-1}$ ), sendo apreciados como desfavoráveis para a nutrição da planta em magnésio.

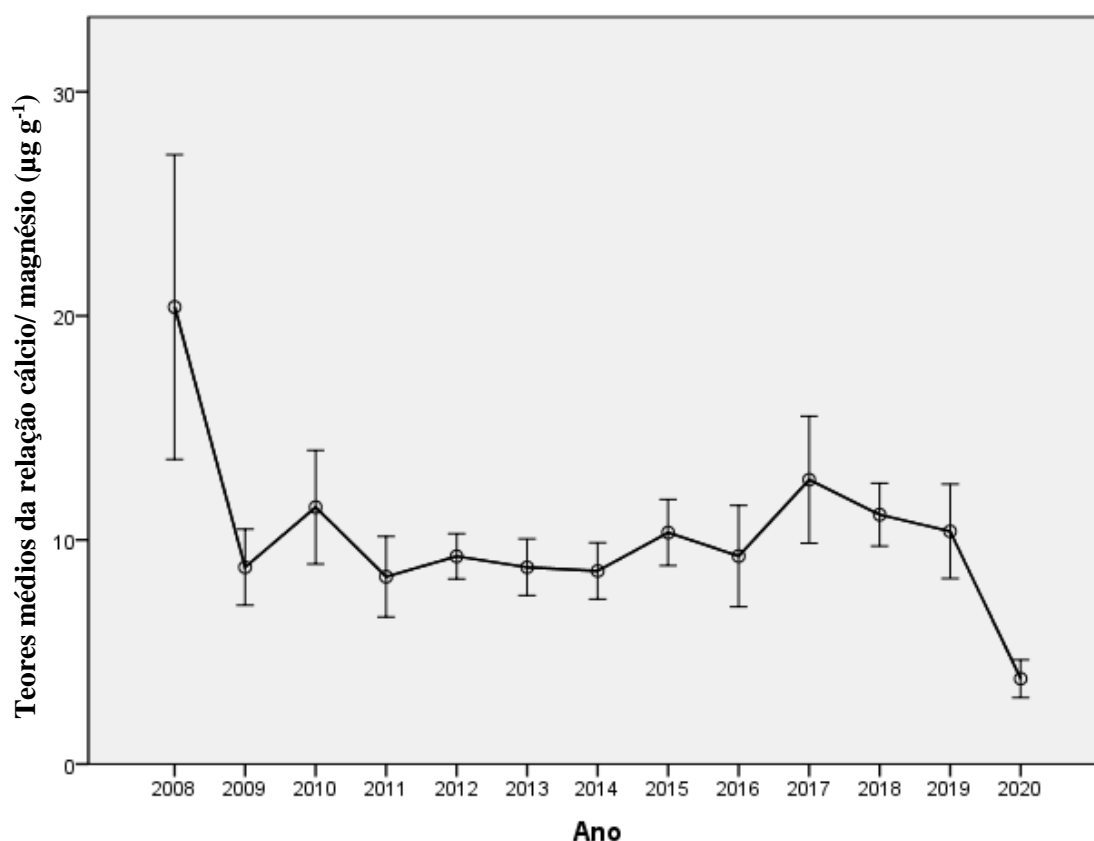


Figura 4. 19. Valores médios da relação cálcio/magnésio ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) no concelho de Ponte de Lima entre 2008-2020. As barras verticais representam o erro padrão da média.

#### 4.4 Análise espacial e temporal para os concelhos de Barcelos e Ponte de Lima nos períodos 2008-2013 e 2014-2019/2020.

Foi realizada uma análise da variação temporal dos parâmetros químicos no concelho de Barcelos e Ponte de Lima para os períodos de 2008-2013 e 2014-2019/2020 discriminando as freguesias.

No concelho de Barcelos foram seleccionadas as freguesias de Cossourado, Gilmonde, Macieira de Rates, Roriz, Ucha, Várzea e as Uniões de Freguesias de Alheira e Igreja Nova; Areias de Vilar e Encourados; Barcelos, Vila Boa e Vila Frescainha; Carreira e Fonte Coberta; Chorente, Góios, Courel, Pedra Furada; Milhazes, Vilar de Figos e Faria; Negreiros e Chavão; Viatodos, Grimancelos, Minhotães e Monte de Fralães e Vila Cova e Feitos. No concelho de Ponte de Lima foram seleccionadas as freguesias de Arca e Ponte de Lima, Calheiros, Refoios do Lima e São pedro d'Arcos. As freguesias que não estão representadas deve-se à inexistência de resultados de amostras de solo num ou nos dois períodos de estudo.

Relativamente ao pH (Figura 4.20), no global manteve-se estável em ambos os concelhos no período de 2008-2013 e 2014-2019/2020, apesar de na freguesia da Ucha e União de freguesias de Alheira e Igreja Nova, do concelho de Barcelos, ter diminuído e aumentado, respetivamente, e nas freguesias de Refoios do Lima e Arca e Ponte de Lima, do concelho de Ponte de Lima.

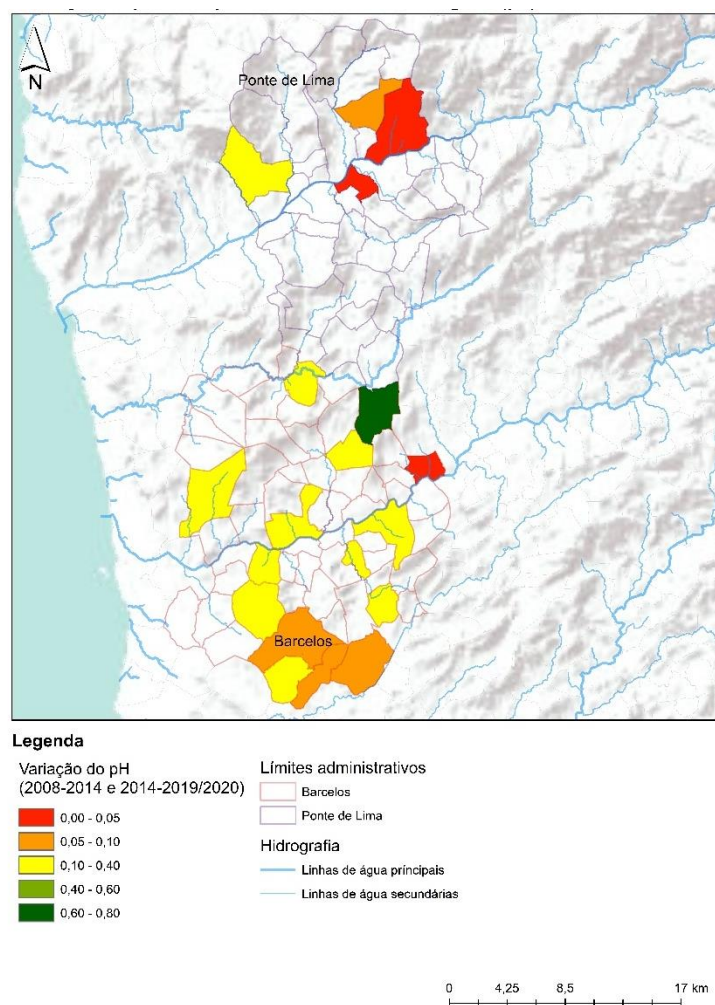


Figura 4. 20. Diferença temporal e espacial do pH nos concelhos de Barcelos e Ponte de Lima no período de 2008-2013 e 2014-2019/2020.

