



Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia

Mestrado em Engenharia Agronómica

Dissertação

Avaliação da aplicação de composto na qualidade física e química do solo em olivicultura: caracterização da situação inicial

Jacqueline da Silva Leal

Orientador(es) | Carlos Alexandre

Évora 2022



Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia

Mestrado em Engenharia Agronómica

Dissertação

Avaliação da aplicação de composto na qualidade física e química do solo em olivicultura: caracterização da situação inicial

Jacqueline da Silva Leal

Orientador(es) | Carlos Alexandre

Évora 2022



A dissertação foi objeto de apreciação e discussão pública pelo seguinte júri nomeado pelo Diretor da Escola de Ciências e Tecnologia:

Presidente | Vasco Fitas da Cruz (Universidade de Évora)

Vogais | Carlos Alexandre (Universidade de Évora) (Orientador)
Gottlieb Basch (Universidade de Évora) (Arguente)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que me acompanharam na conclusão deste trabalho e que me apoiaram durante o mestrado na Universidade de Évora.

Ao meu orientador, Professor Carlos Alberto de Jesus Alexandre, pela ajuda, pelo apoio e disponibilidade durante toda a elaboração do trabalho. Por partilhar o seu conhecimento e principalmente por toda sua paciência na revisão e melhoria da dissertação. Por todas as recomendações e bons conselhos primordiais para a estruturação da mesma.

Ao coordenador do projecto, Professor José Oliveira Peça, gostaria de agradecer a oportunidade que me proporcionou em realizar este trabalho com o grupo do projecto TECOLIVE.

À minha família, próxima e distante, dedico o meu reconhecimento por todos os momentos de apoio. Apesar do período difícil, os valores que me transmitiram contribuíram nesta fase do meu percurso para perseverar sendo essenciais na conclusão desta tese. Uma palavra especial ao meu namorado pelo apoio fundamental em todas as situações. Aos meus amigos portugueses que através do acolhimento e alegria, fizeram com que eu mantivesse entusiasmo e ânimo para a elaboração deste trabalho.

E por fim, a todos os colaboradores que participaram e permitiram a realização deste projecto, na Herdade Torre das Figueiras e nos laboratórios de solo da Universidade de Évora no pólo da Mitra, e em especial, aos técnicos do laboratório de Geociências no pólo Verney.

Trabalho realizado no âmbito do Grupo Operacional PDR2020-101-031763 "Técnicas e Tecnologia para valorização de subprodutos em olivicultura – TECOLIVE".

RESUMO

A realização prévia do levantamento das características dos solos é uma etapa imprescindível antes de qualquer operação agrícola.

No âmbito de um projeto para avaliar o efeito do composto biológico no solo, realizou-se um ensaio com aplicação na linha em olival, envolvendo três classes de tratamentos: 0 kg/m², 2.5 kg/m² e 5 kg/m². O objetivo foi caracterizar antes da aplicação do composto, as propriedades físicas e químicas do solo. Comparar linha e entrelinha, quantificar a manta morta após 5 meses da aplicação e avaliar o uso do método NIR.

Houve homogeneidade dos dados físicos e químicos na linha. No entanto, houve diferenças significativas entre linha e entrelinha em razão da compactação sempre mais importante nas áreas intermediárias às linhas. A quantidade de manta morta após a aplicação, aumentou a heterogeneidade. A previsão do carbono pelo método NIR é viável, mas esta técnica é menos eficaz para o fósforo e potássio.

PALAVRAS-CHAVE: Solo; Compostagem; Olival; NIR; Matéria orgânica do solo

Evaluation of compost application in the physical and chemical quality of soil in olive cultivation : characterization of the initial situation

ABSTRACT

The previous survey of soil characteristics is an essential step before any agricultural operation.

As part of a project to evaluate the effect of the biological compound on the soil, a test was carried out with application in the olive grove, involving three classes of treatments: 0 kg/m², 2.5 kg/m² and 5 kg/m². The objective was to characterize, before the application of the compost, the physical and chemical properties of the soil. Compare line and line, quantify the dead blanket after 5 months of application and evaluate the use of the NIR method.

There was homogeneity of physical and chemical data on the line. However, there were significant differences between rows and between rows due to the increasingly important compaction in the intermediate areas to the rows. The amount of dead mantle after application increased the heterogeneity. Carbon prediction by the NIR method is feasible, but this technique is less effective for phosphorus and potassium.

KEYWORDS: Soil; Composting; Olive growing; NIR; Soil organic matter

Évaluation de l'application du compost sur la qualité physique et chimique du sol en oléiculture : caractérisation de l'état initial

RÉSUMÉ

L'étude préalable des caractéristiques du sol est une étape essentielle avant toute opération agricole.

Dans le cadre d'un projet d'évaluation de l'effet d'un compost biologique sur le sol, un essai a été réalisé sous les rangs d'oliviers, impliquant trois classes de traitements : 0 kg/m², 2,5 kg/m² et 5 kg/m². L'objectif était de caractériser, avant l'application du compost, les propriétés physiques et chimiques du sol. Comparer rang et interrang, quantifier les résidus après 5 mois d'application et évaluer l'utilisation de la méthode NIR.

Les paramètres physiques et chimiques étaient homogènes sur le rang. Cependant, il y avait des différences significatives entre les rangs et les interrangs en raison du compactage de plus en plus important dans les interrangs. La quantité de résidus après application a augmenté l'hétérogénéité. La prédiction du carbone par la technique NIR est viable, néanmoins, cette méthodologie est moins efficace pour le phosphore et de potassium.

MOTS CLÉS : Sol ; Compostage ; Oliveraie ; NIR ; Matière organique du sol

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS.....	I
RESUMO	II
ÍNDICES DE TABELAS	VIII
ÍNDICES DE FIGURAS E DE GRÁFICOS.....	IX
LISTA DE SIGLAS E DE ABREVIATURAS.....	XII
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. Olivicultura no Mundo e em Portugal	3
2.2. Qualidade dos solos na Olivicultura	3
2.3. Indicadores da Qualidade Física e Química do Solo.....	4
2.4. A importância da compostagem para o solo.....	11
3. MATERIAL E MÉTODOS	12
3.1. Características gerais da área de estudo.....	12
3.2. Caracterização edafoclimática.....	13
3.2.1. Caracterização do clima da região	13
3.2.2. Características dos solos dos olivais em estudos.....	16
3.3. Características do composto	18
3.4. Métodos laboratoriais	18
3.4.1. Quantificação dos resíduos do solo	18
3.4.2. Determinação da massa volúmica aparente.....	18
3.4.3. Determinação da Humidade do solo	19
3.4.4. Porosidade total	20
3.4.5. Permeabilidade e determinação da condutividade hidráulica saturada, k_s	20
3.4.6. Análise da distribuição e estabilidade dos agregados	22

3.4.7.	Determinação da fracção grosseira e da fracção fina do solo	23
3.4.8.	Determinação da textura do solo	23
3.4.9.	Determinação do carbono orgânico presente na matéria orgânica particulada (POM-C) e do carbono orgânico total no solo (SOC)	23
3.4.10.	Quantificação do teor de carbono oxidável (POX-C) em solução de permanganato de potássio.	24
3.4.11.	Determinação do pH.....	25
3.4.12.	Quantificação do fósforo (P ₂ O ₅) e potássio (K ₂ O) extraíveis.....	25
3.4.13.	Espectroscopia de infravermelho próximo (NIR) na determinação de atributos químicos orgânicos e inorgânicos do solo	26
3.5.	Abordagem experimental.....	27
3.5.1.	Delineamento experimental	27
3.5.2.	Amostragem do solo	28
3.5.3.	Notação e tratamento estatístico dos dados.....	30
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1.	Caracterização física do solo	31
4.1.1.	Determinação da fracção grosseira e da fracção fina do solo (g/kg).....	31
4.1.2.	Textura do solo.....	33
4.1.3.	Quantificação da Manta Morta à superfície do solo	34
4.1.4.	Distribuição dos agregados	38
4.1.5.	Estabilidade da agregação.....	42
4.1.6.	Massa volúmica aparente (MVA).....	44
4.1.7.	Porosidade total	48
4.1.8.	Condutividade hidráulica saturada, ks	51
4.2.	Caracterização química do solo	54
4.2.1.	Carbono orgânico total no solo (SOC).....	54

4.2.2.	Carbono orgânico presente na matéria orgânica particulada (POM-C)	55
4.2.3.	Teor de carbono oxidável (POX-C) em solução de permanganato de potássio	56
4.2.4.	Determinação do pH	57
4.2.5.	Determinação do fósforo (P_2O_5) e do potássio (K_2O) extraíveis	59
4.3.	Correlação e regressão entre as variáveis estudadas	62
4.4.	Espectroscopia de infravermelho próximo (NIR) na determinação de atributos químicos orgânicos e inorgânicos do solo	63
5.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	65
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
	ANEXOS	i
	Anexo 1 – Descrição morfológica das famílias de solos predominantes da área dos ensaios	i
	Anexo 2 – Detalhes da amostragem de solo e tipo de propriedades	ii
	Anexo 3 – Dados analíticos das características do solo	iv
	Anexo 4 – Descrição dos dados obtidos da espectroscopia por NIR	xii

ÍNDICES DE TABELAS

TABELA 1 : TEMPERATURA DO AR, PRECIPITAÇÃO MENSAL E NÚMERO DE DIAS DE GEADA DE MONFORTE (IPMA).	15
TABELA 2: FAMÍLIAS DE SOLOS REPRESENTADAS NA CARTA DOS SOLOS DE PORTUGAL (ESC. 1:50.000) (SROA, 1970) NA ÁREA DOS ENSAIOS COM “COBRANÇOSA” E CORRESPONDÊNCIAS POSSÍVEIS COM GRUPOS-SOLO DE REFERÊNCIA DA WRBSR 2014 (IUSS WORKING GROUP WRB, 2015).	17
TABELA 3: ANÁLISE ANOVA SOBRE A DA FRACÇÃO GROSSEIRA DO SOLO ENTRE TRATAMENTOS NA LINHA (T) NAS CAMADAS 0-5 CM, 5-15 CM E 15-30 CM.	32
TABELA 4: DADOS DA TEXTURA PARA CARACTERIZAÇÃO DO SOLO DAS PARCELAS L1.T2, L2.T0 E L3.T1 E AVALIAÇÃO DA VARIABILIDADE ESPACIAL DO SOLO.	33
TABELA 5: VALORES DA MÉDIA, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO, OBTIDOS DOS DADOS DA TEXTURA PARA AS 3 CAMADAS (0-5 CM, 5-15 CM E 15-30 CM) QUE CORRESPONDEM ÀS PARCELAS L1.T2, L2.T0 E L3.T1.	34
TABELA 6: ANÁLISE ANOVA SOBRE OS RESÍDUOS ENTRE TRATAMENTOS (T), PARCELAS NA LINHA (LP), PARCELAS NA ENTRELINHA (EP), BLOCOS (B), LINHAS (L) E ENTRE LINHA E ENTRELINHA (L.E)	36
TABELA 7: ANÁLISE ANOVA SOBRE OS RESÍDUOS ENTRE PARCELAS (P), TRATAMENTOS (T) COM COMPLEMENTAÇÃO DO TESTE TUKEYHSD ENTRE OS TRATAMENTOS.	37
TABELA 8: ANÁLISE ANOVA SOBRE O DMG DOS AGREGADOS DO SOLO ENTRE TRATAMENTOS (T), PARCELAS (P), PARCELAS NA LINHA (LP), PARCELAS NA ENTRELINHA (EP), BLOCOS (B), LINHAS (L) E ENTRE LINHA E ENTRELINHA (L.E)	40
TABELA 9: ANÁLISE ANOVA SOBRE O DMG DOS AGREGADOS DO SOLO ENTRE TRATAMENTOS (T), PARCELAS NA LINHA (LP), PARCELAS NA ENTRELINHA (EP), BLOCOS (B), LINHAS (L) E ENTRE LINHA E ENTRELINHA (L.E)	42
TABELA 10: ANÁLISE ANOVA SOBRE A ESTABILIDADE DOS AGREGADOS ENTRE PARCELAS NA LINHA (LP), PARCELAS NA ENTRELINHA (EP), TRATAMENTOS (T), BLOCOS (B), LINHAS (L) E LINHA VS ENTRELINHA (L.E).....	44
TABELA 11: ANÁLISE ANOVA SOBRE A MVA ENTRE AS PARCELAS NA LINHA (LP), PARCELAS NA ENTRELINHA (EP), BLOCOS (B), LINHAS (L) E ENTRE LINHA E ENTRELINHA (L.E).....	46
TABELA 12: ANÁLISE ANOVA SOBRE A MVA ENTRE TRATAMENTOS NA LINHA (T) NAS CAMADAS 0-5 CM, 5-15 CM E 15-30 CM. ...	47
TABELA 13: VALORES DE MVA (G.CM ⁻³) NA ENTRELINHA NAS CAMADAS 0-15 CM E 15-30CM.	48
TABELA 14: ANÁLISE ANOVA SOBRE A POROSIDADE (M ³ .M ⁻³) ENTRE TRATAMENTOS NA LINHA (T) NAS CAMADAS 0-5 CM, 5-15 CM E 15-30 CM.	51
TABELA 15: VALORES DE POROSIDADE (M ³ .M ⁻³) NA ENTRELINHA NAS CAMADAS 0-15 CM, E 15-30 CM.....	51
TABELA 16: ANÁLISE ANOVA DA KS ENTRE PARCELAS NA LINHA (LP), PARCELAS NA ENTRELINHA (EP), TRATAMENTOS (T), BLOCOS (B), LINHAS (L) E ENTRE LINHA E ENTRELINHA (L.E).	53
TABELA 17: CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA DOS SOLOS (DITZLER ET AL., 2017)	53
TABELA 18: ANÁLISE ANOVA SOBRE SOC, POM-C, POX-C, PH-H ₂ O, PH-KCL, P ₂ O ₅ E K ₂ O ENTRE TRATAMENTOS COM MÉDIA PONDERADA, ENTRE TRATAMENTOS (T TOTAL), TRATAMENTOS NA CAMADA DE 0-5CM (Ta), TRATAMENTOS NA CAMADA DE 5-15CM (Tb) E TRATAMENTOS NA CAMADA DE 15-30CM (Tc).	61
TABELA 19: MÉTODO PARA CALIBRAÇÃO MULTIVARIADA EM ANÁLISE DOS MÍNIMOS QUADRADOS PARCIAIS (PLS – PARTIAL LEAST SQUARE) SOBRE SOC, POM-C, POX-C, PH-H ₂ O, PH-KCL, P ₂ O ₅ E K ₂ O (ANEXO 4).	64