A matéria orgânica diminui na freguesia de São Pedro d’Arcos do concelho de Ponte de Lima e aumentou no concelho de Barcelos nas respetivas freguesias: União de Freguesias de Alheira e Igreja Nova e Gilmonde (Figura 4.21).

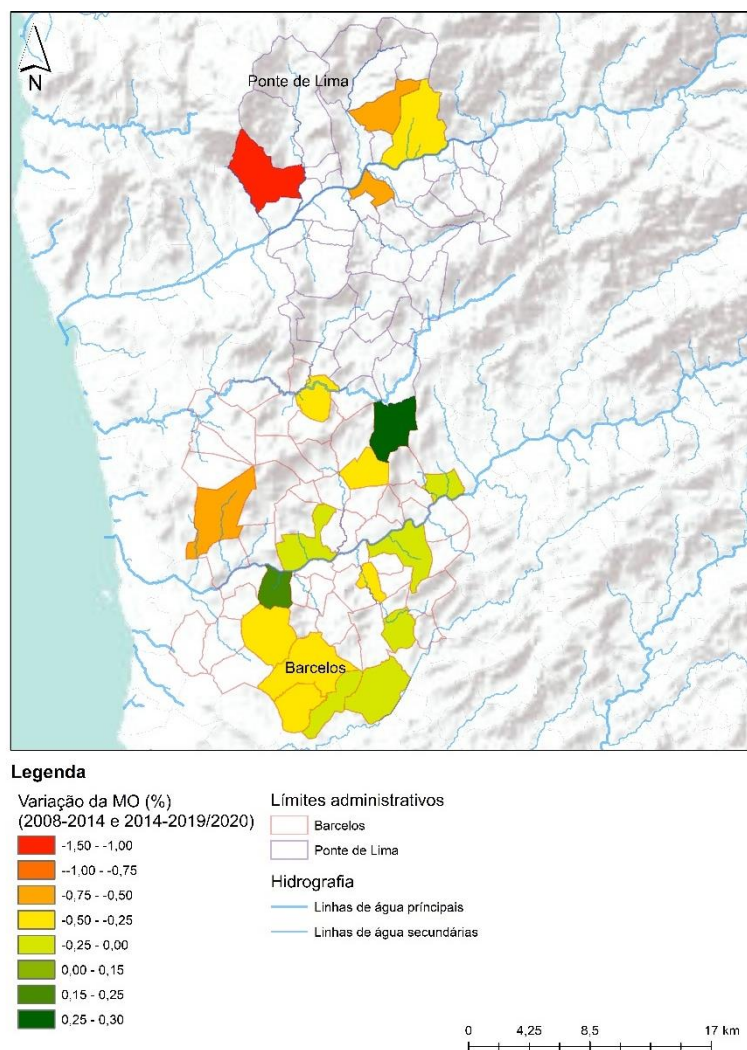


Figura 4. 21. Diferença temporal e espacial da matéria orgânica nos concelhos de Barcelos e Ponte de Lima no período de 2008-2013 e 2014-2019/2020.

Na Figura 4.22 podemos observar que o teor de potássio decresceu nas freguesias de Calheiros, Refoios do Lima e Arca e Ponte de Lima (concelho de Ponte de Lima). Enquanto no concelho de Barcelos aumentou na freguesia de Alheira e Igreja Nova.

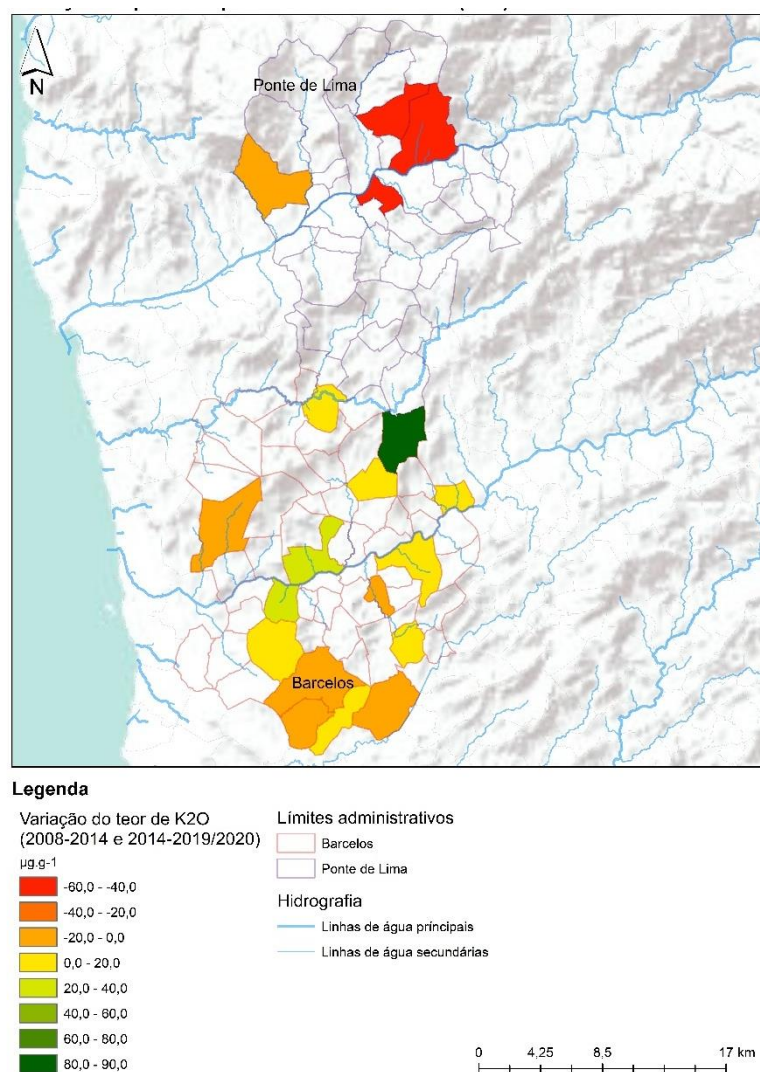


Figura 4. 22. Diferença temporal e espacial do teor de potássio nos concelhos de Barcelos e Ponte de Lima no período de 2008-2013 e 2014-2019/2020.

No geral, os teores de fósforo aumentaram em praticamente todas as freguesias de ambos os concelhos, com a exceção da União de freguesias de Alheira e Igreja Nova que diminuiu (Figura 4.23).

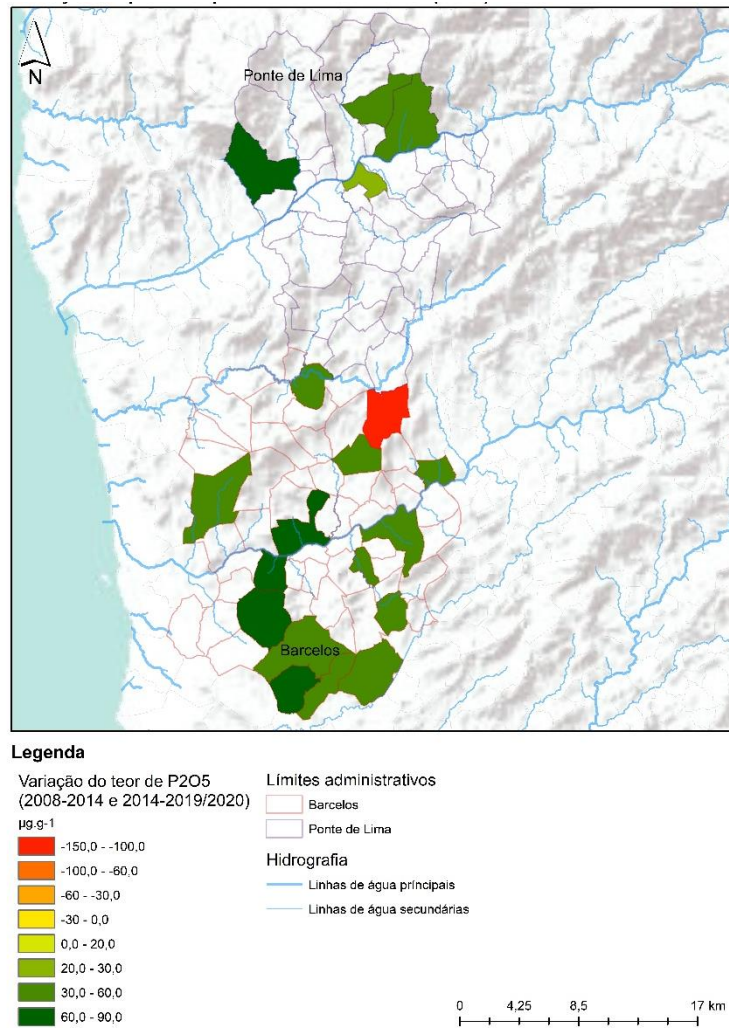


Figura 4. 23. Diferença temporal e espacial do teor de fósforo nos concelhos de Barcelos e Ponte de Lima no período de 2008-2013 e 2014-2019/2020.

A partir da Figura 4.24 podemos visualizar a diferença dos teores de fósforo. Este nutriente diminui na União de Freguesias de Areias e Igreja Nova, freguesia de Cossourado e União de Freguesias de Negreiros e Chavão, do concelho de Barcelos. No concelho de Ponte de Lima decresceu na freguesia de Refoios do Lima e Arca e Ponte de Lima.

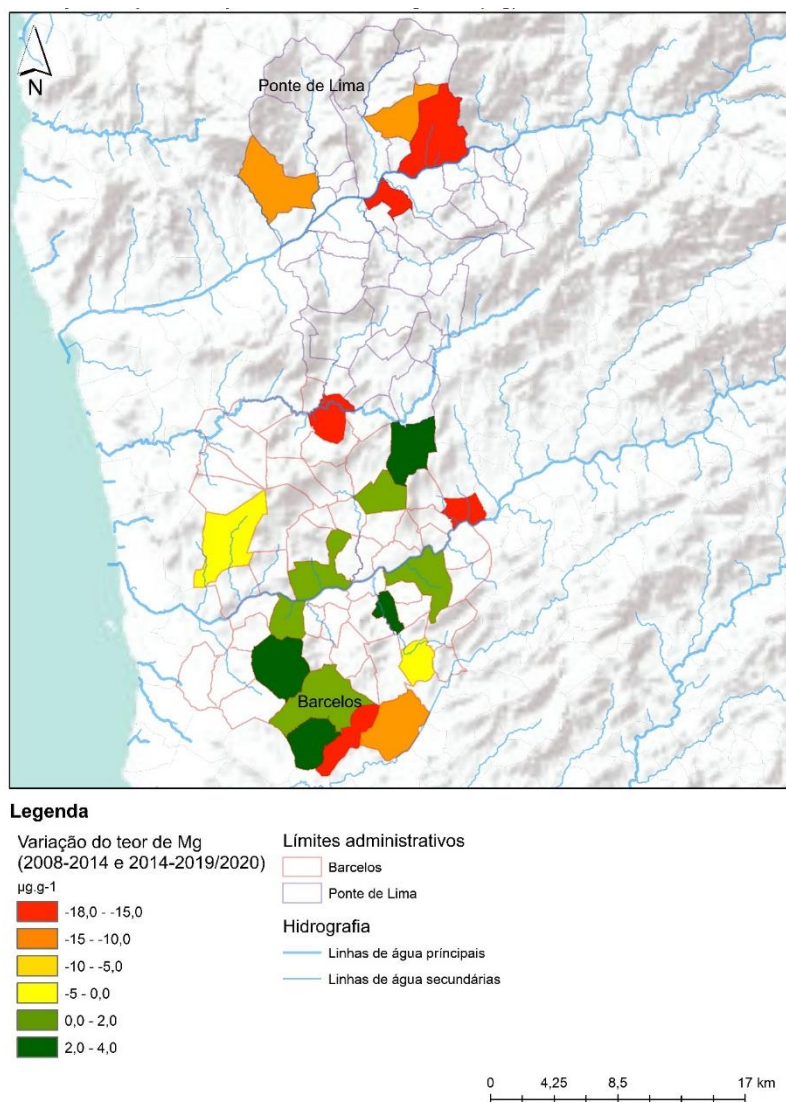


Figura 4. 24. Diferença temporal e espacial do teor de magnésio nos concelhos de Barcelos e Ponte de Lima no período de 2008-2013 e 2014-2019/2020.

Relativamente ao cálcio (Figura 4.25), teve uma tendência crescente nas quatro freguesias referentes ao concelho de Ponte de Lima e diminui nas freguesias de Gilmonde, União das freguesias de Viatodos, Grimancelos, Minhotães e Monte de Fralães e União das freguesias de Negreiros e Chavão, do concelho de Barcelos.