ÍNDICES DE FIGURAS E DE GRÁFICOS

FIGURA 1 : LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL EM MONFORTE-PORTALEGRE/PT.....	13
FIGURA 2: GRÁFICO DA CARACTERIZAÇÃO DO CLIMA SEGUNDO KÖPPEN-GEIGER, PARA PORTUGAL CONTINENTAL (FONTE: IPMA) ..	14
FIGURA 3: GRÁFICO TERMOPLUVIOMÉTRICO NORMAIS CLIMATOLÓGICAS PARA O PERÍODO 1971-2000 (IPMA)	16
FIGURA 4: ÁREA DOS ENSAIOS COM “COBRANÇOSA” (TRÊS LINHAS DE OLIVAL MARCADAS A AZUL) E UNIDADES CARTOGRÁFICAS DE SOLOS EM QUE SE INSERE (SROA, 1968, 1970): COMPLEXO Sb(H)+Sb(P) E Pm (VER TABELA 2). SETA INDICA O N.	17
FIGURA 5: MARCAÇÃO DOS TALHÕES OU PARCELAS NO ENSAIO COBRANÇOSA (COMPASSO 6.0M X 1.5M).....	28
FIGURA 6: AMOSTRAGEM DE SOLO (SIMPLES PARA AMOSTRAS NÃO PERTURBADAS E COMPOSTA PARA AMOSTRAS PERTURBADAS) FEITA NO VÉRTICE OPOSTO AO VÉRTICE COINCIDENTE COM A ÁRVORE, ASSUMINDO UM QUADRADO DE CERCA 0,5 X 0,5 M.	29
FIGURA 7: GRÁFICO DE FREQUÊNCIAS DOS DADOS DA FRACÇÃO GROSSEIRA DO SOLO (EM G.KG ⁻¹).....	32
FIGURA 8: DIAGRAMAS DE CAIXA DOS DADOS DA FRACÇÃO GROSSEIRA DO SOLO (G.KG ⁻¹) PARA OS TRATAMENTOS T0, T1 E T2 NA LINHA NAS CAMADAS DE 0-5CM, 5CM-15CM E 15CM-30CM RESPECTIVAMENTE (DA ESQUERDA PARA A DIREITA).	32
FIGURA 9: GRÁFICO DE FREQUÊNCIAS DOS DADOS DOS RESÍDUOS ANTES DO COMPOSTO (KG.M ⁻²).	35
FIGURA 10: DIAGRAMA DE CAIXAS DOS RESÍDUOS (KG.M ⁻²) ANTES DO COMPOSTO SOBRE TODAS AS PARCELAS NA LINHA.....	35
FIGURA 11: DIAGRAMA DE CAIXAS DOS RESÍDUOS (KG.M ⁻²) ANTES DO COMPOSTO SOBRE TODAS AS PARCELAS NA ENTRELINHA.	35
FIGURA 12: DIAGRAMA DE CAIXAS DOS RESÍDUOS (KG.M ⁻²) NA LINHA ANTES DO COMPOSTO PARA OS TRATAMENTOS T0, T1 E T2. .	36
FIGURA 13: GRÁFICO DE FREQUÊNCIAS DOS DADOS DOS RESÍDUOS ANTES DO COMPOSTO (KG.M ⁻²).	36
FIGURA 14: PESO DA MANTA MORTA ESTIMADA ANTES (RESIDUOS 0) E APÓS 5 MESES DA APLICAÇÃO DO COMPOSTO (RESIDUOS 1), (EM KG/CM ²).....	38
FIGURA 15: FOTOS DAS AMOSTRAS DE SOLO REPRESENTANDO OS AGREGADOS ANTES DA CRIVAGEM (FONTE: O AUTOR).	38
FIGURA 16: GRÁFICO DE FREQUÊNCIAS DOS DADOS DO DMG DOS AGREGADOS (EM MM).	39
FIGURA 17: DIAGRAMA DE CAIXAS DOS DADOS DO DMG DOS AGREGADOS NA LINHA (LP) EM MM APÓS CRIVAGEM SUAVE.	39
FIGURA 18: DIAGRAMA DE CAIXAS DOS DADOS DO DMG DOS AGREGADOS, NA ENTRELINHA (EP) EM MM APÓS CRIVAGEM SUAVE..	39
FIGURA 19: GRÁFICO DE FREQUÊNCIAS DOS DADOS DO DMG DOS AGREGADOS (EM MM) APÓS CRIVAGEM COM 2 QUEDAS.	41
FIGURA 20: DIAGRAMAS DE CAIXA DOS DADOS DO DMG APÓS CRIVAGEM COM 2 QUEDAS DOS AGREGADOS EM MM SOBRE TODAS AS PARCELAS NA LINHA (LP).....	41
FIGURA 21: DIAGRAMAS DE CAIXA DOS DADOS DO DMG DOS AGREGADOS EM MM APÓS CRIVAGEM COM 2 QUEDAS NAS PARCELAS NA ENTRELINHA (EP).	41
FIGURA 22: DIÂMETRO MÉDIO GEOGRÁFICO (DMG) DOS AGREGADOS DOS SOLOS APÓS UMA CRIVAGEM SUAVE E UMA CRIVAGEM COM 2 QUEDAS EM MM.....	42
FIGURA 23: GRÁFICO DE FREQUÊNCIAS DOS DADOS DA ESTABILIDADE DOS AGREGADOS (EM %).	43
FIGURA 24: DIAGRAMA DE CAIXAS DOS DADOS DA ESTABILIDADE DOS AGREGADOS SOBRE TODAS AS PARCELAS NA LINHA (LP).	43
FIGURA 25: DIAGRAMA DE CAIXAS DOS DADOS DA ESTABILIDADE DOS AGREGADOS SOBRE TODAS AS PARCELAS NA ENTRELINHA (EP).	43
FIGURA 26: GRÁFICO DE FREQUÊNCIAS DOS DADOS DA MVA EM G.CM ⁻³	45
FIGURA 27 : DIAGRAMA DE CAIXAS DOS DADOS DA MVA (G.CM ⁻³) SOBRE TODAS AS PARCELAS NA LINHA.	45
FIGURA 28: DIAGRAMA DE CAIXAS DOS DADOS DA MVA (G.CM ⁻³) NAS PARCELAS E NA ENTRELINHA.	45

FIGURA 29: GRÁFICO DE FREQUÊNCIAS DOS DADOS DA MVA (G.CM^{-3}) NA LINHA.	47
FIGURA 30: DIAGRAMAS DE CAIXA DOS DADOS DE MVA (G.CM^{-3}) PARA OS TRATAMENTOS T0, T1 E T2 NA LINHA NAS CAMADAS DE 0-5CM, 5-15CM E 15-30CM RESPECTIVAMENTE (DA ESQUERDA PARA A DIREITA).....	47
FIGURA 31: CLASSIFICAÇÃO DA MVA (JAHN ET AL., 2006).....	48
FIGURA 32: GRÁFICO DE FREQUÊNCIAS DOS DADOS DA POROSIDADE ($\text{M}^3.\text{M}^{-3}$).....	49
FIGURA 33 : DIAGRAMA DE CAIXAS DOS DADOS DA POROSIDADE ($\text{M}^3.\text{M}^{-3}$) SOBRE TODAS AS PARCELAS NA LINHA.	49
FIGURA 34: DIAGRAMA DE CAIXAS DOS DADOS DA POROSIDADE ($\text{M}^3.\text{M}^{-3}$) SOBRE TODAS AS PARCELAS NA ENTRELINHA.	49
FIGURA 35: GRÁFICO DE FREQUÊNCIAS DOS DADOS DA POROSIDADE ($\text{M}^3.\text{M}^{-3}$) NA LINHA.	50
FIGURA 36: DIAGRAMAS DE CAIXAS DOS DADOS DE POROSIDADE ($\text{M}^3.\text{M}^{-3}$) PARA OS TRATAMENTOS T0, T1 E T2 NA LINHA NAS CAMADAS DE 0-5 CM, 5-15 CM E 15-30 CM RESPECTIVAMENTE (DA ESQUERDA PARA A DIREITA).	50
FIGURA 37: GRÁFICO DE FREQUÊNCIAS DOS DADOS DA KS ($\text{LOG}(\text{CM}/\text{DIA})$)	52
FIGURA 38: DIAGRAMAS DE CAIXA DOS DADOS DA KS ($\text{LOG}(\text{CM}/\text{DIA})$) SOBRE TODAS AS PARCELAS NA LINHA.	52
FIGURA 39: DIAGRAMAS DE CAIXA DOS DADOS DA KS ($\text{LOG}(\text{CM}/\text{DIA})$) SOBRE TODAS AS PARCELAS NA ENTRELINHA.....	52
FIGURA 40: GRÁFICO DE FREQUÊNCIAS DO SOC EM G.KG^{-1}	54
FIGURA 41: DIAGRAMAS DE CAIXA DOS DADOS DE SOC (G.KG^{-1}) PARA OS TRATAMENTOS T0, T1 E T2 NA LINHA NAS CAMADAS DE 0-5 CM, 5-15 CM E 15-30 CM RESPECTIVAMENTE (DA ESQUERDA PARA A DIREITA).	55
FIGURA 42: GRÁFICO DE FREQUÊNCIAS DO POM-C EM G.KG^{-1}	55
FIGURA 43: DIAGRAMAS DE CAIXA DOS DADOS DE POM-C (G.KG^{-1}) PARA OS TRATAMENTOS T0, T1 E T2 NA LINHA NAS CAMADAS DE 0-5 CM, 5-15 CM E 15-30 CM RESPECTIVAMENTE (DA ESQUERDA PARA A DIREITA).	56
FIGURA 44: GRÁFICO DE FREQUÊNCIAS DO POX-C EM MG.KG^{-1}	56
FIGURA 45: DIAGRAMAS DE CAIXA DOS DADOS DE POX-C (MG.KG^{-1}) PARA OS TRATAMENTOS T0, T1 E T2 NA LINHA NAS CAMADAS DE 0-5 CM, 5-15 CM E 15-30 CM RESPECTIVAMENTE (DA ESQUERDA PARA A DIREITA).	57
FIGURA 46: GRÁFICO DE FREQUÊNCIAS DO PH.....	57
FIGURA 47: DIAGRAMAS DE CAIXA DAS MEDIÇÕES DE PH EM ÁGUA PARA OS TRATAMENTOS T0, T1 E T2 NA LINHA NAS CAMADAS DE 0-5 CM, 5-15 CM E 15-30 CM RESPECTIVAMENTE (DA ESQUERDA PARA A DIREITA).	58
FIGURA 48: GRÁFICO DE FREQUÊNCIAS DO PH EM KCL	58
FIGURA 49: DIAGRAMAS DE CAIXA DAS MEDIÇÕES DE PH EM KCL PARA OS TRATAMENTOS T0, T1 E T2 NA LINHA NAS CAMADAS DE 0-5CM, 5CM-15CM E 15CM-30CM RESPECTIVAMENTE (DA ESQUERDA PARA A DIREITA).....	58
FIGURA 50: GRÁFICO DE FREQUÊNCIAS DO P_2O_5 (MG.KG^{-1}).....	59
FIGURA 51: DIAGRAMAS DE CAIXA DAS MEDIÇÕES DE P_2O_5 (MG.KG^{-1}) PARA OS TRATAMENTOS T0, T1 E T2 NA LINHA NAS CAMADAS DE 0-5 CM, 5-15 CM E 15-30 CM RESPECTIVAMENTE (DA ESQUERDA PARA A DIREITA).	59
FIGURA 52: GRÁFICO DE FREQUÊNCIAS DO K_2O (MG.KG^{-1})	60
FIGURA 53: DIAGRAMAS DE CAIXA DAS MEDIÇÕES DE K_2O (MG.KG^{-1}) PARA OS TRATAMENTOS T0, T1 E T2 NA LINHA NAS CAMADAS DE 0-5CM, 5CM-15CM E 15CM-30CM RESPECTIVAMENTE (DA ESQUERDA PARA A DIREITA).	61
FIGURA 54: GRÁFICO DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS DA QUALIDADE QUÍMICA DO SOLO.....	62
FIGURA 55: VALORES DE REFERÊNCIA, PARA AS AMOSTRAS DE SOC PELO MÉTODO CONVENCIONAL VERSUS O VALOR PREVISTO PELO MODELO DE CALIBRAÇÃO.....	64

FIGURA 56: : REGRESSÃO LINEAR DOS VALORES DE REFERÊNCIA, PARA AS AMOSTRAS DE SOC PELO MÉTODO CONVENCIONAL VERSUS O VALOR PREVISTO PELO MODELO DE CALIBRAÇÃO PLS. 65

LISTA DE SIGLAS E DE ABREVIATURAS

AF – Areia fina

AG – Areia grossa

B – Bloco

CTC - Capacidade de Troca Catiônica

DMG ou GMD - Diâmetro médio geográfico

EP – Parcela na entrelinha

G - Argila

GtC - Giga toneladas de Carbono

KCl - Cloreto de potássio

KMnO₄ - Permanganato de potássio

Ks – Condutividade hidráulica saturada

K₂O - Potássio extraível

L - Limo

L.E – Linha e Entrelinha

MOS – Matéria Orgânica do Solo

MVA – Massa Volúmica Aparente

NIR - Espectroscopia de infravermelho próximo

pH_w – pH em água

pHKCl ou pH K – pH em KCl (Cloreto de Potássio)

PLS - Partial Least Square (mínimos quadrados parciais)

POM-C - Carbono orgânico presente na matéria orgânica particulada

POX-C - Carbono oxidável

P₂O₅ – Fósforo extraível

RMSE - Raíz quadrada do erro quadrático médio

SOC - Carbono orgânico total no solo

T – Tratamento

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas houve uma crescente intensificação na produção agrícola devido ao rápido progresso dos países desenvolvidos e ao crescimento populacional. Em consequência, aumentou-se a produção de resíduos de origem animal, vegetal ou agroindustrial, o que gerou problemas na gestão do destino destes resíduos causados pela limitação técnica e econômica dos espaços reservados a eles. Além disso, eles são muitas vezes dispostos de maneira incorrecta susceptível de causar impactos negativos no sistema agroecológico.

Por outro lado, estes materiais orgânicos quando são tratados de forma adequada transformam-se em ricas fontes de nutrientes e aporte de matéria orgânica ao solo (Hassen et al., 2002). Contudo, os resíduos também servem como alternativa para solos pobres e degradados.

Em Portugal o modelo agrícola predominante usa o suprimento de nutrientes para as culturas como olivais, baseado em aplicações intensivas de fertilizantes sintéticos utilizados pelas suas rápidas respostas. No entanto, estas práticas estão a apresentar cada vez mais problemas econômicos, a gerar crescentes custos de produção, e de impactos no meio ambiente, nomeadamente degradação dos ecossistemas e contaminações das águas subterrâneas e superficiais (Altieri & Nicholls, 2001; Johannsen & Armitage, 2010).

Para solucionar estas problemáticas, tem-se procurado desenvolver novas tecnologias sustentáveis, como a reciclagem dos resíduos de acordo com as suas características. Neste processo, tem havido uma exigência dos governos e da sociedade para consciencializar os produtores a adoptarem sistemas agrícolas cada vez mais sustentáveis. A agricultura para ser sustentável tem de manter a qualidade do meio ambiente, o uso adequado dos recursos agronômicos e naturais e ter em conta todas as complexidades do ecossistema. Neste tipo de agricultura, considera-se a relação entre a qualidade de produtos e a produtividade, a biodiversidade e a qualidade do solo (Harwood, 1990; Kennedy & Smith, 1995; White et al., 2012).

Para solucionar esta outra preocupação da geração massiva de resíduos orgânicos de origem animal, várias propostas existem como alternativa. Uma delas é a compostagem, que significa a degradação biológica aeróbia dos resíduos orgânicos até à sua estabilização, designada por

composto, mais rico em substância húmica, utilizável como corretivo orgânico do solo (Decreto-Lei 103/2015, 2015). O composto ou compostado é o produto higienizado e estabilizado, resultante da decomposição da matéria orgânica por compostagem, cujas características são de molde a beneficiar, direta ou indiretamente, o crescimento das plantas (Decreto-Lei 103/2015, 2015). Muitos estudos comprovaram os benefícios do composto nos parâmetros do solo e conseqüentemente das plantas. O composto é uma opção que pode ser usada como fertilizante diminuindo assim o uso intensivo de fertilizantes sintéticos e contribuir para a restauração da qualidade do solo.

A qualidade do solo é a capacidade de um solo a funcionar, dentro dos limites do ecossistema e do uso da terra, para sustentar a produtividade, manter a qualidade ambiental e promover a saúde vegetal e animal (Doran & Parkin, 1994). Para caracterizar a qualidade do solo, a metodologia utilizada é baseada em um conjunto de indicadores de qualidade do solo. Estes indicadores são selecionados em relação às funções do solo que se deseja estudar (Karlen & Stott, 1994).

A adição de composto aumenta o teor de matéria orgânica do solo (MOS), o que melhora a agregação e estabilidade, melhorando assim a estrutura do solo (Diacono & Montemurro, 2011). A estabilidade dos agregados do solo evita o selamento da superfície e a formação de crosta, melhora a infiltração de água, e aumenta a capacidade de retenção de água, reduzindo o escoamento e erosão do solo (Abid & Lal, 2009). Além disso, o aumento dos níveis de MOS promove o sequestro de carbono (Favoio & Hogg, 2008). Outros benefícios potenciais de aplicação do composto são a melhoria da atividade biológica (Bastida et al., 2008) e da disponibilidade de nutrientes para as plantas (Lima et al., 2013).

O presente estudo se enquadra no componente de solos do projecto de pesquisa TECOLIVE da Universidade de Évora em colaboração com a Herdade Torre das Figueiras, localizada na freguesia de Monforte no distrito de Portalegre em Portugal, onde foram feitos os ensaios. A amostragem do solo antes e após aplicação do composto foi feita no olival superintensivo da variedade “Cobrançosa”.

O objetivo deste trabalho é, em primeiro lugar, antes da aplicação do composto, proceder à caracterização física e química do solo através de diferentes indicadores de qualidade do solo como: a manta morta acumulada à superfície do solo, a textura, a massa volúmica aparente (MVA), a porosidade total, a agregação (distribuição e estabilidade), a condutividade hidráulica saturada (ks), o carbono orgânico total no solo (SOC), o carbono da

matéria orgânica particulada (POM-C), o carbono oxidável por permanganato de potássio (POX-C), pH, o fósforo (P_2O_5) e potássio (K_2O) extraíveis. Outros objetivos foram ainda: a comparação de algumas propriedades do solo na linha e na entrelinha do olival; a comparação da manta morta à superfície do solo antes e após 5 meses da aplicação do composto e a análise do potencial preditivo da determinação de dados espectrais de infravermelho próximo (NIR) de atributos químicos orgânicos e inorgânicos do solo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Olivicultura no Mundo e em Portugal

A cultura do olival destina-se maioritariamente à obtenção de azeite e de azeitona para comercialização. A cultura representa grande importância comercialmente no mediterrâneo, onde localiza 95% da produção mundial de oliveira. Mais de 3 300 000 toneladas de azeite são produzidas anualmente no mundo, numa área de 10.8 milhões de hectares, classificando-se em 7º lugar de toda a produção mundial de óleos vegetais. No entanto a azeitona ocupa apenas o 25º lugar do ranking das culturas mais produzidas no mundo. Esta cultura espalhou-se das áreas mediterrâneas para o mundo e agora está a crescer um interesse comercial em outros continentes como a Austrália, o Chile e os Estados Unidos (Bakkali et al., 2019).

Em 1970 os olivais portugueses ocupavam uma área superior a 500 000 ha e Portugal estava em segundo lugar da produção mundial com 50 milhões de oliveiras. A cultura passou por uma profunda crise devido ao atraso dos equipamentos ainda utilizados. Nas últimas décadas realizaram-se inovações na produção de azeite, com a plantação de novos olivais em maior escala, recorrendo a técnicas e tecnologias mais avançadas para otimizar todo o processo, desde a produção da azeitona até à obtenção do azeite (Paquete, 2013).