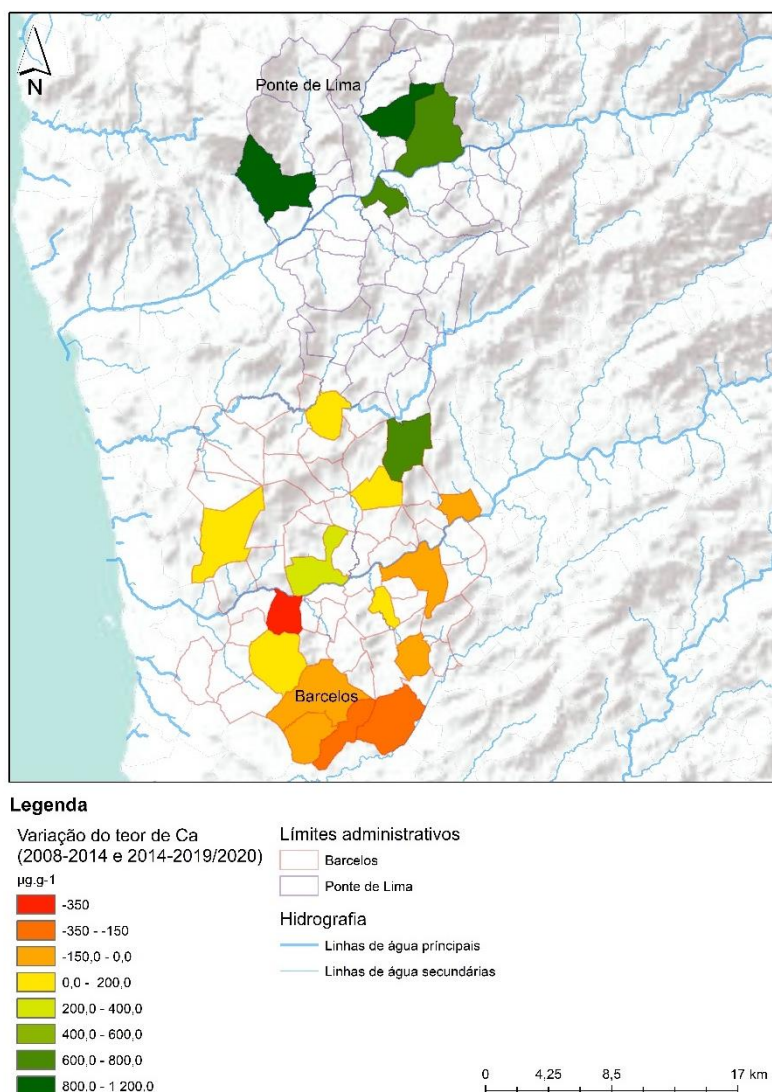


Figura 4. 25. Diferença temporal e espacial do teor de cálcio nos concelhos de Barcelos e Ponte de Lima no período de 2008-2013 e 2014-2019/2020.

A diferença entre a relação cálcio/magnésio é perceptível através da Figura 4.26, onde podemos verificar que diminui bastante na freguesia de Gilmonde (concelho de Barcelos) e aumentou nas freguesias de São Pedro d’Arcos, Arca e Ponte de Lima e Calheiros (concelho de Ponte de Lima).

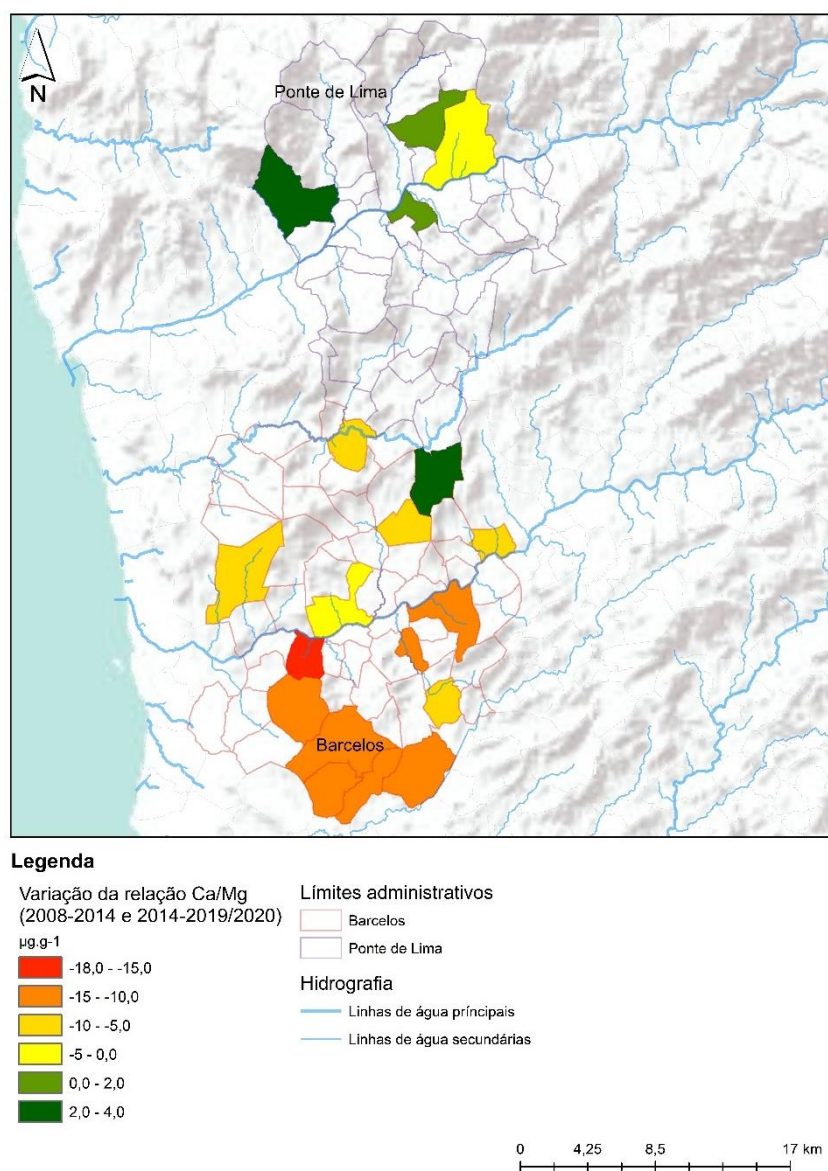


Figura 4. 26. Diferença temporal e espacial da relação cálcio/magnésio nos concelhos de Barcelos e Ponte de Lima no período de 2008-2013 e 2014-2019/2020.

## 5. Discussão

A partir dos resultados exibidos no ponto 4 deste trabalho podemos concluir que tanto no concelho de Barcelos como de Ponte de Lima não apresentaram alterações importantes de pH no período de tempo analisado. O facto de os valores estarem estabilizados é um atributo favorável, pois significa que não se tem verificado uma acidificação dos solos, ao contrário do que seria esperado, pois a acidificação é efetivamente um dos maiores problemas que os solos têm a nível mundial (FAO, 2015c).

Pela análise da Figura 4.20 apesar de os valores serem estáveis houve uma variação positiva na União de freguesias de Alheira e Igreja Nova do concelho de Barcelos.

No concelho de Barcelos os teores de matéria orgânica entre 2008 e 2019 têm uma tendência de diminuição, que está de acordo com o que acontece no resto do país e do mundo, relativamente a questões de aquecimento global. Esta tendência decrescente visualiza-se particularmente em todas as freguesias, com a exceção de Gilmonde e União de freguesias de Alheira e Igreja Nova. A região mediterrânica exibe valores de matéria orgânica baixas relativamente a outras regiões europeias (Grilli *et al.*, 2021). Dado o elevado efetivo pecuário desta região não se justificam tais valores, a não ser que a matéria orgânica veiculada pelos efluentes pecuários não se traduza num aumento de matéria orgânica a médio e longo prazo.

Segundo os dados obtidos pelo INE (2021) através do recenseamento agrícola efetuado em 2019, a região agrária do Entre Douro e Minho apresentava 44 560 explorações com uma superfície agrícola utilizada de 212 639 ha e um efetivo pecuário de cerca de 237 875 cabeças normais. O município de Barcelos apresentava, em 2019, um total de 2 164 explorações agrícolas e cerca de 10 412 ha de SAU. Este concelho apresenta valores mais altos relativos ao número de explorações e SAU comparativamente aos restantes concelhos da sub-zona do Cávado (INE, 2019), que se reflete numa produção de efluentes de bovinos de 21,88 m<sup>3</sup>/ha de área agrícola e florestal (ENEAPAI, 2020).

Relativamente aos teores de potássio no concelho de Barcelos existe uma tendência decrescente entre 2008-2019. Grande parte do potássio encontra-se no solo sob formas não assimiláveis para as plantas o que potencia a grandes reservas (LQARS, 2000). No entanto, estes factos não vão de encontro com os resultados obtidos. Os fatores que podem levar à diminuição de potássio no solo são as práticas culturais inadequadas e excessivas, agricultura intensiva e fertilização mal dimensionada. Outro motivo que possa justificar

esta tendência decrescente nos teores de potássio prende-se com a textura predominante do solo (maioritariamente classes de textura franco-arenosas) que potencia alguma perda de potássio por lixiviação (Murrell *et al.*, 2021).

Os teores de fósforo para o concelho de Barcelos são altos e tem uma tendência crescente aproximadamente em todas as freguesias no intervalo do estudo. O fósforo como nutriente pode estar disponível no solo, porém, as características físicas como o pH, temperatura e humidade não permitem que esteja disponível para a cultura, o que significa que os solos poderão reter este nutriente de formas não assimiláveis para as culturas (LQARS, 2000). No entanto, segundo Shafqat & Pierzynski (2011), os efluentes pecuários normalmente possuem grandes quantidades de fósforo biodisponível o que constitui um risco agravado de eutrofização das águas. A riqueza dos efluentes pecuários em fósforo pode ficar a dever-se a vários factos entre eles a dieta dos animais (Fornara *et al.*, 2022).

O teor de magnésio presente nos solos do concelho de Barcelos possui valores médios, apesar de no intervalo de 2013 a 2018 ter sofrido um declínio. Segundo Portela e Louzada (2007), a falta de magnésio é frequente em solos ácidos, cuja composição é pobre neste nutriente e é ainda acentuada por práticas culturais desajustadas ou fatores locais. Globalmente, em todo o período estudado, os teores de magnésio não sofreram grande alteração o que se poderá dever ao facto de na sua constituição os solos da região Norte, possuírem minerais de origem magnesiana (Portela e Louzada, 2007).

No concelho de Ponte de Lima existe diversas discrepâncias nos valores obtidos para os teores de matéria orgânica, potássio, fósforo e magnésio, podendo esta variabilidade dos dados dever-se ao facto de o Laboratório de solos da ESA-IPVC realizarem análises de ensaios e/ou experiências de âmbito académico, e estes serem contabilizados como análises provenientes de Ponte de Lima, quando na realidade não o são e, portanto, dificultando a análise dos resultados.

Da análise da Figura 4.17 e 4.18, respetivamente os teores de cálcio e magnésio no concelho de Ponte de Lima, percebe-se uma grande coincidência no comportamento destes elementos minerais no ano de 2011. Apesar de no tratamento estatístico dos outliers não termos retirado estes valores, esta semelhança entre os dois elementos e discrepância dos restantes anos leva-nos a supor que se tratará de amostras de ensaios/experiências e não de solos naturais.

A relação cálcio/magnésio para ambos os concelhos, decresce ao longo do período em estudo. O seu défice pode ser justificado por problemas do solo de natureza física, ou seja, devido a problemas de estrutura ou de má drenagem. Nota-se ainda que as situações deficitárias ocorrem geralmente em solos ácidos (LQARS, 2000).

## 6. Conclusões

O principal objetivo deste trabalho era realizar um estudo temporal e espacial dos resultados de solos que deram entrada no laboratório de solos da ESA-IPVC nos últimos 20 anos. Contudo, a estruturação da base de dados foi complexa, não só pelas questões de diferenças na nomeação das freguesias, mas sobretudo por não termos uma base geográfica, dados do parcelário e a freguesia exata de onde a amostra era proveniente. Muitas das vezes, as informações da localização da amostra são de quem as entrega, quer produtores individuais quer cooperativas, e não das respetivas parcelas. Depois de uma reestruturação minuciosa e trabalhosa dos dados, tivemos que restringir os dados à região agrária do Entre Douro e Minho, dos quais se destacaram os concelhos de Barcelos e Ponte de Lima. A análise detalhada centra-se nestes dois municípios devido a fatores de abundância de resultados de amostras e qualidade desses mesmo resultados.

O concelho de Barcelos no período de 2008-2019 registou um pH estável, não havendo alterações significativas. O teor de matéria orgânica, potássio e a relação cálcio/magnésio tiveram uma tendência decrescente, enquanto teor de fósforo foi progredindo ao longo do período estudado.

Existe uma grande variabilidade dos dados no concelho de Ponte de Lima, no período de 2008-2020, pelo que não foi possível realizar uma análise precisa dos parâmetros estudados. Esta variabilidade pode dever-se ao facto das amostras provenientes de ensaios e/ou experiências académicas serem registadas como sendo uma amostra de um solo natural. De forma a obter resultados mais conclusivos sugere-se futuramente a implementação de um código próprio ou uma base de dados distinta para esse tipo de amostras. A junção de amostras de ensaios ou experiências com amostras dos produtores agrícolas influenciam nos resultados e vão perturbar qualquer tipo de análises que se façam para o município de Ponte de Lima, quer temporal quer espacialmente.

Dadas as características atuais da agricultura, as exigências da PAC, as exigências das estratégias europeias da proteção dos solos e da biodiversidade, as exigências do Green Deal e da estratégia Farm to Fork é imperativo que as análises de solo sejam georreferenciadas. O desenvolvimento sustentável do futuro agrícola só será atingido através da adoção de recursos tecnológicos que sejam capazes de promover simultaneamente um melhoramento do potencial dos nossos solos.