2.2. Qualidade dos solos na Olivicultura

A intensificação de culturas e, conseqüentemente, das práticas de gestão como a preparação do solo, tem causado a degradação dos recursos naturais e a perda da qualidade do solo, química, física e biológica em muitos sistemas agrícolas. O solo possui um papel crucial

na provisão dos serviços dos ecossistemas. Devido aos efeitos de degradação dos solos e a necessidade da sustentabilidade na sua gestão, a qualidade do solo para fins agrícolas tem ganho maior relevância nos últimos anos, sendo reconhecida a importância do conhecimento dos solos e das propriedades físicas químicas e biológicas (Carter, 2002). Neste sentido, no final dos anos 1980, as atenções começaram a se desfocar da agricultura de produção intensiva para a agricultura sustentável, saúde ambiental, preservação dos recursos pedológicos e nos anos seguintes o conceito de qualidade do solo foi promovido em reuniões científicas e desenvolvida em várias publicações (Doran et al., 1994; Doran & Jones, 1996; Larson & Pierce, 1991).

Em Portugal, uma prática de gestão com aceitação crescente para manter uma boa qualidade do solo, consiste em manter o coberto vegetal durante o período de chuvas de Outono/Inverno, em que não há dificuldade em satisfazer as necessidades em água do olival e, devido à escassez de água na primavera-verão, elimina-se este coberto durante a primavera. Os resíduos secos são mantidos sobre o solo do olival, para prevenir a erosão e reduzir as perdas de água por evaporação.

A qualidade do solo fornece um conceito unificador para educar profissionais, produtores e o público sobre os processos importantes que os solos realizam. Ele também serve de ferramenta para avaliar as práticas de gestão atual e comparar com as práticas de gestão alternativa. Para este fim foram desenvolvidos atributos do solo que são um conjunto de parâmetros com uma quantidade mínima de dados acompanhados de métodos de laboratório e de campo para os medir (Wienhold et al., 2004).

2.3. Indicadores da Qualidade Física e Química do Solo

A necessidade de compreender e avaliar os indicadores de qualidade do solo é um dos objetivos mais importantes da atual Ciência do Solo (Wang & Gong, 1998), devido à necessidade de garantir a sustentabilidade do uso dos recursos do solo na agricultura (Schoenholtz et al., 2000). Como os ambientes diferem e também as funções do solo de interesse, não existe uma metodologia para caracterizar a qualidade do solo com base em um conjunto universal de indicadores (Bouma, 2002).

Do ponto de vista das atividades agrícolas, os indicadores físicos têm grande relevância por serem diretamente relacionados com os processos hidrológicos, como escoamento

superficial, drenagem, taxa de infiltração e erosão. Entre os indicadores físicos do solo, a capacidade de retenção de água disponível, a densidade aparente, a distribuição e estabilidade do tamanho do agregado (especialmente o diâmetro de peso médio DMG) e a textura (argila, limo e porcentagem de areia) foram preferencialmente estudados (Ghaemi et al., 2014; Raiesi, 2017). Também apresentam importante função no armazenamento de água, nutrientes e oxigênio no solo (Stefanoski et al., 2013).

Para além dos indicadores físicos, os indicadores biológicos como os microrganismos do solo reagem rapidamente, podendo refletir um ambiente perigoso e, por isso, são considerados importantes no monitoramento do estado do solo (Schloter et al., 2003). Por exemplo, Schloter et al., (2003) demonstraram a possibilidade do uso de populações bacterianas e fúngicas além da aplicabilidade de nematodes na determinação da saúde do solo.

Outro componente relevante para avaliar o solo são os indicadores químicos do solo. A maioria dos autores estudaram o pH (pH-H₂O, pH-CaCl₂ ou pH-KCl), a condutividade elétrica, a capacidade de troca catiônica (CTC), catiões de troca, fósforo e potássio extraíveis. Estes estudos demonstraram que tais propriedades químicas tiveram impacto no ciclo de nutrientes do solo, bem como na absorção de água e nutrientes (Masto et al., 2015; Zhang et al., 2004).

Neste projecto a lista de indicadores que foram estudados são: a textura, a massa volúmica aparente (MVA), a porosidade total, a agregação (distribuição e estabilidade), a condutividade hidráulica saturada (k_s), a matéria orgânica particulada (POM-C), o carbono orgânico total no solo (SOC), o carbono oxidável (POX-C), pH, fósforo (P₂O₅) e o potássio (K₂O) extraíveis.

Massa Volúmica Aparente (MVA)

A MVA é um importante atributo físico dos solos, também expresso pela densidade aparente, tem relação com a estrutura, uma vez que esta é função da orientação das partículas do solo, assim como da quantidade e geometria dos espaços porosos. Altas densidades no solo prejudicam o desenvolvimento de plantas, a movimentação da água, nutrientes e gases e o crescimento da raiz é significativamente afetado pela resistência mecânica (Ehlers et al., 1983). A densidade é usada principalmente para indicar o nível de compactação, assim como

medir alterações da estrutura e porosidade do solo. A densidade do solo é dependente do espaço poroso, portanto, solos com maior porosidade têm menor densidade, e dessa maneira, todos os fatores que interferem no espaço poroso irão interferir na densidade do solo. De maneira geral, para cada classe de textura, pode-se afirmar que, quanto mais elevada for a densidade do solo, maior será sua compactação e a estrutura degradada, e menor a sua porosidade total.

Porosidade total

A porosidade pode ser definida como sendo o total de vazios do solo de diferentes tamanhos e formas, determinados pelo arranjo das partículas sólidas que formam vários tipos de agregados. Estes constituem a fração volumétrica do solo ou espaço poroso ocupado com ar e solução do solo (água e nutrientes), dividido em macro e microporos (Kiehl, 1979).

Os microporos após serem saturados em água apresentam capacidade de retê-la, já os macroporos não retêm a água e são esvaziados em função da gravidade, sendo fundamentais para arejamento e a infiltração de água no solo (Reinert & Reichert, 2006).

A porosidade está diretamente ligada à textura e estrutura dos solos. Características como capacidade de drenagem interna, retenção de água de um perfil e condições de arejamento são influenciadas por esse fator. Solos mais arenosos, por apresentarem poros maiores, apresentam menor capacidade de retenção de água, solos mais argilosos, por apresentarem maior microporosidade, se mostram com maior capacidade de retenção, pela água capilar e pela água de adsorção (Kiehl, 1979).

Condutividade Hidráulica saturada – Ks

A condutividade hidráulica do solo é uma propriedade que expressa a capacidade do solo para conduzir a água que nele se movimenta (Klute & Dirksen, 1986), sendo de extrema importância para a agricultura e, conseqüentemente, a produção das culturas e a preservação do solo e do ambiente.

Henry Darcy, em 1856, elaborou a primeira equação utilizada para quantificar o movimento da água no solo através de colunas de areia saturada com água. Essa equação mostra que a quantidade de água que passa por unidade de tempo e de área pelo meio poroso

saturado é proporcional ao gradiente de potencial total da água nesse meio. A constante de proporcionalidade foi denominada de condutividade hidráulica do solo saturado K_s (Darcy, 1856).

A condutividade hidráulica do solo saturado descreve o estado do seu sistema poroso, reflectindo propriedades da sua porosidade, como quantidade, tamanho, morfologia, continuidade e orientação dos poros. Pelo facto de a condutividade hidráulica na condição saturada depender em grande parte da forma e continuidade do sistema poroso, essa varia fortemente de um local a outro, apresentando valores extremos em determinados locais e podendo diferir também nas distintas orientações do solo. A condutividade hidráulica saturada é mais dependente, portanto, da estrutura do que da textura do solo e, ao elevar o grau de agregação de um solo, o valor dela aumenta (Baver et al., 1972; Hillel, 1998).

Estabilidade e distribuição dos agregados

A estrutura do solo, que se refere ao arranjo das partículas que formam os agregados, consiste numa importante característica, que influencia na capacidade de infiltração da água, arejamento do solo e penetração das raízes.

Outro atributo do solo que merece ser destacado é a estabilidade de agregados. Ela expressa a resistência à desagregação dos agregados quando submetidos a forças externas (por exemplo de origem antrópica e ou resultado do impacto de gotículas de chuva), ou por forças internas (compressão de ar e expansão/contração do solo), que tendem a fragmentar os agregados. Uma das suas medições mais utilizadas é pela força aplicada pela água, que é uma medida que tem relação com a capacidade de um solo de resistir ao destacamento das partículas (Reinert & Reichert, 2006).

De acordo com estudos sobre a influência da gestão do solo na agregação do solo, Tisdall & Oades (1980) indicaram que a influência da gestão do solo na estabilidade dos microagregados menores que 0,25 mm não é tão importante. Entretanto, deve ser considerado que as partículas de argilas dispersas no solo são liberadas lentamente e agem como uma nuvem expansiva em torno dos agregados (Arnold, 1978). Assim, a argila dispersa pode bloquear os poros que redistribuem ou armazenam água no solo, o que pode levar a estruturas indesejáveis funcionalmente semelhantes a superfícies compactadas (Tisdall & Oades, 1982).

O efeito dos agentes agregadores resulta principalmente da interação entre a matéria orgânica do solo e a argila (Guerif, 1990).

Em geral, o aumento no teor de argila induz o incremento na resistência dos agregados e redução a friabilidade (agregados macios e secos) (Kemper et al., 1987), o que também se observa ao reduzir proporcionalmente os teores de carbono orgânico no solo (Tormena et al., 2008).

A agregação é expressa pelo diâmetro geométrico médio dos agregados (DMG). Quanto maior a média geométrica, maior é a agregação e inversamente. Isto é relacionado com o tamanho efetivo dos poros, daí a permeabilidade dos agregados. Quanto maior o tamanho dos poros menor será o DMG. Portanto, a estabilidade dos agregados, é a resistência à mudança no tamanho médio geométrico do agregado sob agitação (Mazurak, 1950).

Resíduos do solo (manta morta e camada superficial orgânica)

A manta morta à superfície do solo tem uma importante influência na proteção física do solo e no teor de matéria orgânica. A redução dessa camada reduz a MOS e a estabilidade dos agregados (Giovannini et al., 1988), que resulta no decréscimo da capacidade de infiltração da água no solo.

Consequentemente, incrementa a erodibilidade do solo (Imeson & Vis, 1984) e pode aumentar a repelência à água. Deste modo a falta de resíduos à superfície do solo tende a causar um aumento do escoamento superficial e da perda de solo por erosão (DeBano, 2000).

Carbono orgânico

Os solos representam o maior reservatório continental do carbônico orgânico (SOC) (Jacobson et al., 2000). De fato, em escala global, esse reservatório contém cerca de 800 GtC nos primeiros 30 centímetros de solo e entre 1.500 e 2.000 GtC no primeiro metro (Ciais et al., 2014).

O Carbono orgânico total no solo (SOC) está diretamente relacionado com a MOS (Schimel et al., 1994; Six et al., 2002).

A MOS é o conjunto de organismos vivos (fauna, raízes vivas e microrganismos) ou mortos (moléculas, fragmentos de tecidos vegetais) presentes no solo, bem como seus resíduos

orgânicos em diferentes estágios de degradação: corresponde, na verdade, para um continuum de fragmentos orgânicos cada vez mais finos, porque eles são constantemente degradados por comunidades decompositoras (Lehmann & Kleber, 2015).

A literatura científica indica que o SOC representa em média 58% da MOS (fator convencional de correção van Bemmelen (Stevenson, 1994)). Assim, uma diminuição no conteúdo de MOS afeta a fertilidade do solo. A qualidade do solo pode ser indicada, por frações da matéria orgânica do solo, dentre as quais está a fração oxidada por permanganato de potássio.

Carbono oxidável em permanganato de potássio (POX-C)

Determinados compartimentos da matéria orgânica do solo (MOS) são capazes de detectar, mais rapidamente, as mudanças nos conteúdos de carbono no solo associadas à gestão. As alterações nestes compartimentos são, geralmente, maiores que as observadas, quando se considera apenas o conteúdo de carbono orgânico total do solo (Janzen et al., 1992).

Por esta razão avalia-se o carbono oxidável em permanganato de potássio que é a fracção de carbono ativo do solo. Ele serve como um indicador sensível e consistente que possa indicar mudanças devido à gestão ou variação no ambiente (Culman et al., 2012). O permanganato de potássio foi usado pela primeira vez para fracionar o carbono orgânico do solo via oxidação por Loginow et al., (1987).

Segundo Bongiorno et al., (2019), o POX-C representa uma fracção de carbono lábil sensível ao manejo do solo e muito informativo sobre matéria orgânica do solo, nutrientes, estrutura do solo e reservatórios da atividade microbiana (Bongiorno et al., 2019). Estes parâmetros são usados como indicadores de várias funções do solo, como sequestro de carbono, ciclagem de nutrientes, formação da estrutura do solo e como habitat para a biodiversidade. Além disso, em vários estudos anteriores, foi relatada uma forte relação entre POX-C e a quantidade de carbono orgânico total do solo (SOC) (Culman et al., 2012; Jokela et al., 2009; Weil et al., 2003; Wuest et al., 2006).

Carbono da matéria orgânica particulada (POM-C)

Outro parâmetro analisado é o carbono da matéria orgânica particulada. O POM-C é determinado pelo fracionamento físico por tamanho de partículas ou densidade, que consiste principalmente de resíduos orgânicos parcialmente decompostos (Haynes, 2005) e contém biomassa microbiana junto com resíduos vegetais frescos e matéria orgânica em decomposição (Gregorich et al., 1994; Sequeira & Alley, 2011). Esta fração particulada é a parte lábil da MOS, correspondendo ao trabalho do solo, como a adição de matéria orgânica e operações do preparo do solo, que podem alterar os fluxos de água e ar no interior do solo (Salton et al., 2005).

Também os resultados de Liebig et al. (2004) mostraram que o POM-C é um indicador sensível do efeito da gestão do solo relacionado com a retenção de materiais orgânicos menos degradados (parcialmente humificados em vários estádios de decomposição) que foram incorporados na fração de sensibilidade intermédia (Janzen et al., 1992; Liebig et al., 2004).

Portanto, POM-C revela-se ser um importante indicador de carbono no solo, de modo que vários estudos mostraram que ele representou cerca de 14% do carbono orgânico total do solo (SOC) enquanto que POX-C representou apenas 4% do SOC total (Culman et al., 2012).

pH, fósforo P_2O_5 e potássio (K_2O) extraíveis

A disponibilidade de nutrientes e os diferentes processos químicos e bioquímicos do solo são muito influenciados pelo pH. As plantas variam consideravelmente na sua tolerância a um solo ácido ou ambiente de solo alcalino (Doll, 1964). Por exemplo, o fósforo extraível (expresso como P_2O_5) corresponde melhor às necessidades das culturas em um solo moderadamente ácido do que no caso de solos alcalinos e calcários (Juhos et al., 2019).

A nutrição adequada do solo em fósforo melhora os processos fundamentais da planta como a fotossíntese, a floração, a frutificação e o amadurecimento. No trabalho da fertilidade do solo, a gestão do fósforo é particular por três razões. Primeiro, o conteúdo total de fósforo do solo é relativamente baixo em comparação com outros nutrientes. Segundo, os compostos de fosfato encontrados no solo estão principalmente indisponíveis para as plantas. Terceiro, quando a fonte de fósforo solúvel, como fertilizantes e estrume é adicionada ao solo, o P é rapidamente fixado e torna-se indisponível para as plantas (Brady & Weil, 2017).

O potássio (K) disponível para as plantas está presente em 2 formas no solo: o K permutável e o K na solução do solo (4). Estas duas formas matêm-se em equilíbrio, definido por capacidade tampão que é quantificada pela razão entre o K trocável e o K em solução. Esta razão é proporcional à capacidade de troca catiônica (CTC) do solo (Havlin et al., 2014).

O K é importante para ajudar a planta a se adaptar às pressões ambientais. Uma boa nutrição de potássio está directamente ligada ao aumento da tolerância à seca, resistência ao frio e melhor tolerância a pragas (Brady & Weil, 2017).

Ao fazer estas análises de solo, os indicadores de qualidade do solo podem evidenciar sinais de redução ou de excesso nestes macronutrientes o que pode justificar a adoção de práticas de gestão que se adaptem às tendências verificadas, como por exemplo, a utilização de composto que eleva os teores de matéria orgânica e a capacidade de retenção de nutrientes no solo.

2.4. A importância da compostagem para o solo

A qualidade do solo representa um componente essencial para o desenvolvimento agrícola, devido às exigências impostas no meio rural para um desenvolvimento de atividades sustentáveis. Além disto a agricultura gera múltiplos resíduos orgânicos, vegetais e animais, durante todo o ciclo de cada campanha. O descarte dos resíduos tem se tornado um problema mundial quanto ao prejuízo e poluição do ambiente, podendo afectar o solo, a água e/ou ar (Mota et al., 2009). Frente a esta situação, a reciclagem e o uso agronómico de resíduos orgânicos são apresentados como opções para a solução do problema. Assim, o composto aparece como alternativa viável, de baixo custo, sanitariamente eficiente na eliminação de patógenos (Kiehl, 1985).

Além disto os compostos apresentam vantagens para o solo como fonte de matéria orgânica para incremento do húmus do solo, que melhora a estrutura do mesmo e aumenta a capacidade de retenção de água. Neste sentido, o composto permite também o aumento ou reutilização dos nutrientes como azoto, potássio, fósforo e outros macro e micronutrientes, e consequentemente, o aumento da produção das culturas em sistemas intensivos ou em explorações agrícolas familiares (Haug, 1980).

Tradicionalmente, em Portugal os estrumes mais usados são de vaca e cavalo. Todavia, os estrumes podem ser uma fonte de sementes de infestantes, microrganismos patogénicos ou moléculas orgânicas que prejudicam a qualidade do solo. Contudo, através do processo de compostagem estes estrumes são transformados numa matéria quimicamente segura e estável do ponto de vista sanitário (Sarapatka et al., 1993).