## 7. Referências Bibliográficas

- Acquanativa, s/d. Qual a importância do pH? URL: <https://www.acquanativa.com.br/aplicacoes/medidor-de-ph.html>
- Alvarez, R., e Steinbach, S., H., 2006. Changes in soil organic carbon contents and nitrous oxide emissions after introduction of no-till in Pampean agroecosystems. *J Environ Qual.* 35: 3-13.
- AmbScience, s/d. Principais causas de solos contaminados. URL: <https://ambscience.com/solos-contaminados/>
- Araújo, E., Ker, J. C., Neces, J. C. L. e Lani, J., 2012. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. *Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias*, 5, 187-206.
- Arrobas, M. 2010. Manual de boas práticas em espaços verdes. Câmara Municipal de Bragança. 87-92.
- Banwart, S., 2011. Save our soils. *Nature*. Vol. 474 151-152.
- Barros, J. F. C., 2020. Fertilidade do solo e nutrição das plantas. Texto de apoio para os alunos. Universidade de Évora: Escola de Ciências e Tecnologia. Departamento de Fitotecnia. 7-10.
- Brito, L. M., 2017a. Compostagem, fertilização do solo e substratos. Publindústria, Edições Técnicas (Ed). Engebook - Conteúdos de Engenharia e Gestão, Porto, 167 pp.
- Brito, L.M. 2017b. Importância da matéria orgânica do solo para a sustentabilidade da floresta e da paisagem do Minho. Centro de Estudos Regionais (ed.), *Revista Estudos Regionais 2ª Série*, 11: 13-23.
- Calvo, S. M., 1999. Contaminación del suelo: estudios, tratamiento y gestión. Ediciones Mundi-Prensa. 352 pp.
- Carvalho, M., 2019. A importância da matéria orgânica do solo na produção agrícola e o papel dos adubos orgânicos. *Agrotec*, Ed. Nº30, 2-4.
- Carvalho, M., Bash, G., Calado, J. M. G., e Barros, J. F.C., 2012. Long Term Effect of Tillage System and Crop Residue Management on Soil Carbon Content of a Luvisol Under Rainfed Mediterranean Conditions. *Sociedade Uruguaia de Ciência do Solos*. 183-187.
- CCE, 2006. Proposta de Diretiva do Parlamento Europeu e do Conselho que estabelece um quadro para a proteção do solo e altera a Diretiva 2004/35/CE. Bruxelas. 31 pp.
- Coelho, J. P. C. e Silva, K. R. M., 2009. Inovação e tecnologia na formação agrícola. *Associação dos Jovens Agricultores*. 141.

Colaço, A. F. e Molin, J. P., 2014. Amostragem georreferenciada. Agricultura de Precisão – Boletim técnico 02. 2-4.

Comission of the European Communities, 2002. Communication from the commission to the council, the european parliament, the economic and social committee and the committee of the regions - Towards a Thematic Strategy for Soil Protection. Bruxelas. 35 pp.

Costa, J. B., 2004. Caraterização e Constituição do Solo. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 7ª Edição. 528 pp.

Costa, J. B., 2011. Caraterização e constituição do solo. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa. 533 pp.

Dinis, M. A. P. e Fraga, H., 2005. Poluição dos solos: riscos e consequências. Edições Universidade Fernando Pessoa. 6 pp.

ENEAPAI 2030, 2020. Estratégia Nacional para os Efluentes Agropecuários e Agroindustriais. Secretaria de Estado da Agricultura e do Desenvolvimento Rural. 14.

FAO, 2015a. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo 2014. Sistema Internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Actualización 2015. Oficina de Textos, 2ª Ed, 152-184.

FAO, 2015b. Revised world soil charter. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 7 pp.

FAO, 2015c. Status of the world's soil resources – Main report. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 650 pp.

Fernandes, R.C., Cordovil, C.M. e Varennes, A., 2009. Use of Organic Residues to recover Nutrients and Organic Matter Pools in burned soils. Instituto Superior de Agronomia. Lisboa, Portugal.

Ferreira, A. J. P., 2000. *Dados geoquímicos de base de sedimentos fluviais de amostragem de baixa densidade de Portugal Continental: estudo de fatores de variação regional*. Dissertação de doutoramento. Universidade de Aveiro. 234 pp.

Florestas, 2021. Quais são as principais ameaças do solo? URL: <https://florestas.pt/saiba-mais/quais-sao-as-principais-ameacas-ao-solo/>

Fonseca, F. F., Nogueira, T. e Queirós, C. A., 2017. Effect of prescribed fire on soil properties and soil erosion in a mediterranean moutain área. Geoderma. 307: 172.

Fornara, D., Ball, E., Mulvenna, C., Reyer, H., Oster, M., Wimmers, K., Poulsen, H. e Rosemarin, Arno. 2022. Soil and plant responses to phosphorous inputs from diferente phytase-associated animal diets. Agronomy. 16 pp.

Gebbers, R., e Adamchuk, V., 2010. Precision agriculture and food security. Science 327. 828-831.

Globo Rural, 2014. 4 fatores que causam degradação do solo na agricultura. URL: <https://revistagloborural.globo.com/Noticias/Agricultura/noticia/2014/12/4-motivos-que-causam-degradacao-do-solo-na-agricultura.html>

Gomes, C.A. e Lanceiro, R. T., 2019. Atas do colóquio – solos contaminados, riscos invisíveis. Instituto de Ciências Jurídico-Políticas, Centro de Investigação de Direito Público. 15.

Gomes, F. A. M., e Filizola, F.M., 2006. Indicadores físicos e químicos de qualidade do solo de interesse agrícola. Embrapa Meio Ambiente. 8 pp.

GPP – Gabinete de Planeamento, Políticas e Administração Geral, 2015. Cultivar – Cadernos de análise e prospetiva. Príncipe Editora, Lda. 130 pp.

Grilli, E., Carvalho, S., Chiti, T., Coppola, E., D’Ascoli, R., Mantia, T., Marzaioli, R., Mastrocicco, M., Pulido, F., Rutigliano, F., Quattrin, P. e Castaldi, S., 2021. Critical range of soil organic in Southern Europe lands under desertification risk. Journal of Environmental Management. 12 pp.

Gutiérrez, M.M., Fonseca, F., Figueiredo, T. e Sánchez, B. A., 2018. Evaluación y propuestas de mejora de suelos dedicados a diferentes usos en un sector del Parque Natural de Montesinho, Portugal. Spanish Journal of Soil Science, Volume 8, 25.

Howard, A., 2012. Um testamento agrícola; tradução Prof. Eli lino de Jesus, 2 ed. São Paulo: Expressão Popular, 360 pp.

INE, 2019. URL: [https://www.ine.pt/documentos/anuario/AER2020\\_III\\_05.xlsx](https://www.ine.pt/documentos/anuario/AER2020_III_05.xlsx)

INE, 2021. Recenseamento Agrícola – Análise dos principais resultados – 2019. Instituto Nacional de Estatística, I.P. 166 pp.

ISPA, s/d. Precision Ag definition. URL: <https://www.ispag.org/about/definition?fbclid=IwAR1EMbOuWu2ayCp94MBrbnwxDmMwO5vif9dDxFZeL3Rjwxzhjt1ln7TisTI>.

Lepsch, I., F., 2010. Formação e Conservação dos Solos. Oficina de Textos, 2ª Ed, 113.

Lopes, A. S. e Guilherme, L. R. G., 2007. Fertilidade do solo e produtividade agrícola. SBCE, Viçosa. 61 pp.

LQARS, 2000. Manual de fertilização das culturas. Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva. 223 pp.

Machado, B. F. S., 2018. A conservação de solos em Portugal continental – Centro experimental de erosão de solos de Vale Formoso. Dissertação de Mestrado em Gestão

do Território. Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Nova de Lisboa. 94 pp.

Marcelino, V., Torres, N., Portela, E., e Martins, A., 2000. Soil physical properties and the occurrence of chestnut ink disease: a micromorphological study, *Ecologia Mediterranea*. 26: 129-135.

McCauley, A., Jones, C., e Jacobsen, J., 2009. Soil pH and Organic Matter. In *Nutrient Management*.

Murrell, T., Mikkelsen, R., Sulewski, G., Norton, R. e Thomposon, M., 2021. Improving potassium recommendations for agricultural crops. Springer. 455 pp.

Neina, D., 2019. The role of soil pH in plant nutrition and soil remediation. *Hindawi*. 3 nov. 9.

Pereira, K. R. B., 2019. Propriedades físico-químicas de solos com diferentes teores de matéria orgânica nas regiões de montanha no nordeste de Portugal. Dissertação de Mestrado em Agroecologia. Instituto Politécnico de Bragança. 72 pp.

Presidência do Conselho de Ministros, 2014. Resolução do Conselho de Ministros n.º 78/2014, Série I de 2014-12-24. 6242-6259. URL: <https://dre.pt/dre/detalhe/resolucao-conselho-ministros/78-2014-65983231>

Primavesi, A., 2003. Revisão do conceito de agricultura orgânica: conservação do solo e seu efeito sobre a água. *Biológico*, São Paulo, v.65, n.1/2, 72.

Reichert, M. J., Reinert, D. J. e Braida, J.A., 2003. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. *Ciência e Ambiente*, 48 pp.

Resende, A. V., e Coelho, A. M., 2017. Amostragem para mapeamento e manejo da fertilidade do solo na abordagem de agricultura de precisão. IPNI. 8.

Ribeiro, J. O., 2013. Aplicação de cinza de biomassa no solo: estudo do perfil lixiviado. Tese de Mestrado. Universidade de Aveiro. 14-24.

Santana, D. P., Bahia, F. e António, F. C., 1999. Indicadores de qualidade do solo. *Embrapa Milho e Sorgo*. 8 pp.

Santos, E. L., Yokoya, E., Grossklauss, D. B.S., Bueno, J. R. P., e Gasperoto, H. H. J., 2017. Análise do solo com aplicação do georreferenciamento. *Revista Científica UNAR*. v.14, n.1, 50-58.

Santos, F., 2009. A agricultura de precisão. Universidade Trás-os-Montes. 69 pp.

Santos, J.Q. (2015). Fertilização: Fundamentos da utilização dos adubos e corretivos. Lisboa, Portugal: Publindústria, Edições Técnicas.

Shafqat, M. e Pierzynski, G., 2011. Bioavailable phosphorus in animal waste amended soils: using actual crop uptake and P mass balance approach. *Environmental Science & Technology*. 45, 8217-8224.

Telabpour, B., Türker, U., e Yegül, U., 2015. The role of precision agriculture in the promotion of food security. *Internacional Journal of Agricultural and Food Research*. 4 (1). 1-23.

Terraprima, s/d. Matéria orgânica do solo. URL: <https://www.terraprima.pt/pt/pagina/8> consultado em maio de 2021.

Tschiedel, M. e Ferreira, M. F., 2002. Introdução à agricultura de precisão: conceitos e vantagens. *Ciência Rural*. V. 32, n.1. 159-163.

Ucanorte, s/d. A importância de corrigir o pH do solo. URL: <https://www.ucanorte.pt/destaques/artigos-tecnicos/a-importancia-de-corrigir-o-ph-do-solo/>

Varenes, A., 2003. Produtividade dos solos e ambiente. Escolar Editora. 33.

Vilela, A. M. A., 2017. Influência do tipo de coberto vegetal nas propriedades físicas e químicas dos horizontes orgânicos e minerais do solo. Dissertação de Mestrado. Instituto Politécnico de Bragança. 61 pp.

## **8. Anexos**

## FICHA INFORMATIVA DE AMOSTRA DE TERRA

### Informação Sobre a Origem da Amostra de Terra

### Informação do Laboratório

Data de Colheita		Data de Recepção	
Referência		nº Laboratório	
Propriedade		Análise	Resultado
Lugar		Observação	
Freguesia		Textura	
Concelho		pH (H <sub>2</sub> O)	
Profundidade (cm)		M.Org. (%)	
Cultura a realizar		P2O <sub>5</sub> (ug.g-1)	
Produção esperada		K <sub>2</sub> O (ug.g-1)	
Área do campo:			
Última Cultura			
Dados Georreferenciação			
Textura: Método Manual			
pH: Extracto em água			
Matéria orgânica: Colorimétrico			
P2O <sub>5</sub> : Método colorimétrico Egner-Rien/H <sub>2</sub> O			
K <sub>2</sub> O: Fotometria de chama Egner-Rien/H <sub>2</sub> O			
(*) - Extrato aquoso 1/5			
% N Total : Kjeldahl			
Ca e Mg: Absorção atómica / H <sub>2</sub> O/Acetato de amoni			
Azoto Mineral (Nmin)ppm: Extracto H <sub>2</sub> O 1/5 e			
electrodo de iões selectivo			
Micronutrientes - Lakanen - SAA			
Telefone			
Contribuinte nº			
Data entrega			
p' O responsável			

Anexo II – Teste qui-quadrado e V de Cramer para o concelho de Barcelos no período de 2008-2019 entre textura e freguesia.

Testes qui-quadrado			
	Valor	df	Significância Sig. (2 lados)
Qui-quadrado de Pearson	481,442 <sup>a</sup>	280	,000
Razão de verossimilhança	332,626	280	,017
N de Casos Válidos	1112		

- a. 301 células (88,0%) esperavam uma contagem menor que 5. A contagem mínima esperada é ,00.

Medidas Simétricas

	Valor	Aprox. Sig.
Nominal por Nominal      Phi	,658	,000
V de Cramer	,294	,000
N de Casos Válidos	1112	

Anexo III - Teste qui-quadrado para o concelho de Ponte de Lima no período de 2008-2020 entre textura e freguesia.

Testes qui-quadrado			
	Valor	df	Significância Sig. (2 lados)
Qui-quadrado de Pearson	122,775 <sup>a</sup>	150	,949
Razão de verossimilhança	143,846	150	,626
N de Casos Válidos	751		

- a. 166 células (89,2%) esperavam uma contagem menor que 5. A contagem mínima esperada é ,00.

Anexo IV - Estatística descritiva para o concelho de Barcelos por classes de fertilidade para o pH do solo, matéria orgânica, potássio, fósforo e magnésio em 2008 e 2019.