O objetivo da aplicação de compostos visa, em geral, a manutenção da fertilidade e da estrutura do solo, através do aumento dos teores de matéria orgânica (MO) no solo, mas também resolver o problema do excesso de resíduos, o que é conseguido, com estes materiais compostados. O carbono orgânico do composto é mais facilmente retido no solo de forma duradoura por se encontrar parcialmente humificada (Drinkwater et al., 1998). De acordo com Campos et al. (1995), a aplicação contínua de material orgânico é fonte de energia para a atividade microbiana, que atua como agente de estabilização dos agregados (Campos et al., 1995). Além disso, a matéria orgânica, em razão de sua estrutura complexa e longas cadeias de carbono, agrega partículas minerais (Dufranc et al., 2004). Isto causa um efeito direto na formação e na estabilização dos agregados (Braidá et al., 2010) sendo uma importante propriedade para se estimar a qualidade física dos solos (Ribon & Tavares Filho, 2008).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Características gerais da área de estudo

O presente trabalho foi realizado num Olival superintensivo da variedade “Cobrançosa” na Herdade Torre das Figueiras, localizada na freguesia de Monforte no distrito de Portalegre em Portugal (Figura 1). A localização geográfica do ensaio tem as coordenadas 39°04'09.19"N e 7°27'58.69"O, com altitude média aproximada de 548m.



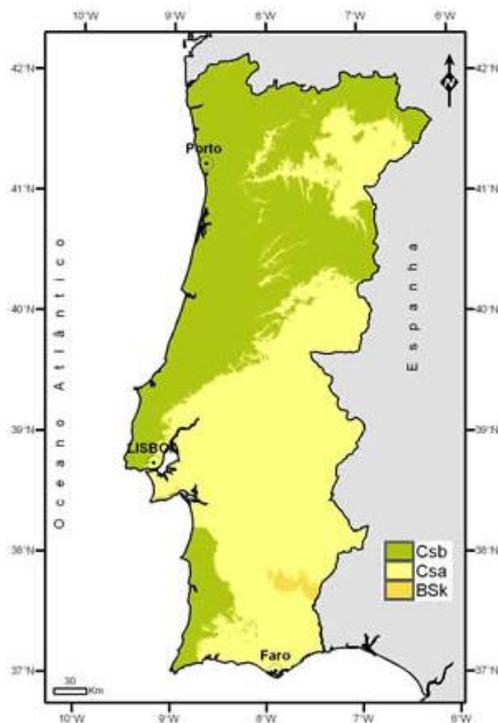
Figura 1 : Localização da área experimental em Monforte-Portalegre/PT

3.2. Caracterização edafoclimática

3.2.1. Caracterização do clima da região

A caracterização climática foi realizada com dados obtidos na estação meteorológica de Portalegre pois não existem dados em 30 anos para a zona de Monforte. Os valores apresentados foram retirados das Normais Climatológicas para o período de 30 anos entre 1971 a 2000.

Caracterização do clima segundo Köppen-Geiger



A parcela de terreno onde foi desenvolvido o estudo encontra-se na região de Monforte, inserido, tal como podemos observar na Figura 2, num clima Csa, caracterizado por um clima temperado com Verão quente e seco.

Figura 2: Gráfico da caracterização do clima segundo Köppen-Geiger, para Portugal continental (Fonte: IPMA)

Valores normais do clima da região

No município de Monforte, verificam-se invernos curtos, amenos e com pouca precipitação e verões longos, quentes e secos (ICNF, 2013). As temperaturas médias mensais encontram-se entre os 8,4°C e os 23,5°C, no entanto existem dias em que a temperatura média mínima é de 5,7°C e a temperatura média máxima sobe para 29,8°C (Tabela 1). No verão a humidade relativa do ar tem diminuição acentuada, podendo atingir médias mensais na ordem dos 40% (às 18h) (ICNF, 2013). É importante realçar que estes são valores médios para 30 anos, pelo que haverá dias em que a temperatura é menor que o valor médio mínimo e maior do que o valor médio máximo assinalado, respectivamente.

Observamos ainda na Tabela 1 que esta é uma zona de média precipitação mensal. Os valores da precipitação média para o período entre 1971 e 2000 foram de 7,5 mm no verão até aos 136 mm em dezembro.

O número de dias de geadas ao longo do ano é muito pequeno, ocorrem quase só no inverno, sendo que o mês com maior número de dias de geadas é janeiro.

Tabela 1 : Temperatura do ar, precipitação mensal e número de dias de geada de Monforte (IPMA).

Mês	Temperatura do ar (°C)			Precipitação (mm)	N° de dias de geadas
	\bar{T} mensal	\bar{T} max	\bar{T} min		
Janeiro	8.5	11.4	5.7	109.6	1
Fevereiro	9.4	12.6	6.2	95.5	0.8
Março	11.5	15.4	7.6	63.3	0.2
Abril	12.3	16.5	8.2	78.4	0
Maio	15.3	20	10.6	67.5	0
Junho	19.9	25.4	14.4	31.6	0
Julho	23.5	29.8	17.3	7.5	0
Agosto	23.5	29.7	17.2	8.5	0
Setembro	21.2	26.2	16.1	42.1	0
Outubro	16.2	19.9	12.5	97.5	0
Novembro	12.1	15	9.1	114.9	0
Dezembro	9.5	12.2	6.8	136	0.3
Total	15.24	19.51	12.54	852.4	2.3

Gráfico Termopluviométrico

No gráfico termopluviométrico (Figura 3), podemos observar a precipitação mensal e as temperaturas médias mensais. Observamos que nos meses em que a temperatura é mais elevada existe menor precipitação, o oposto acontece nos meses em que a temperatura média é mais baixa. Nestes meses regista-se um valor alto de precipitação.

As condições acima descritas e observadas no gráfico estão de acordo com a classificação de Köppen, relativamente ao nosso clima.

Janeiro e dezembro são por isso os meses de maior precipitação e temperatura média mais baixa, enquanto julho e agosto são os meses de menor precipitação e temperatura média mais elevada.

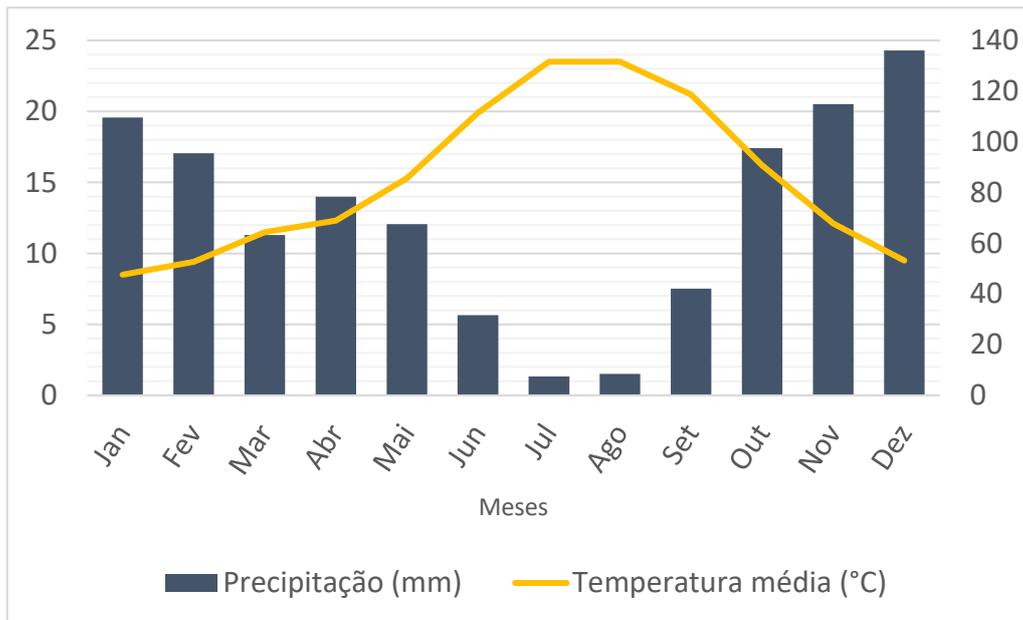


Figura 3: Gráfico Termopluiométrico Normais climatológicas para o período 1971-2000 (IPMA)

3.2.2. Características dos solos dos olivais em estudos

Na área em que se localizam os ensaios com “Cobrançosa” é observada uma heterogeneidade de solos. Os solos mais prováveis que ocorram são das famílias Sb(p) e Pm (Figura 4, Anexo 1). Os solos Pm são argilosos não calcários para barros, com proveniência de dioritos ou quartzodioritos ou rochas microfaneríticas ou cristalofílicas. Os solos Sb possuem textura mediana. Os solos Sb(p) e Sb(h) são de textura mediana, incipientes, coluviosolos não calcários (Tabela 2). Este solo é predominante nas parcelas do ensaio, ele é formado por colúviação de material proveniente do Pcx, que se encontra mais acima na encosta (Anexo 1).

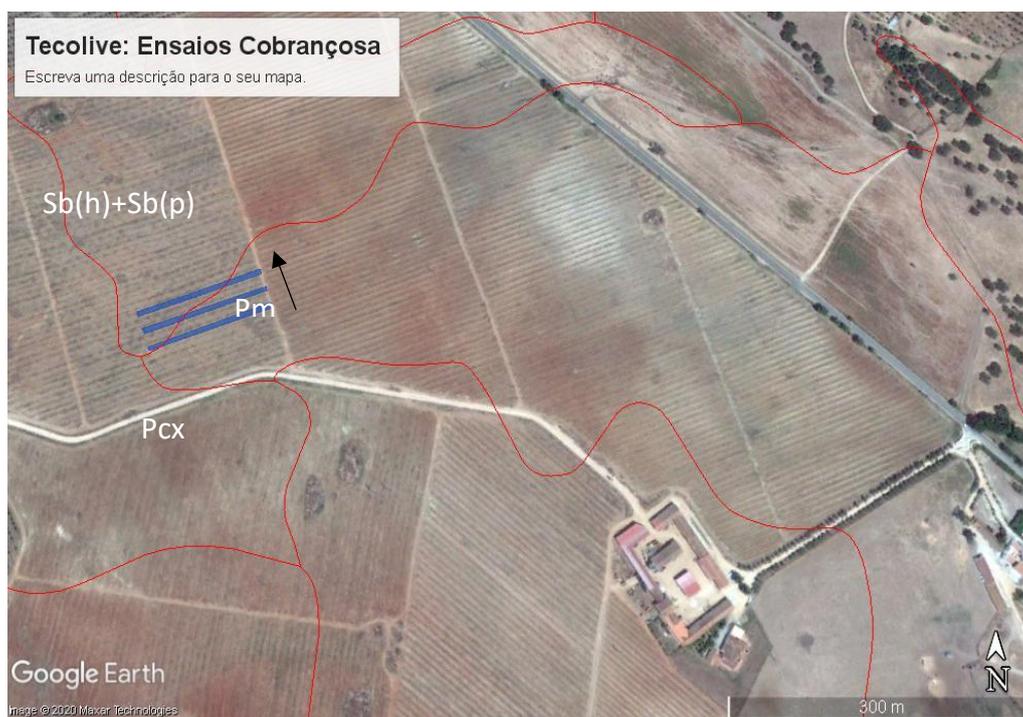


Figura 4: Área dos ensaios com “Cobrançosa” (três linhas de olival marcadas a azul) e unidades cartográficas de solos em que se insere (SROA, 1968, 1970): complexo Sb(h)+Sb(p) e Pm (ver Tabela 2). Seta indica o N.

Tabela 2: Famílias de solos representadas na Carta dos Solos de Portugal (esc. 1:50.000) (SROA, 1970) na área dos ensaios com “Cobrançosa” e correspondências possíveis com Grupos-Solo de Referência da WRBSR 2014 (IUSS Working Group WRB, 2015).

Cód.	Classificação dos Solos de Portugal (Famílias)	Fase	WRBSR 2014
Sb(h)	Solos Incipientes, Coluviosolos Não Calcários de textura mediana (Sb)	Mal drenada (h)	Stagnic Regosol
Sb(p)	Solos Incipientes, Coluviosolos Não Calcários de textura mediana (Sb)	Pedregosa (p)	Skeletal Regosol
Pm	Solos Argiluvitados, Solos Mediterâneos. Pardos de Materiais. Não Calcários Para Barros de dioritos ou quartzodioritos ou rochas microfaneríticas ou cristalofílicas afins (Pm)	(Normal)	Vertic Luvisol

3.3. Características do composto

A produção do composto utilizado foi realizada na herdade Torre das Figueiras entre junho e outubro de 2019. A composição utilizada foi, estrume de ovino, folhas e raminhos da limpeza das azeitonas antes da entrada no lagar.

A percentagem de humidade final do composto foi de 42,4%, de carbono orgânico foi de 12,4% e a razão C/N foi de 11,8 (Peça, 2021).

Este material foi aplicado em fevereiro de 2020 com recurso ao espalhador de estrume Herculano H2RSP, que permitiu a sua distribuição à superfície numa faixa até ~1 m de cada lado da linha.

3.4. Métodos laboratoriais

Os métodos apresentados a seguir são usados de acordo com a tipologia de recolha das amostras de solo (Anexo A2.1 e A2.2).

3.4.1. Quantificação dos resíduos do solo

Os resíduos orgânicos ou manta morta, acumulados à superfície do solo foram coletados utilizando-se um quadrado de metal, com 0,25 m de lado. As amostras foram secas a 60 °C, crivadas num crivo de 1 mm, para remoção de partículas minerais presentes e pesadas.

3.4.2. Determinação da massa volúmica aparente

Para a amostragem da massa volúmica aparente ou densidade aparente do solo foi utilizado o método do anel ou cilindro que consiste em obter a massa por pesagem e o volume pela coleta de amostras de solo com estrutura indeformada por meio de um cilindro de volume interno conhecido.

No caso da camada 0-5 cm, as amostras destinadas à determinação da MVA e da permeabilidade (k_s) foram coletadas em anéis cilíndricos com volume (V_t) de 100 cm³ com 4 repetições a perfazer um total de 36 amostras.

As amostras das camadas 5-15 e 15-30 cm na linha e 0-15 cm na entrelinha, foram coletadas com um cilindro maior, com 5,23 cm de diâmetro interno, e transferidas para um saco de plástico. Sem repetições, foi recolhida 1 amostra por profundidade em cada um dos tratamentos para cada um dos blocos a perfazer um total de 27 amostras na linha.

Obtivemos a massa volúmica aparente através do seguinte cálculo:

$$\mathbf{MVA = Ms / Vt} \quad (1)$$

Em que:

MVA: massa volúmica do solo, em g/cm³.

Ms: massa da amostra de solo seco a 105 °C, em g.

Vt: volume do cilindro, em cm³

O volume do cilindro corresponde a:

$$\mathbf{V= h \times \pi \times ((D_{int})^2/2^2)} \quad (2)$$

Em que h corresponde à altura do anel ou cilindro (ou espessura em que foram coletadas as amostras).

A fim de determinar a massa de solo seco a 105 °C nos anéis, recolheram-se, simultaneamente, amostras de solo em caixas de alumínio para a determinação da humidade, aquando da pesagem das amostras das camadas 0-5, 5-15 e 15-30 cm.

3.4.3. Determinação da Humidade do solo

A amostragem da humidade foi feita em simultâneo e nos mesmos pontos da amostragem dos cilindros para a MVA, para determinar a massa de solo seco a 105°C dos cilindros. As amostras foram coletadas em caixas de alumínio, na profundidade de 0 a 5 cm. A humidade do solo foi determinada através do método gravimétrico onde a amostra recolhida nas condições *in situ* é pesada e secada em estufa ventilada a 105°C e novamente pesada depois de seca. A perda de massa resultante da evaporação é comprovada pela diferença das pesagens da massa da amostra antes e depois da secagem. O teor de água numa amostra de solo foi calculado pela seguinte formula:

$$\mathbf{H\%= [(Mh - Ms) / Ms] \times 100} \quad (3)$$

Em que:

Mh: Massa da amostra húmida em condições de campo (g)

Ms: Massa da amostra seca a 105°C na estufa (g)

H%: Humidade (%)

3.4.4. Porosidade total

A porosidade total (ϕ ou P) é dada pela seguinte expressão:

$$\phi = (MVP - MVA) / MVP \quad (4)$$

Sendo:

MVA a massa volúmica aparente do solo (g/cm³) e

MVP a massa volúmica das partículas e também chamada massa volúmica real do solo (g/cm³) que se pode admitir ~2,65 g/cm³ para os solos em Portugal com teor de matéria orgânica inferior a 3% (Botelho da Costa, 1975).

A porosidade pode ser expressa em percentagem se o valor obtido pela equação (4) for multiplicado por 100.

3.4.5. Permeabilidade e determinação da condutividade hidráulica saturada, ks

As amostras utilizadas para este método foram os anéis com solo usados para a determinação da densidade aparente. Estas amostras são amostras indeformadas que foram saturadas por capilaridade, até se observar água à superfície do solo. Depois de saturadas, foram realizados os ensaios para determinação da permeabilidade num permeâmetro (Eijkelkamp), utilizando o método de carga constante e de carga variável.

Para o método de carga constante, cronometrou-se o tempo (Δt) referente ao volume de água coletado (Vol) em cada amostra e a condutividade hidráulica do solo saturado foi determinada pela expressão (Reynolds et al., 2002):

$$Ks_{const}(\text{cm/dia}) = \frac{\text{Vol}(\text{ml}) \times Di(\text{cm})}{A_{amostra}(\text{cm}^2) \times \Delta t(\text{dia}) \times \Delta h(\text{cm})} \quad (5)$$

Vol em ml: Volume de água recolhido na bureta (ml)

Di em cm: Diâmetro dos anéis, Di = 5 cm

$A_{amostra}$ em cm²: área da amostra, $A_{amostra} = \pi \times \left(\frac{Di}{2}\right)^2 = 19,635 \text{ cm}^2$

Δt em dia: Intervalo de tempo para medição de água na bureta, $\Delta t = \frac{\text{minutos decimais}}{24h \times 60min}$

Δh em cm: desnível entre a altura de água no tanque e no anel, $\Delta h = -H_{tanq} - H_{anel}$

H_{tanq} : Altura de água no tanque (cm)

H_{anel} : Altura de água no anel (cm)

O método de carga variável foi usado para aquelas amostras que não permitiram a recolha de água pelo método de carga constante, por apresentarem uma condutividade hidráulica saturada muito baixa. Para o método de carga variável foram feitas leituras da altura de água inicial (h_i) e do tempo inicial (t_i) e da altura de água final (h_f) que subiu dentro de cada anel em função do tempo. A condutividade hidráulica do solo saturado foi determinada pela expressão (Reynolds et al., 2002):

$$K_{s_{var}}(\text{cm/dia}) = \frac{A_{acimaAmostra}(\text{cm}^2) \times H_{anéis}(\text{cm})}{(A_{amostra}(\text{cm}^2) \times \Delta t) \times \ln\left(\frac{\Delta h_i(\text{cm})}{\Delta h_f(\text{cm})}\right) + \left(\frac{f_e \times H_{anéis}}{A_{amostra}} \times \sqrt{\frac{\Delta h_i(\text{cm})}{\Delta h_f(\text{cm})}}\right)} \quad (6)$$

Onde:

$A_{acimaAmostra}$ é a área acima da amostra em cm^2 , $A_{acimaAmostra} = 18,475 \text{ cm}^2$ com diâmetro acima dos anéis de 4,85 cm.

$H_{anéis}$ é a altura dos anéis em cm, $H_{anéis} = 5,10 \text{ cm}$ (51 mm)

$A_{amostra}$ é a área da amostra em cm^2 , $A_{amostra} = 19,635 \text{ cm}^2$

Δt , Intervalo de tempo entre medições da altura de água sobre a amostra (dias), $\Delta t = \frac{n^\circ \text{ Horas}}{24h}$

Δh_i , desnível entre a altura de água no tanque e no anel no início da medição (cm),

$\Delta h_i = -H_{itanq} - H_{ianel}$, corresponde às alturas de água no tanque e no anel no início da contagem do tempo (cm)

Δh_f , desnível entre a altura de água no tanque e no anel no final da medição (cm),

$\Delta h_f = -H_{ftanq} - H_{fanel}$, corresponde às alturas de água no tanque e no anel no final da contagem do tempo (cm)

f_e , factor de evaporação = 0.0864 cm/d

Em seguida, a condutividade hidráulica saturada foi calculada à temperatura de 20°C (cm/d), para os dois métodos, utilizando a expressão a seguir (Reynolds et al., 2002):

$$K_{s_{20^\circ C}}(\text{cm/dia}) = \frac{K_s(\text{cm/dia}) \times \text{Vis. Water}(T^\circ C)}{\text{Vis. Water}(20^\circ C)} \quad (7)$$

$\text{Vis. Water}(T^\circ C)$: Viscosidade da água em função da temperatura da água (°C)

3.4.6. Análise da distribuição e estabilidade dos agregados

Para determinar a distribuição e estabilidade dos agregados na camada de 0-5 cm, foram coletadas 3 amostras por tratamento correspondendo a um total de 27 amostras na linha e 9 amostras na entrelinha.

Os agregados foram crivados a seco com agitação manual mínima em malhas de diâmetro de 5 mm, 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, e 0,25 mm.

Em seguida foi feito o mesmo procedimento da distribuição dos agregados com as mesmas amostras submetidas posteriormente a duas quedas sucessivas de 1 m de altura.

Caracterizou-se a estrutura do solo, por intermédio do diâmetro médio geométrico (DMG), que representa o tamanho das classes de agregados medidas admitindo que o tamanho dos agregados tem uma distribuição normal logarítmica (Kemper & Rosenau, 1986).

A estabilidade da agregação foi determinada utilizando os agregados da classe 2-1 mm submetidos a uma crivagem que provoca emersão e submersão em ~50 ml de água (copo 1) durante 3 min, usando um agitador mecânico com um crivo de 250 µm de malha de acordo com o método de Kemper e Rosenau (Kemper & Rosenau, 1986). A mesma amostra é, em seguida, crivada do mesmo modo numa solução de ~50 mL com 2,0 g/L de hexametáfosfato de sódio, (copo 2) de modo a provocar a desagregação dos agregados que resistiram à primeira crivagem (em água). A desagregação foi completada manualmente de modo a eliminar todos os agregados estáveis. Pesa-se as massas dos copos (tara) e o solo que passa pelo crivo e fica retido nos copos com água e com hexametáfosfato de sódio depois de irem à estufa a 105°C. Este método permite determinar a percentagem de agregados estáveis da classe 2-1 mm.

$$\% \text{ de Agregados estáveis} = \frac{M_{\text{Solo.Hexa}}}{\sum(M_{\text{Solo.Água}} + M_{\text{Solo.Hexa}})} \times 100 \quad (8)$$

Onde, $M_{\text{Solo. água}}$ e $M_{\text{Solo.Hexa}}$, são as massas de solo seco a 105°C que correspondem, respectivamente, à crivagem suave em água (agregados não estáveis) e, em seguida, em hexametáfosfato de sódio (agregados estáveis). A massa da fracção arenosa que fica retida no crivo de 250 µm não entra no cálculo da percentagem de agregados estáveis.

3.4.7. Determinação da fracção grosseira e da fracção fina do solo

As amostras de solo foram secas ao ar e foram crivadas com um crivo de malha de 2 mm.

A fracção grosseira foi separada (> 2 mm) em copos tarados, lavada, seca e pesada.

A fracção fina (<2 mm) foi utilizada para as determinações de: textura, pH, carbono orgânico, carbono da matéria orgânica particulada (POM-C), carbono oxidável em permanganato (POX-C), fósforo e potássio extraíveis.

3.4.8. Determinação da textura do solo

A textura foi determinada pelo método da análise mecânica seguindo procedimento adoptado no Laboratório de Física do Solo do Departamento de Fitotecnia da Universidade de Évora. Resumidamente, areia grossa foi determinada por crivagem, a areia fina por sedimentação-decantação e o limo e a argila por sedimentação-pipetagem.

3.4.9. Determinação do carbono orgânico presente na matéria orgânica particulada (POM-C) e do carbono orgânico total no solo (SOC)

Foi utilizado um método de fracionamento definido operacionalmente para determinar as fracções de matéria orgânica do solo, de acordo com Cambardella e Elliot (Cambardella & Elliott, 1992). Este método separa a matéria orgânica total em duas fracções: $\geq 53 \mu\text{m}$, matéria orgânica particulada (POM) e $< 53 \mu\text{m}$, matéria orgânica complexada com a fracção mineral do solo (COM). O que nos interessa neste trabalho é a POM.

Foram colocadas 10 g de solo $< 2 \text{ mm}$ em tubos de centrífuga de 50 mL e 30 mL de hexametáfosfato de sódio foram adicionados na concentração de $5,0 \text{ g.L}^{-1}$ (0,5%). A mistura foi agitada durante 15 h (durante à noite) em um agitador ajustado em $200 \text{ oscilações.min}^{-1}$. Após este processo, todo o conteúdo do tubo foi colocado num crivo de $53 \mu\text{m}$ e lavado com água destilada. O material retido no crivo, definido como matéria orgânica particulada total ($\geq 53 \mu\text{m}$), foi transferido para um copo de vidro anteriormente pesado, e foi seco a $105 \text{ }^\circ\text{C}$ até evaporação total. Após a secagem, foi registrado o peso da fracção $\geq 53 \mu\text{m}$ e esta foi transferida para um tubo de centrífuga.

Em seguida, foram pesadas aproximadamente 0,35 g da fração $\geq 53 \mu\text{m}$ e da fração fina do solo ($< 2 \text{ mm}$) e analisadas quanto ao seu conteúdo em carbono por combustão seca no analisador elementar (LECO) do Laboratório de Física do Solo do Departamento de Fitotecnia da Universidade de Évora. Os valores obtidos a partir do software são dados em percentagem (% de POM-C e % de SOC).

SOC foi determinado através do cálculo: $\text{SOC (g.kg}^{-1}\text{)} = \% \text{SOC} \times 10$

A determinação do carbono orgânico particulado em g.kg^{-1} foi feita através do cálculo seguinte:

$$\text{POM - C (g.kg}^{-1}\text{)} = \frac{(\% \text{POM.C} \times 10) \times M_{s > 53 \mu\text{m}} \text{ (g)}}{\frac{M_{h \text{ solo}} \text{ (g)}}{1 + \text{Hum} \text{ (g.g}^{-1}\text{)}}} \quad (9)$$

Onde:

$M_{s > 53 \mu\text{m}}$ (g), massa seca a 105°C corresponde a POM,

$M_{s > 53 \mu\text{m}}$ (g) = Massa Tara Copo + M_s - Massa Tara Copo

Hum (g.g^{-1}), Correção do POM-C pela humidade do solo seco ao ar

$$\text{Hum} \text{ (g.g}^{-1}\text{)} = \frac{M_{\text{água}}}{M_s}$$

Massa água, $M_{\text{água}}$ = Massa Tara Copo + M_h - Massa Tara Copo + M_s

Em algumas amostras detectou-se a presença de carbonatos, casos em que foi necessário proceder à sua destruição prévia com HCl antes da determinação do C orgânico. Procedeu-se também ao mesmo tratamento em amostras sem carbonatos para corrigir possíveis desvios na determinação do C orgânico sem e com o tratamento com HCl.

3.4.10. Quantificação do teor de carbono oxidável (POX-C) em solução de permanganato de potássio.

A determinação do carbono oxidável foi realizada de acordo com o método descrito em Weil et al., (2003). Para esta quantificação, 2 g de solo $< 2 \text{ mm}$ foram pesadas em um tubo de centrifuga de 50mL seguidos da adição de 18 mL de água destilada e 2 mL de uma solução stock de permanganato de potássio (KMnO_4 0.2M) preparada anteriormente. Na sequência foram primeiramente agitadas com vigor manualmente por 2 segundos, em seguida foram agitadas no agitador a 240 oscilações/min durante 2 minutos. As amostras foram postas em repouso durante 10 minutos para que ocorresse a oxidação do carbono. Após o tempo de

repouso, para cada amostra pipetou-se rapidamente 0,5mL do sobrenadante em outro tubo centrífuga de 50mL, onde havia 49.5mL de água destilada. A quantificação do POX-C foi realizada a seguir via a leitura de absorvância em espectrofotómetro de UV-Vis com absorvância ajustada aos 550 nm. O zero do espectrofotómetro foi acertado com água destilada e os resultados de concentração de POX-C foram calculados a partir da curva padrão preparada com concentrações crescentes de KMnO_4 (Anexo A3.8).

Utilizou-se a seguinte equação para determinar a quantidade de POX-C (Weil et al., 2003):

$$\text{POX.C (mg.kg}^{-1} \text{ de solo)} = [0.02 \text{ mol.L}^{-1} - (a + b \times \text{Abs})] \times (9000 \text{ mgC.mol}^{-1}) \times \left(\frac{0.02 \text{ L sol.stock}}{W_t} \right) \quad (10)$$

Onde:

0,02 mol/L = concentração inicial da solução

a = intercepção da curva padrão

b = inclinação da curva padrão

Abs = absorvância do desconhecido

9000 mgC/mol = mg de carbono oxidado por mole de MnO_4 mudando de Mn^{7+} para Mn^{4+}

0,02 L = volume da solução de stock que reagiu

W_t = peso da amostra de solo seca ao ar em kg

3.4.11. Determinação do pH

A medição do pH foi feita através do método usado no Laboratório Químico Agrícola da Universidade de Évora. A determinação utilizada foi a do pH em água destilada e pH em KCl 1M. Para tal foi utilizada a relação solo:solução 1:2,5 e as leituras no potenciómetro foram feitas na suspensão após 2h de estabilização da suspensão.

3.4.12. Quantificação do fósforo (P_2O_5) e potássio (K_2O) extraíveis

A determinação do fósforo e potássio extraíveis foi feita através do método de Egnér-Riehm, segundo o procedimento do Laboratório Químico Agrícola da Universidade de Évora, que utiliza lactato de amónio 0,1 N e ácido acético 0,4 com carácter tampão para pH de 3,7-3,8. Considera-se este pH semelhante ao que existirá na zona de absorção das raízes (Egnér et al., 1960).

O método de Egnér-Riehm fornece um parâmetro de disponibilidade destes nutrientes para as plantas, no entanto, é de esperar que nas amostras que apresentam alguns carbonatos os valores de fósforo sejam dados por excesso atendendo a que o pH do método leva à dissolução dos carbonatos e à quantificação de fósforo que não está em formas disponíveis para as plantas

3.4.13. Espectroscopia de infravermelho próximo (NIR) na determinação de atributos químicos orgânicos e inorgânicos do solo

As amostras utilizadas para este método são as amostras da fracção fina do solo (<2mm), recolhidas na linha e que foram preparadas anteriormente, num total de 27 amostras. Foram também utilizadas 12 amostras de outros solos com diferentes perfis químicos para permitirem um leque mais abrangente de características de solo e, dessa forma, permitirem melhores correlações entre as propriedades químicas do solo e as leituras do espectrofotómetro de infravermelho.

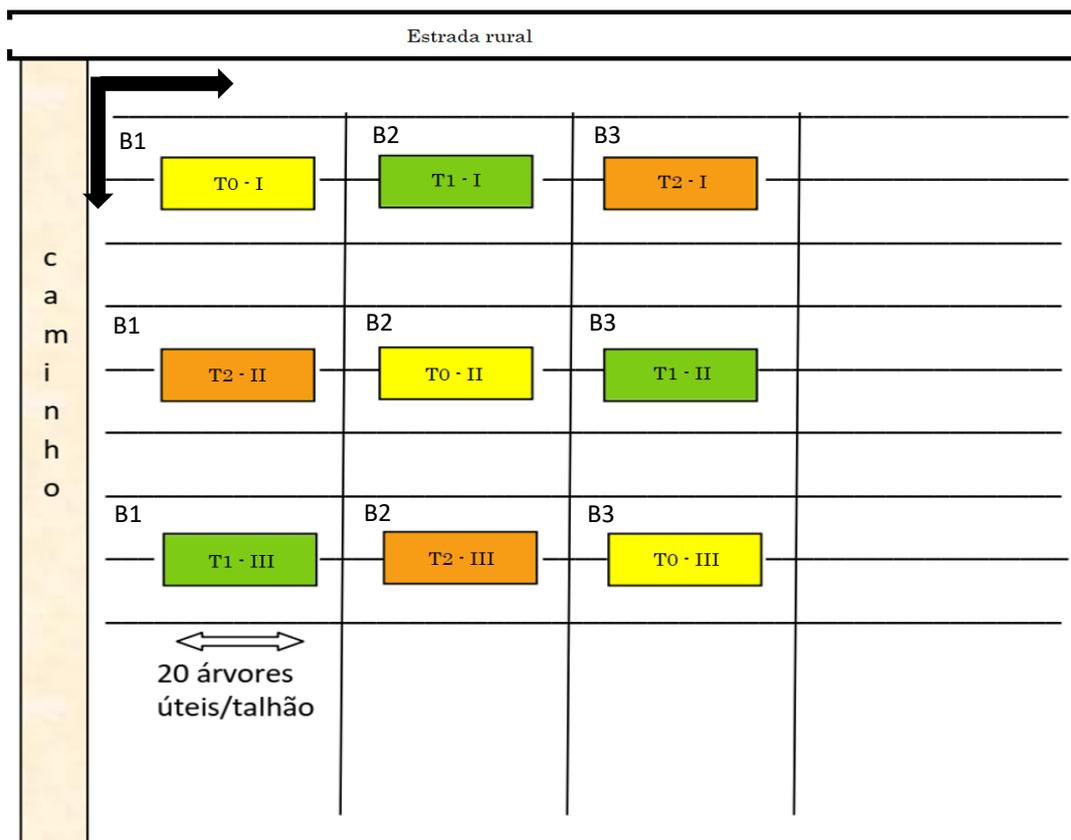
Para a obtenção dos espectros de infravermelho próximo, foi utilizado o aparelho Perkin Elmer Spectrum 100 do Laboratório de Tecnologia Pós-colheita da Universidade de Évora, Polo Mitra. O aparelho foi calibrado para fazer o branco com uma placa de petri em quartzo vazia que corresponde a 100% de reflectância. Após calibração, as 12 amostras padrões bem como as 27 amostras de solo foram distribuídas em placas de petri e lidas. Todas as amostras foram lidas em 3 repetições. A leitura espectral foi feita por reflectância com o espectro de 4200 pontos. Por fim, reagruparam-se os dados numa tabela excel, os dados espectrais com dados de carbono orgânico, POX-C, POM-C, fósforo e potássio, obtidos por via experimental clássica afim de comparar estes resultados com os dados da análise NIR.

Os dados espectrais juntamente com dados obtidos por vias clássicas foram analisados com o software Unscrambler X, onde foi feita uma classificação estatística por análise de componentes principais (PCA) e realizada uma regressão por mínimos quadrados parciais (PLSR).