**Obs\_pH<sup>a</sup>**

		Frequência	Porcentagem	Porcentagem válida	Porcentagem acumulativa
Válido	Ácido	130	60,7	60,7	60,7
	Muito Ácido	4	1,9	1,9	62,6
	Pouco Ácido	80	37,4	37,4	100,0
	Total	214	100,0	100,0	

a. Ano = 2008

**Obs\_pH<sup>a</sup>**

		Frequência	Porcentagem	Porcentagem válida	Porcentagem acumulativa
Válido	Ácido	7	50,0	50,0	50,0
	Neutro	2	14,3	14,3	64,3
	Pouco Ácido	5	35,7	35,7	100,0
	Total	14	100,0	100,0	

a. Ano = 2019

**Obs\_MO<sup>a</sup>**

		Frequência	Porcentagem	Porcentagem válida	Porcentagem acumulativa
Válido	Alto	101	47,2	47,2	47,2
	Baixo	3	1,4	1,4	48,6
	Médio	105	49,1	49,1	97,7
	Muito Alto	5	2,3	2,3	100,0
	Total	214	100,0	100,0	

a. Ano = 2008

**Obs\_MO<sup>a</sup>**

		Frequência	Porcentagem	Porcentagem válida	Porcentagem acumulativa
Válido	Alto	3	21,4	21,4	21,4
	Médio	9	64,3	64,3	85,7
	Muito Alto	1	7,1	7,1	92,9
	Muito Baixo	1	7,1	7,1	100,0
	Total	14	100,0	100,0	

a. Ano = 2019

Obs\_K20<sup>a</sup>

		Frequência	Porcentagem	Porcentagem válida	Porcentagem acumulativa
Válido	Alto	37	17,3	17,3	17,3
	Médio	48	22,4	22,4	39,7
	Muito Alto	129	60,3	60,3	100,0
	Total	214	100,0	100,0	

a. Ano = 2008

Obs\_K20<sup>a</sup>

		Frequência	Porcentagem	Porcentagem válida	Porcentagem acumulativa
Válido	Baixo	1	7,1	7,1	7,1
	Médio	3	21,4	21,4	28,6
	Muito Alto	7	50,0	50,0	78,6
	Muito Baixo	3	21,4	21,4	100,0
	Total	14	100,0	100,0	

a. Ano = 2019

Obs\_P205<sup>a</sup>

		Frequência	Porcentagem	Porcentagem válida	Porcentagem acumulativa
Válido	Alto	41	19,2	19,2	19,2
	Baixo	10	4,7	4,7	23,8
	Médio	76	35,5	35,5	59,3
	Muito Alto	74	34,6	34,6	93,9
	Muito Baixo	13	6,1	6,1	100,0
	Total	214	100,0	100,0	

a. Ano = 2008

Obs\_P205<sup>a</sup>

		Frequência	Porcentagem	Porcentagem válida	Porcentagem acumulativa
Válido	Médio	4	28,6	28,6	28,6
	Muito Alto	8	57,1	57,1	85,7
	Muito Baixo	2	14,3	14,3	100,0
	Total	14	100,0	100,0	

a. Ano = 2019

Obs_Mg <sup>a</sup>				
	Frequência	Porcentagem	Porcentagem válida	Porcentagem acumulativa
Válido	20	9,3	9,3	9,3
Alto	42	19,6	19,6	29,0
Baixo	42	19,6	19,6	48,6
Médio	44	20,6	20,6	69,2
Muito Alto	50	23,4	23,4	92,5
Muito Baixo	16	7,5	7,5	100,0
Total	214	100,0	100,0	

a. Ano = 2008

Obs_Mg <sup>a</sup>				
	Frequência	Porcentagem	Porcentagem válida	Porcentagem acumulativa
Válido Alto	6	42,9	42,9	42,9
Baixo	1	7,1	7,1	50,0
Médio	4	28,6	28,6	78,6
Muito Alto	2	14,3	14,3	92,9
Muito Baixo	1	7,1	7,1	100,0
Total	14	100,0	100,0	

a. Ano = 2019

Anexo V - Estatística descritiva para o concelho de Ponte de Lima por classes de fertilidade para o pH do solo, matéria orgânica, potássio, fósforo e magnésio em 2008 e 2020.

Obs_pH <sup>a</sup>				
	Frequência	Porcentagem	Porcentagem válida	Porcentagem acumulativa
Válido Ácido	43	86,0	86,0	86,0
Neutro	1	2,0	2,0	88,0
Pouco Ácido	6	12,0	12,0	100,0
Total	50	100,0	100,0	

a. Ano = 2008

		Obs_pH <sup>a</sup>			
		Frequência	Porcentagem	Porcentagem válida	Porcentagem acumulativa
Válido	Ácido	41	78,8	78,8	78,8
	Muito Ácido	2	3,8	3,8	82,7
	Pouco Ácido	9	17,3	17,3	100,0
	Total	52	100,0	100,0	

a. Ano = 2020

		Obs_MO <sup>a</sup>			
		Frequência	Porcentagem	Porcentagem válida	Porcentagem acumulativa
Válido	Alto	10	20,0	20,0	20,0
	Baixo	8	16,0	16,0	36,0
	Médio	28	56,0	56,0	92,0
	Muito Alto	4	8,0	8,0	100,0
	Total	50	100,0	100,0	

a. Ano = 2008

		Obs_MO <sup>a</sup>			
		Frequência	Porcentagem	Porcentagem válida	Porcentagem acumulativa
Válido	Alto	23	44,2	44,2	44,2
	Baixo	4	7,7	7,7	51,9
	Médio	24	46,2	46,2	98,1
	Muito Baixo	1	1,9	1,9	100,0
	Total	52	100,0	100,0	

a. Ano = 2020

		Obs_K2O <sup>a</sup>			
		Frequência	Porcentagem	Porcentagem válida	Porcentagem acumulativa
Válido	Alto	13	26,0	26,0	26,0
	Baixo	2	4,0	4,0	30,0
	Médio	19	38,0	38,0	68,0
	Muito Alto	16	32,0	32,0	100,0
	Total	50	100,0	100,0	

a. Ano = 2008

**Obs\_K20<sup>a</sup>**

		Frequência	Porcentagem	Porcentagem válida	Porcentagem acumulativa
Válido	Alto	13	25,0	25,0	25,0
	Baixo	5	9,6	9,6	34,6
	Médio	28	53,8	53,8	88,5
	Muito Alto	6	11,5	11,5	100,0
	Total	52	100,0	100,0	

a. Ano = 2020

**Obs\_P205<sup>a</sup>**

		Frequência	Porcentagem	Porcentagem válida	Porcentagem acumulativa
Válido	Alto	7	14,0	14,0	14,0
	Baixo	16	32,0	32,0	46,0
	Médio	14	28,0	28,0	74,0
	Muito Alto	3	6,0	6,0	80,0
	Muito Baixo	10	20,0	20,0	100,0
	Total	50	100,0	100,0	

a. Ano = 2008

**Obs\_P205<sup>a</sup>**

		Frequência	Porcentagem	Porcentagem válida	Porcentagem acumulativa
Válido	Baixo	9	17,3	17,3	17,3
	Médio	11	21,2	21,2	38,5
	Muito Alto	4	7,7	7,7	46,2
	Muito Baixo	28	53,8	53,8	100,0
	Total	52	100,0	100,0	

a. Ano = 2020

Obs_Mg <sup>a</sup>				
	Frequência	Porcentagem	Porcentagem válida	Porcentagem acumulativa
Válido	15	30,0	30,0	30,0
Alto	4	8,0	8,0	38,0
Baixo	2	4,0	4,0	42,0
Médio	4	8,0	8,0	50,0
Muito Baixo	25	50,0	50,0	100,0
Total	50	100,0	100,0	

a. Ano = 2008

Obs_Mg <sup>a</sup>				
	Frequência	Porcentagem	Porcentagem válida	Porcentagem acumulativa
Válido Alto	10	19,2	19,2	19,2
Baixo	11	21,2	21,2	40,4
Médio	24	46,2	46,2	86,5
Muito Alto	7	13,5	13,5	100,0
Total	52	100,0	100,0	

a. Ano = 2020