3.5. Abordagem experimental

3.5.1. Delineamento experimental

O delineamento experimental foi feito em blocos completos casualizados (3 tratamentos e 3 repetições, correspondendo a um total de 9 talhões) e encontra-se representado na Figura 2. Foram marcadas 3 linhas de árvores (I, II, III), correspondendo a 3 blocos (1, 2, 3). As linhas encontram-se separadas, entre si, por duas linhas de bordadura. Em cada bloco foram casualizados 3 talhões, correspondendo aos 3 tratamentos de aplicação de composto: T0 - 0 kg/m²; T1 - 2,5 kg/m²; T2 - 5kg/m². Cada talhão tem 20 árvores e estão separados, entre si, por 6 árvores (Figura 5).



Legenda: Tratamentos



Testemunha: 0kg/m²



Dotação 1 de composto (Metade da dotação máxima): 2,5kg/m²



Dotação 2 de composto (Dotação máxima): 5kg/m²



Direcção N

I, II, III Linhas de árvores

Bloco 1,2,3 Blocos transversais as linhas

Figura 5: Marcação dos talhões ou parcelas no ensaio Cobrançosa (Compasso 6.0m x 1.5m).

3.5.2. Amostragem do solo

Nas camadas 0-5, 5-15 e 15-30 cm foram coletadas amostras de solo perturbadas na linha e na entrelinha, para a determinação das seguintes propriedades do solo: humidade, fracção grosseira e fracção fina, textura, pH, carbono orgânico total (SOC), carbono da matéria orgânica particulado (POM-C), carbono oxidável pelo permanganato de potássio (POX-C) e

fósforo e potássio extraíveis. Também foram coletadas na linha, amostras de solo não perturbadas ou indeformadas com recurso a anéis para a determinação da massa volúmica aparente e da porosidade. As amostras da camada de 0-5 cm destinadas a MVA, foram utilizadas para a determinação da permeabilidade do solo. Ainda na camada de 0-5 cm foram coletadas amostras de agregados para caracterização da distribuição dos agregados e da sua estabilidade. Na entrelinha as amostras destinadas a determinação da MVA foram coletadas nas camadas de 0-15 e 15-30 cm.

Os resíduos foram quantificados à superfície do solo em cada tratamento.

Todas as amostras coletadas na entrelinha foram feitas somente para o tratamento 2 (T2, quantidade máxima de composto).

A amostragem realizou-se por aleatorização das árvores em cada talhão, assumindo um quadrado de cerca 0,5 x 0,5 m em que a árvore é um dos vértices e realizando a colheita das amostras de solo no vértice oposto (Figura 6).

Os períodos estudados foram: i) antes da aplicação do composto, em janeiro 2020; ii) 5 meses após a aplicação do composto, em julho 2020. Em cada período estudado, a quantidade de pontos de colheitas foi igual para cada tratamento e foi determinada de acordo com a propriedade do solo a analisar.

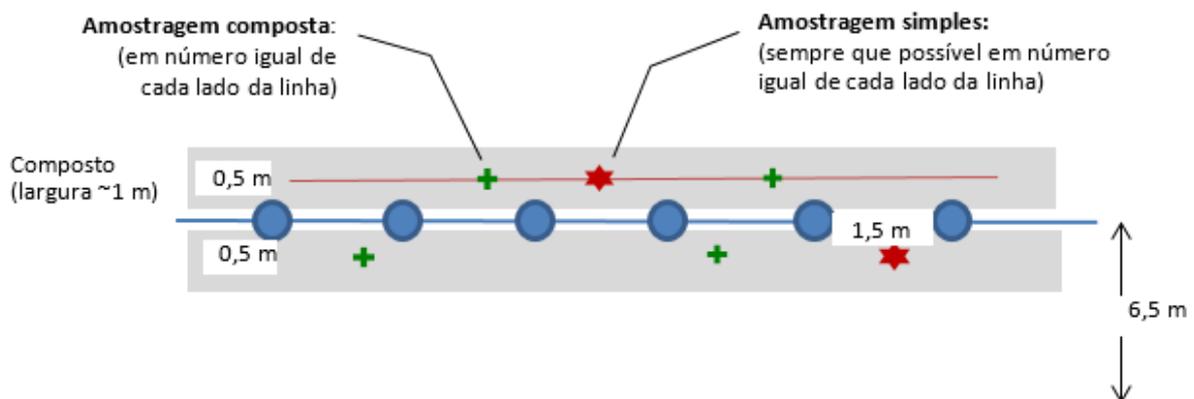


Figura 6: Amostragem de solo (simples para amostras não perturbadas e composta para amostras perturbadas) feita no vértice oposto ao vértice coincidente com a árvore, assumindo um quadrado de cerca 0,5 x 0,5 m.

3.5.3. Notação e tratamento estatístico dos dados

Os resultados são apresentados através de análise estatística descritiva, em forma de diagrama de caixas, gráfico de frequência e a análise de variância através da ANOVA.

A apresentação dos parâmetros com amostras recolhidas na linha e entrelinha, na camada do solo de 0-5 cm, foi feita por parcela (Ln.Tn) em diagramas de caixas. Ln sendo as linhas escolhidas (L1, L2, L3), que juntam todos os tratamentos Tn (T0, T1, T2). As parcelas são L1.T0, L1.T1, L1.T2, L2.T0, L2.T1, L2.T2, L3.T0, L3.T1, L3.T2 na linha (LP) e L1.T2, L2.T2, L3.T2 na entrelinha (EP). Estes parâmetros são: Resíduos, distribuição (DMG) e estabilidade dos agregados, MVA, porosidade total e ks.

Já para as análises de FG, MVA, porosidade, SOC, POM-C, POX-C, pH, P₂O₅ e K₂O, os diagramas de caixas foram feitos para cada camada (0-5 cm, 5-15 cm e 15-30 cm) somente na linha e apresentados por tratamento (T – T0, T1, T2).

O gráfico de frequência representa os dados de cada parâmetro na linha.

Para a ANOVA foram feitas comparações entre os tratamentos na linha (T – T0, T1, T2), entre todas as parcelas na linha (LP – Ln.Tn), entre as parcelas na entrelinha (EP – Ln.T2), entre os blocos perpendiculares as linhas (B – B1, B2, B3), entre as linhas (L - L1, L2, L3) e entre as parcelas da linha e as parcelas da entrelinha com dotação máxima T2 - 5kg/m² (L.E: Ln.T2).

Todos os resultados foram submetidos à análise descritiva dos dados e a análise de variância (ANOVA) com 5% de probabilidade (p-valor < 0,05) completada pelo teste de TukeyHSD quando é necessário, utilizando o software R Studio.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta fase de estudo corresponde à situação de referência do projecto, antes da aplicação do composto, em que se justifica a caracterização do solo a fim de catalogar as diferenças entre parcelas e entre tratamentos da área de estudo para as demais análises. A caracterização dos solos é importante pois podem existir factores externos que introduzam variabilidade nos resultados entre os blocos casualizados com vários níveis (tratamentos) e que interessa controlar. Para este efeito, a variabilidade foi analisada do ponto de vista estatístico. Os valores das análises descritivas para todos os parâmetros estudados estão no anexo 3.

4.1. Caracterização física do solo

A caracterização física do solo é apresentada em primeiro lugar pelas propriedades que só visam caracterizar o solo. Em seguida são apresentadas as propriedades usadas como indicadores de qualidade física do solo neste projecto.

4.1.1. Determinação da fracção grosseira e da fracção fina do solo (g/kg)

- **Fracção grosseira do solo (FG)**

As figuras abaixo apresentam a distribuição das frequências de classe (Figura 7) e a variabilidade dos dados da FG em diagrama de caixas (Figuras 8).

Os tratamentos apresentam mais ou menos o mesmo teor de fracção grosseira, em volta de 80-100 g/kg em todas as camadas (Figura 7 e 8).

A quantidade de fracção grosseira tende a diminuir conforme a profundidade do solo é mais importante. Para camada de 5-15 cm observa-se menores valores para o tratamento 2 (≈ 70 g/kg) em relação aos outros tratamentos T1 e T3 (≈ 100 g/kg) (Figura 8).

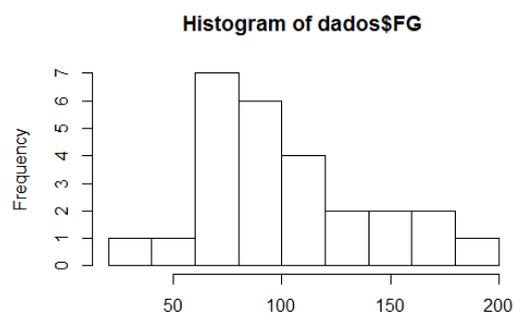


Figura 7: Gráfico de frequências dos dados da fracção grosseira do solo (em g.kg⁻¹)

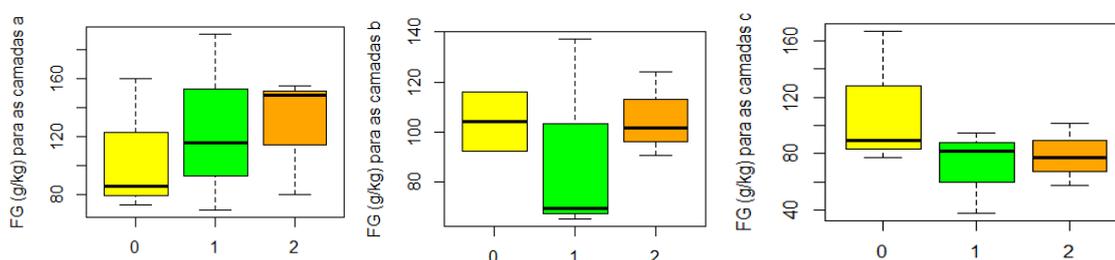


Figura 8: Diagramas de caixa dos dados da fracção grosseira do solo (g.kg⁻¹) para os tratamentos T0, T1 e T2 na linha nas camadas de 0-5cm, 5cm-15cm e 15cm-30cm respectivamente (da esquerda para a direita).

Em seguida, na Tabela 3 observam-se os resultados da análise anova sobre a FG para as três camadas de solo. A FG não apresentou diferenças significativas ($p < 0,05$) de médias na linha entre os tratamentos observados para cada camada (Tabela 3).

Tabela 3: Análise Anova sobre a da fracção grosseira do solo entre tratamentos na linha (T) nas camadas 0-5 cm, 5-15 cm e 15-30 cm.

ANOVA			
	Df	F value	Pr(>F)
T	2	0.206	0.815 ns
T"0-5 cm"	2	0.162	0.854 ns
T"5-15 cm"	1	0.234	0.799 ns
T"15-30 cm"	2	1.070	0.400 ns

*Pr(>F): p-valor < 0,05; ns: não significativo

**N é observado no Anexo A3.1

4.1.2. Textura do solo

Observa-se uma certa diminuição do teor de argila (principalmente nas camadas 0-5 cm e 5-15 cm) quando se passa de L1.T2 (mais acima na encosta) para L3.T1 (mais abaixo na encosta, junto à estrada) (Tabela 4).

Tabela 4: Dados da textura para caracterização do solo das parcelas L1.T2, L2.T0 e L3.T1 e avaliação da variabilidade espacial do solo.

Ref	Tratamento	Camada (cm)	AG %	AF %	L %	G %	Total %	Classe Textural
L1.T2	T2	0-5	8.30	36.20	24.10	31.40	100.00	Franco-Argiloso
L1.T2	T2	5-15	7.80	35.50	26.60	30.10	100.00	Franco-Argiloso
L1.T2	T2	15-30	8.50	33.60	25.80	32.10	100.00	Franco-Argiloso
L2.T0	T0	0-5	9.40	41.00	25.80	23.80	100.00	Franco
L2.T0	T0	5-15	9.20	40.30	25.10	25.40	100.00	Franco
L2.T0	T0	15-30	7.40	40.00	27.00	25.60	100.00	Franco
L3.T1	T1	0-5	9.00	43.20	27.00	20.80	100.00	Franco
L3.T1	T1	5-15	8.50	41.90	25.70	23.90	100.00	Franco
L3.T1	T1	15-30	7.30	37.20	30.00	25.50	100.00	Franco-Limoso

Referências e disposição das parcelas

L1.T0	L1.T1	L1.T2
L2.T2	L2.T0	L2.T1
L3.T1	L3.T2	L3.T0

Os solos têm uma quantidade de argila e limo maior na camada de 15 a 30 cm. O CV representando a AG, AF e o L apresenta valores com baixa dispersão, os dados são homogêneos nas 3 camadas (CV mínimo 2.93%, máximo 8.92%). O CV para a argila representa maior dispersão de médias com valores indo a 21.57% na primeira camada (0-5 cm) (Tabela 5), o que pode vir da maior quantidade de argila nas parcelas da encosta mais acima (Tabela 4).

Tabela 5: Valores da média, desvio padrão e coeficiente de variação, obtidos dos dados da textura para as 3 camadas (0-5 cm, 5-15 cm e 15-30 cm) que correspondem às parcelas L1.T2, L2.T0 e L3.T1.

Camadas	AG	AF	L	G	Classe de textura
Média					
0-5	8,90	40,13	25,63	25,33	Franco
5-15	8,50	39,23	25,80	26,47	Franco
15-30	7,73	36,93	27,60	27,73	Franco-Argiloso
Desvio padrão					
0-5	0,56	3,58	1,46	5,46	
5-15	0,70	3,33	0,75	3,23	
15-30	0,67	3,21	2,16	3,78	
Coeficiente de variação (%)*					
0-5	6,26	8,92	5,68	21,57	
5-15	8,24	8,49	2,93	12,22	
15-30	8,61	8,69	7,84	13,64	

*O coeficiente de variação é dado pela razão desvio padrão/média, expresso em % e é uma medida relativa da variabilidade dos dados.

4.1.3. Quantificação da Manta Morta à superfície do solo

- **Resíduos antes da aplicação do composto (situação de referência)**

As figuras abaixo apresentam a distribuição das frequências de classe (Figura 9) e a variabilidade dos dados de resíduos em diagrama de caixas antes do composto (Figuras 10 e 11). Os resultados na linha, apresentaram diferenças entre as medianas do peso da manta morta entre tratamentos, com medianas no tratamento T0 em torno de 0,04 e 0,06 kg.m⁻², o tratamento T1 entre 0,03 e 0,04 kg.m⁻² e em torno de 0,02 e 0,06 kg.m⁻² para o tratamento T2 (Figura 10). Há uma forte variabilidade de pesos entre as parcelas na linha. Em oposição, observa-se maior homogeneidade dos pesos na entrelinha, com pesos a-baixo de 0,01 kg.m⁻² de resíduos por parcela (Figura 11). Estimar a biomassa de resíduos culturais no solo é importante no que diz respeito às questões agrônômicas e ambientais da gestão das matérias orgânicas no sistema cultural (Thiebeau & Recous, 2016).

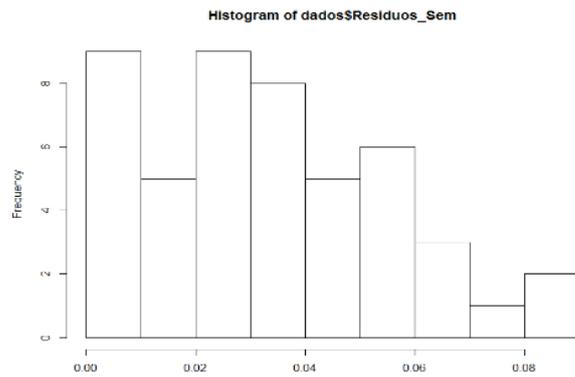


Figura 9: Gráfico de frequências dos dados dos resíduos antes do composto (kg.m^{-2}).

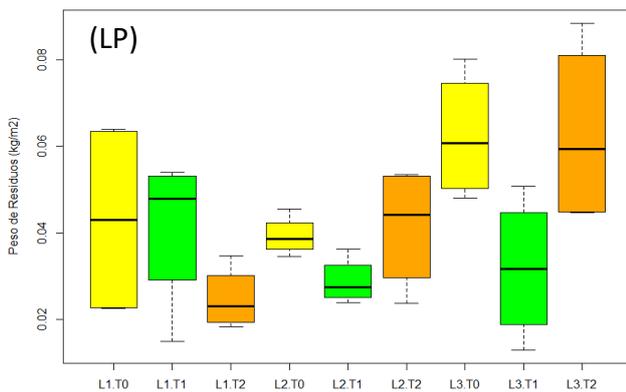


Figura 10: Diagrama de caixas dos resíduos (kg.m^{-2}) antes do composto sobre todas as parcelas na linha.

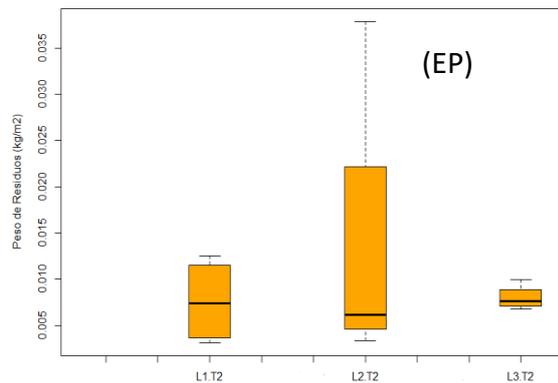


Figura 11: Diagrama de caixas dos resíduos (kg.m^{-2}) antes do composto sobre todas as parcelas na entrelinha.

Observa-se na Tabela 6, uma grande heterogeneidade na quantidade de resíduos na linha, entre parcelas e entre tratamentos, as médias T e LP são estatisticamente diferentes. Não há diferenças significativas na quantidade de resíduos entre parcelas na entrelinha. A diferença de médias na linha e na entrelinha também foi significativa ($p\text{-valor} = 6.5 \cdot 10^{-5}$) e foi, também, a diferença que apresentou maior significância (L.E: F value = 24.14). Esta diferença ocorre devido a queda natural de resíduos vegetais dos olivais e então o aporte deste material senescente à superfície do solo.

Tabela 6: Análise Anova sobre os resíduos entre tratamentos (T), parcelas na linha (LP), parcelas na entrelinha (EP), blocos (B), linhas (L) e entre linha e entrelinha (L.E)

ANOVA			
	Df	F value	Pr(>F)*
T	2	4.658	0.014
LP	8	3.016	0.015
EP	2	0.430	0.663 ns
B	2	0.439	0.648 ns
L	2	1.489	0.236 ns
L.E	1	24.14	6.5e-05

*Pr(>F): p-valor < 0,05 ; ns: não significativo

**N é observado no Anexo A3.5

- **Resíduos 5 meses após aplicação do composto**

A figura abaixo apresenta a distribuição das frequências de classe de peso dos resíduos após aplicação do composto (Figura 13). Como podemos observar na Figura 9 e 13, foram registradas variações de grande amplitude na quantidade de resíduos antes e após aplicação do composto. Logicamente a maior diferença entre os dois períodos, se encontra no tratamento T2 (aplicação de 5 kg/m²) conseqüentemente, o maior peso de resíduos orgânicos à superfície do solo na segunda amostragem (Figura 13).

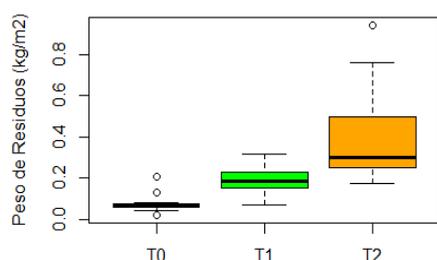


Figura 12: Diagrama de caixas dos resíduos (kg.m⁻²) na linha antes do composto para os tratamentos T0, T1 e T2.

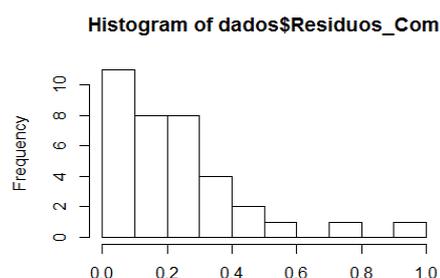


Figura 13: Gráfico de frequências dos dados dos resíduos antes do composto (kg.m⁻²).

Na Tabela 7 dos resultados da anova, verifica-se que há uma diferença significativa entre as parcelas com p-valor = 0,0016 e entre os tratamentos com p-valor = 9,61.10⁻⁶ após a aplicação do composto. Verifica-se também que os efeitos lineares do fator “Tratamento” foi o que se revelou ter mais significância com F = 16,73. Diante disto, os resultados do teste de Tukey para os três tratamentos, demonstraram que não houve diferença estatística entre as

medias do peso dos resíduos nos tratamentos T1 e T0 mas houve uma diferença significativa entre T2 e T0, T2 e T1 após a aplicação do composto.

Tabela 7: Análise Anova sobre os resíduos entre parcelas (P), tratamentos (T) com complementação do teste TukeyHSD entre os tratamentos.

ANOVA				
	Df	F value	Pr(>F)*	
P	8	4.411	0.002	
T	2	16.732	9.61E-06	
TukeyHSD				
Tratamento	diff	lwr	upr	p.adj
T1-T0	0.114	-0.029	0.257	0.141 ns
T2-T0	0.332	0.189	0.475	0.000
T2-T1	0.218	0.075	0.361	0.002

*Pr(>F): p-valor < 0,05; ns: não significativo
 **N é observado no Anexo A3.5

Após a análise dos resultados estatísticos deduzimos que há uma heterogeneidade na distribuição dos resíduos na totalidade das parcelas antes da aplicação do composto. Depois de 5 meses a seguir a aplicação, a quantidade de composto influenciou no peso das amostras, sendo assim, maior quantidade de resíduos nas parcelas em tratamento T2, pesos intermédios nas parcelas com T1, e pesos ligeiramente iguais aos anteriores ao composto nas parcelas com T0 (testemunha) (Figura 14).

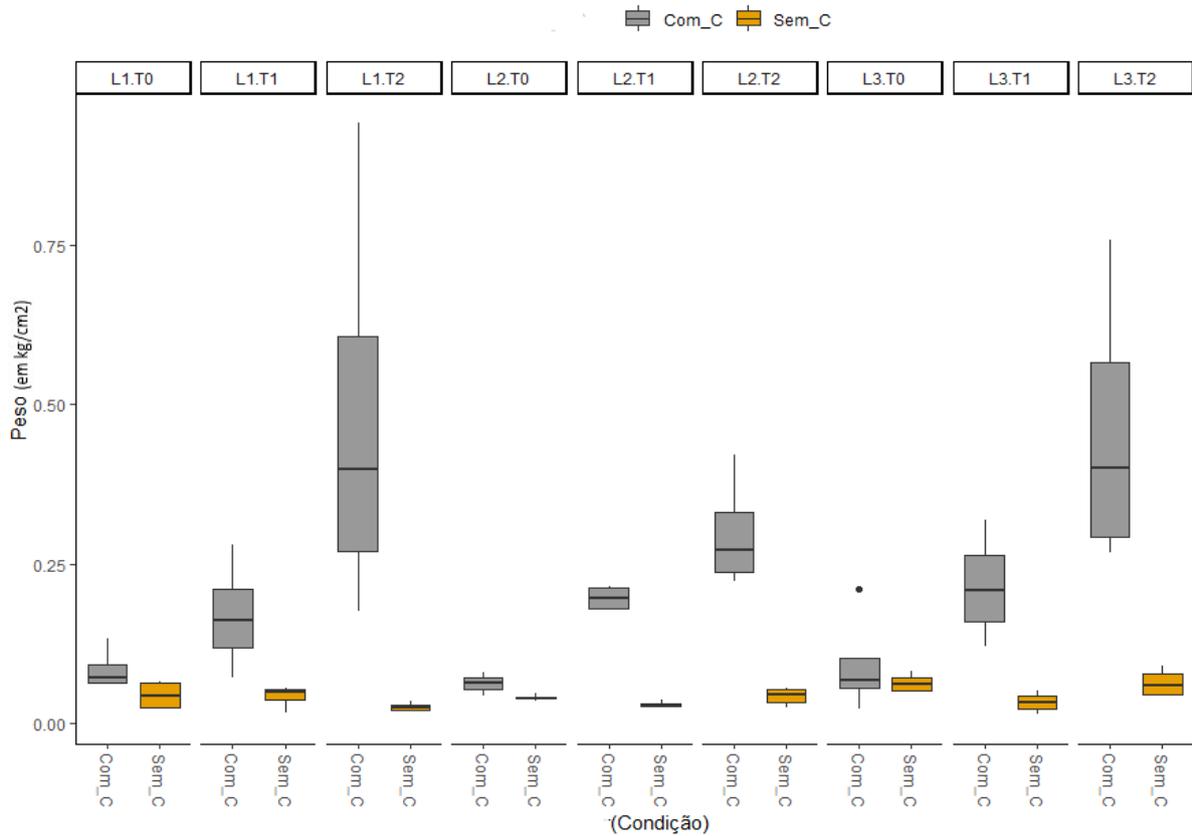


Figura 14: Peso da manta morta estimada antes (Resíduos 0) e após 5 meses da aplicação do composto (Resíduos 1), (em kg/cm²).

4.1.4. Distribuição dos agregados

O tipo de agregação predominante recolhido corresponde principalmente ao anisóforo anguloso, que tem forma irregular e com desenvolvimento aproximadamente igual em todas as direções conforme se pode observar na Figura 15 (Santos et al., 2017).



Figura 15: Fotos das amostras de solo representando os agregados antes da crivagem (Fonte: O autor).

- **Crivagem suave**

As figuras abaixo apresentam a distribuição das frequências de classe (Figura 16) e a variabilidade dos dados de DMG em crivagem suave na linha e entrelinha em diagrama de caixas (Figuras 17 e 18).

Na estatística descritiva, as medianas do DMG dos agregados estáveis na primeira camada de solo variam pouco em torno de 9,1 mm na linha (Anexo 3.4, Figura 17).

Nas parcelas na linha, pode se observar com mais detalhes onde há variabilidade, maior DMG na parcela L1.T2 (10.2 mm). Os tratamentos T0 e T1 apresentam aproximadamente valores iguais para todas as linhas (LT1, LT2, LT3). No T2 encontram-se valores mais baixos de DMG, pouco menos de 8.5 mm para as linhas LT2 e LT3 (Figura 18). Na entrelinha, os dados de DMG são maiores próximo de 11 mm para L1.T2 (Figura 18).

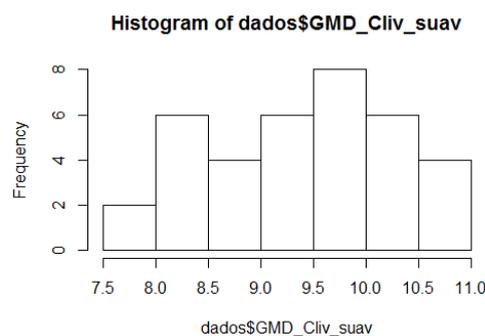


Figura 16: Gráfico de frequências dos dados do DMG dos agregados (em mm).

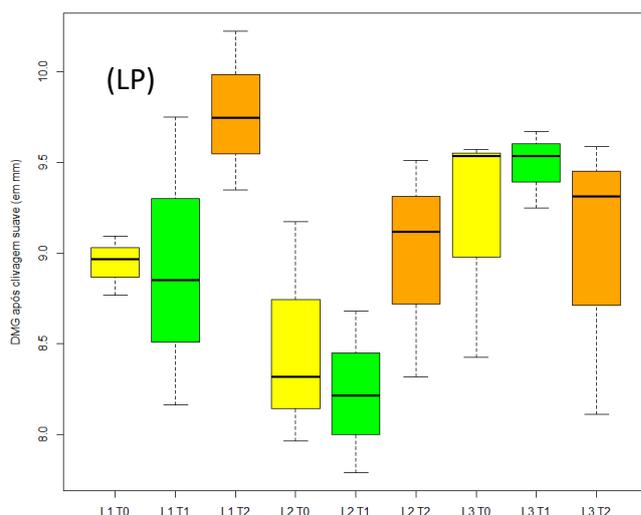


Figura 17: Diagrama de caixas dos dados do DMG dos agregados na linha (LP) em mm após crivagem suave.

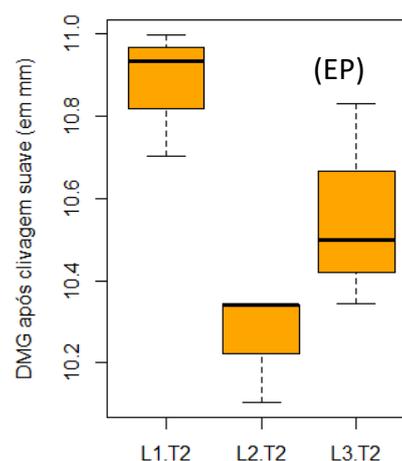


Figura 18: Diagrama de caixas dos dados do DMG dos agregados, na entrelinha (EP) em mm após crivagem suave.

Não há diferenças significativas entre as parcelas na linha, entre blocos e entre linhas. Como para a MVA e porosidade total na camada de 0 a 5 cm, estatisticamente as diferenças observadas são entre as médias de DMG da linha e entrelinha para a crivagem suave. Na entrelinha também houve diferença entre parcelas (p -valor = $6.59e^{-05}$) (Tabela 8).

Tabela 8: Análise Anova sobre o DMG dos agregados do solo entre tratamentos (T), parcelas (P), parcelas na linha (LP), parcelas na entrelinha (EP), blocos (B), linhas (L) e entre linha e entrelinha (L.E)

ANOVA			
	Df	F value	Pr(>F)
LP	8	2.021	0.103 ns
EP	2	8.152	0.0195
B	2	0.27	0.765 ns
L	2	1.908	0.164 ns
L.E	1	28.55	6.59e-05

*Pr(>F): p -valor < 0,05; **ns**: não significativo

**N é observado no Anexo A3.4

- **Crivagem após duas quedas de 1 m de altura**

As figuras abaixo apresentam a distribuição das frequências de classe (Figura 19) e a variabilidade dos dados de DMG em crivagem após duas quedas na linha e entrelinha em diagrama de caixas (Figuras 20 e 21).

Na estatística descritiva, as medianas do DMG dos agregados estáveis na primeira camada de solo variam pouco em torno de 7,091 mm (Anexo 3.4, Figura 19). Após duas quedas, na linha, T0 e T1 apresentam um DMG em torno de 6,5 e 7 mm, já T2 apresenta resultado acima de 7 mm atingindo 8 mm (Figura 20). Os valores de DMG para crivagem após 2 quedas seguem a mesma tendência dos valores de DMG da crivagem suave (Figura 17) com diferença no tratamento T1 nas parcelas L2.T1 e L3.T1 (Figura 20). Na entrelinha, a parcela L1.T2 continua a ter maiores valores com média de 10.1 mm (Figura 21).

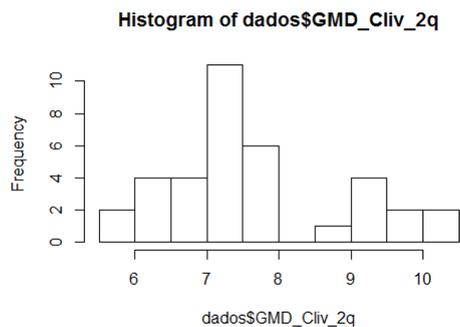


Figura 19: Gráfico de frequências dos dados do DMG dos agregados (em mm) após crivagem com 2 quedas.

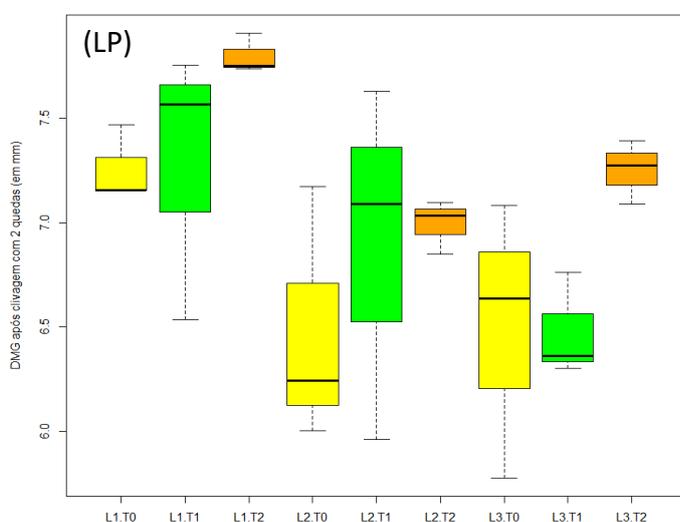


Figura 20: Diagramas de caixa dos dados do DMG após crivagem com 2 quedas dos agregados em mm sobre todas as parcelas na linha (LP).

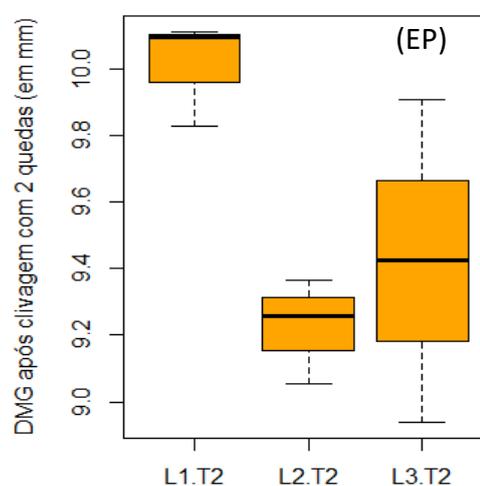


Figura 21: Diagramas de caixa dos dados do DMG dos agregados em mm após crivagem com 2 quedas nas parcelas na entrelinha (EP).

Contrariamente à crivagem suave, surgiram diferenças significativas (p -valor $< 0,05$) de médias do DMG entre parcelas da linha (LP), entre as parcelas da entrelinha (EP) e entre linha e entrelinha (L.E). Não houve diferenças entre as linhas (L) e entre os blocos (B) (Tabela 9).

Tabela 9: Análise Anova sobre o DMG dos agregados do solo entre tratamentos (T), parcelas na linha (LP), parcelas na entrelinha (EP), blocos (B), linhas (L) e entre linha e entrelinha (L.E)

ANOVA			
	Df	F value	Pr(>F)
LP	8	2.644	0.0413
EP	2	5.275	0.0477
B	2	1.553	0.227 ns
L	2	1.204	0.313 ns
L.E	1	130.5	4.19e-09

*Pr(>F): p-valor < 0,05 ; ns: não significativo

**N é observado no Anexo A3.4

- **Comparação do parâmetro DMG para a Crivagem suave e Crivagem após duas quedas**

O gráfico abaixo (Figura 22) mostra a evolução dos valores de DMG em cada parcela para a crivagem suave e a crivagem após 2 quedas de 1 m de altura. Percebe-se que há ligeira baixa nos valores de DMG após 2 quedas comparados aos DMG após crivagem suave. O diâmetro médio geométrico por apresentar resistência à mudança do seu tamanho traduz boa estabilidade dos agregados (Mazurak, 1950).

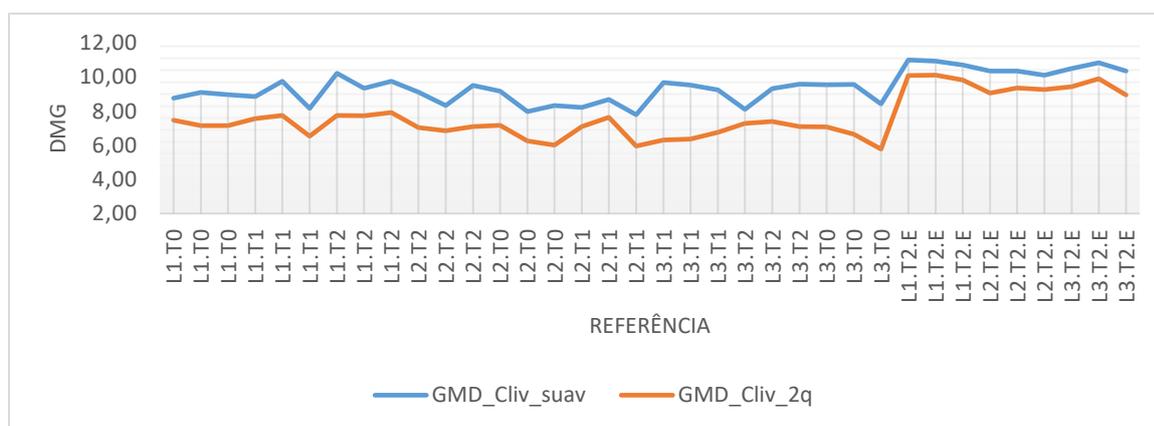


Figura 22: Diâmetro médio geográfico (DMG) dos agregados dos solos após uma crivagem suave e uma crivagem com 2 quedas em mm.

4.1.5. Estabilidade da agregação

As figuras abaixo apresentam a distribuição das frequências de classe (Figura 23) e a variabilidade dos dados de agregação em diagrama de caixas (Figuras 24 e 25).

Na estatística descritiva, as medianas da percentagem dos agregados estáveis na primeira camada de solo (0-5 cm) variam pouco com mediana em torno de 93% na linha (Anexo A3.6, Figura 24).

Há uma variabilidade importante de medianas entre parcelas na linha em torno de 98% (L1.T0) a 88% (L3.T2). A maioria das parcelas apresentaram um teor de estabilidade de agregados acima de 90%. A variabilidade na entrelinha é semelhante à observada na linha, com L1.T2 a $\approx 97\%$ e L3.T2 a $\approx 98\%$ na entrelinha (Figura 24 e 25). Isto pode ser atribuído às mobilizações do solo realizadas para a instalação do olival que levaram à mistura de material do horizonte superficial e subsuperficial, sendo o material deste último mais evidente na entrelinha.

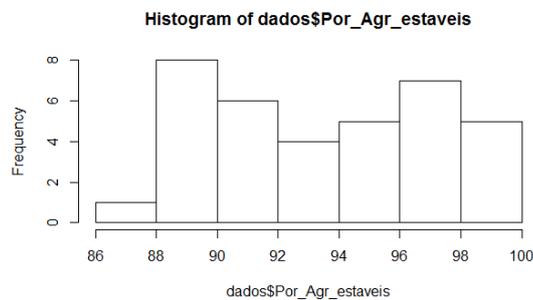


Figura 23: Gráfico de frequências dos dados da estabilidade dos agregados (em %).

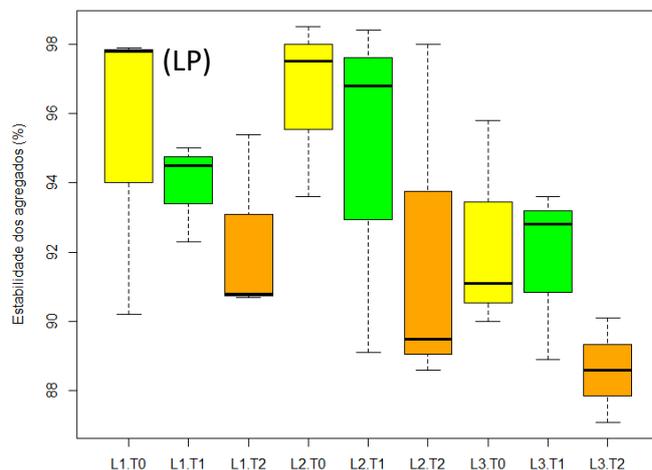


Figura 24: Diagrama de caixas dos dados da estabilidade dos agregados sobre todas as parcelas na linha (LP).

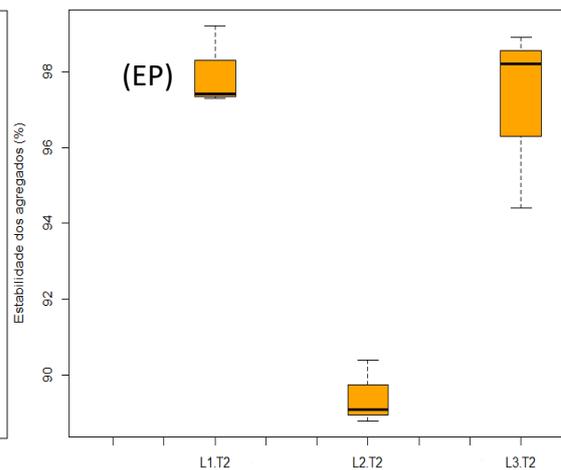


Figura 25: Diagrama de caixas dos dados da estabilidade dos agregados sobre todas as parcelas na entrelinha (EP).

Após as análises de variância (Tabela 10), observou-se que as médias de estabilidade dos agregados não apresentaram diferença significativa entre parcelas na linha. As diferenças

de médias provêm das percentagens de agregação das parcelas na entrelinha ($p < 0,05$). A acção da passagem das máquinas agrícolas na entrelinha faz com que haja desequilíbrio na estabilidade dos agregados ao compactar o solo, o que explica a heterogeneidade de agregação. A maior densidade de raízes na linha favorece a estrutura do solo, isto quer dizer que as raízes contribuem para a formação e estabilidade dos agregados através das ligações dos pontos de contato entre partículas minerais e agregados (Tisdall & Oades, 1982). O que pode explicar os valores de agregados estáveis acima de 90%. A grande variabilidade de agregação observada entre as parcelas na linha pode vir do histórico referido ao processo de preparação do solo anterior a plantação do olival em superintensivo. O manejo mecânico da compactação do solo com máquinas agrícolas como escarificador, destorroadores e outros promovem a ruptura da estrutura do solo. A presença da boa qualidade de agregados e de agregados maiores leva a um solo mais resistente a erosão. A matéria orgânica do solo é o principal agente de estabilização dos agregados podendo ter correlação directa positiva (Lal, 2009).

Tabela 10: Análise Anova sobre a estabilidade dos agregados entre parcelas na linha (LP), parcelas na entrelinha (EP), tratamentos (T), blocos (B), linhas (L) e linha vs entrelinha (L.E).

	ANOVA		
	Df	F value	Pr(>F)
LP	8	1.429	0.251 ns
EP	2	25.859	0.001
T	2	0.644	0.532 ns
B	2	2.034	0.163 ns
L	2	2.485	0.124 ns
L.E	1	4.383	0.0526 ns

*Pr(>F): p-valor < 0,05 ; ns: não significativo

**N é observado no Anexo A3.6

4.1.6. Massa volúmica aparente (MVA)

- **Camada de 0-5 cm**

As figuras abaixo apresentam a distribuição das frequências de classe (Figura 26) e a variabilidade dos dados de MVA de 0-5 cm em diagrama de caixas (Figuras 27 e 28).

Na estatística descritiva, a mediana da MVA na primeira camada de solo na linha apresenta alguma variabilidade em torno de $1,35 \text{ g.cm}^{-3}$ (Anexo A3.2, Figura 26).

As medianas das parcelas são ligeiramente semelhantes na linha (Figura 27). As MVA dos solos na entrelinha são mais altas (com mediana de $1,59 \text{ g.cm}^{-3}$) que os dados de MVA na linha (Anexo A3.2, Figura 27 e 28).

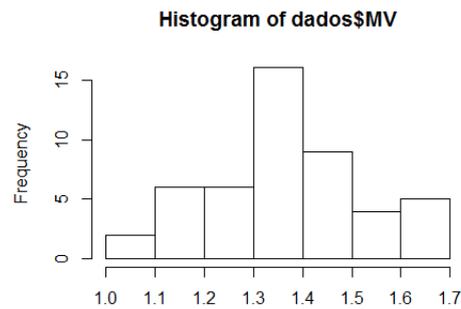


Figura 26: Gráfico de frequências dos dados da MVA em g.cm^{-3}

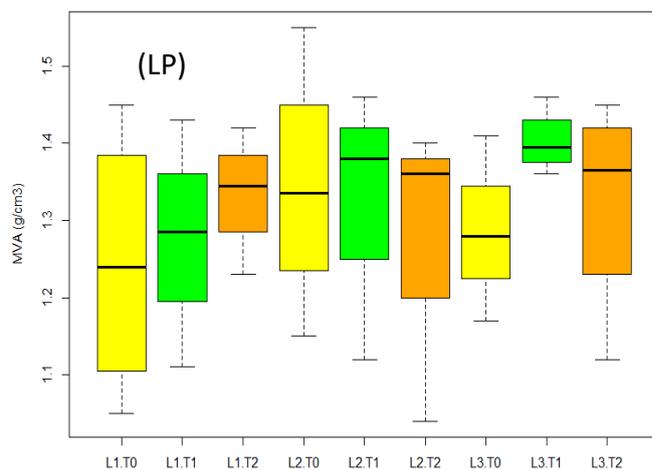


Figura 27 : Diagrama de caixas dos dados da MVA (g.cm^{-3}) sobre todas as parcelas na linha.

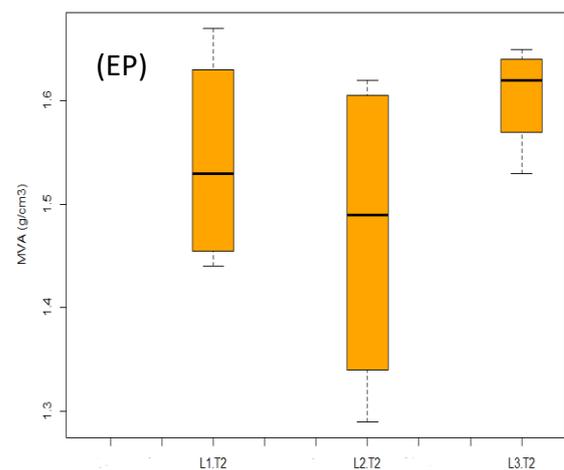


Figura 28: Diagrama de caixas dos dados da MVA (g.cm^{-3}) nas parcelas e na entrelinha.

A seguir, a Tabela 11 apresenta o resumo das análises de variância realizadas com os factores parcelas na linha (LP), parcelas na entrelinha (EP), blocos (B) e linhas (L). Estes resultados indicaram que não existiram diferenças entre as médias. Apenas as diferenças das médias de MVA de L.E é estatisticamente significativa.

Não houve diferenças significativas entre médias das parcelas na linha (LP) e entre parcelas na entrelinha (EP). Entre os blocos (B) e entre as linhas (L) também não houve diferença significativa das médias da MVA. Todavia, a massa volúmica aparente dos talhões entre a linha e entrelinha (L.E) apresentou diferenças significativas ($p < 0,05$). A MVA é usada principalmente como indicador da compactação, ela é influenciada pela estrutura, pelo grau

de compactação e pelas características de expansão e contração do solo (Voorhees, 1986). Os solos na entrelinha são normalmente mais compactados que os solos da linha devido à circulação das máquinas agrícolas, o que se confirma pela diferença significativa (p-valor <0,05) entre as médias da MVA da linha e entrelinha.

Tabela 11: Análise Anova sobre a MVA entre as parcelas na linha (LP), parcelas na entrelinha (EP), blocos (B), linhas (L) e entre linha e entrelinha (L.E)

ANOVA			
	Df	F value	Pr(>F)*
LP	8	0.472	0.865 ns
EP	2	1.338	0.310 ns
B	2	0.151	0.700 ns
L	2	0.952	0.334 ns
L.E	1	20.39	1.710 ⁻⁴

*Pr(>F): p-valor < 0,05 ; ns: não significativo

**N é observado no Anexo A3.2

- **Camada de 0-5 cm, 5-15 cm e 15-30 cm**

As figuras abaixo apresentam a distribuição das frequências de classe (Figura 29) e a variabilidade dos dados de MVA de 0-5 cm, 5-15 cm e 15-30 cm em diagrama de caixas (Figuras 30). Na estatística descritiva, a mediana da MVA de 0-5 cm, 5-15 cm, 15-30 cm na linha apresenta homogeneidade em torno de 1,19 g.cm⁻³ (Anexo A3.2, Figura 29).

Nas camadas mais profundas do solo (15-30 cm), observa-se uma homogeneidade nas medianas da MVA entre os tratamentos. Para a camada de 0-5 cm, a mediana da MVA no T0 é de 1.15 g.cm⁻³, o T1 fica em torno de 1.25 g.cm⁻³ e T2 de 1.0 g.cm⁻³. Para a camada de 5-15 cm, T0 apresenta mediana a 1.09 g.cm⁻³ e T1 de 1.2 g.cm⁻³. Na camada de 15-30 cm os três tratamentos apresentam valores de MVA concentrados entre 1.2 g.cm⁻³ e 1.4 g.cm⁻³ (Figura 30). A MVA aumenta com a profundidade acompanhada do aumento do teor de argila (Tabela 4) e decréscimo do teor de MOS (abordado a seguir com o carbono orgânico SOC) nas camadas mais profundas.

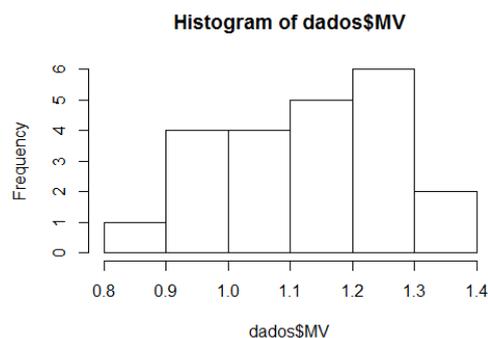


Figura 29: Gráfico de frequências dos dados da MVA (g.cm⁻³) na linha.

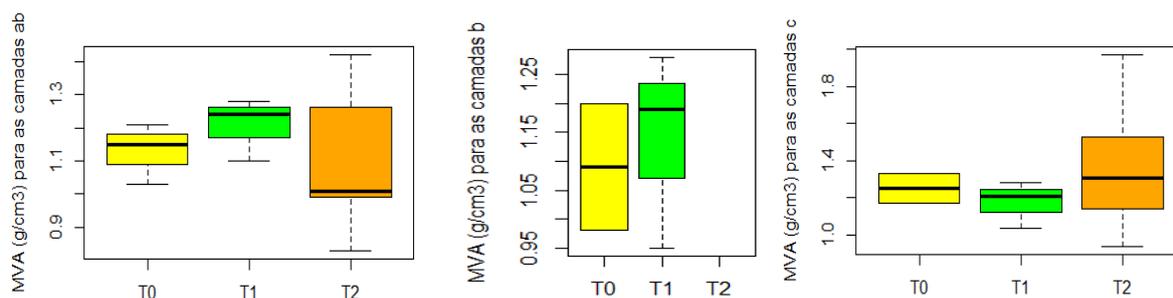


Figura 30: Diagramas de caixa dos dados de MVA (g.cm⁻³) para os tratamentos T0, T1 e T2 na linha nas camadas de 0-5cm, 5-15cm e 15-30cm respectivamente (da esquerda para a direita).

Em seguida, na Tabela 12 observa-se os resultados da análise anova sobre a MVA para as três camadas de solo. A massa volúmica aparente não apresentou diferenças significativas ($p < 0,05$) de médias na linha entre os tratamentos observados para cada camada. Só a camada de 0-5 cm apresentou médias significativamente diferentes.

Tabela 12: Análise Anova sobre a MVA entre tratamentos na linha (T) nas camadas 0-5 cm, 5-15 cm e 15-30 cm.

ANOVA			
	Df	F value	Pr(>F)
T	2	2.086	0.152 ns
T"0-5 cm"	2	6.100	0.0358
T"5-15 cm"	1	0.109	0.763 ns
T"15-30 cm"	2	0.386	0.698 ns

*Pr(>F): p-valor < 0,05; ns: não significativo

**N é observado no Anexo A3.2

Alguns resultados foram recolhidos na entrelinha apenas para verificação e demonstração nas camadas de 0-15 e 15-30 cm. Os valores de MVA são particularmente mais altos que os valores na linha, isto em quaisquer das camadas (Tabela 13). Confirma-se o mesmo efeito de compactação observado anteriormente na primeira camada de 0 a 5 cm.

Tabela 13: Valores de MVA ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) na entrelinha nas camadas 0-15 cm e 15-30cm.

Camada		
Ln.Tn	(cm)	MVA
L1.T2	0-15	1.42
L1.T2	15-30	1.97
L3.T2	0-15	1.26
L3.T2	15-30	1.53

Sabendo que a textura em L1.T2 é franco-argilosa (argila $\sim 300 \text{ g/kg}$) e que em L3.T2 deve ser limosa (argila $\sim 250 \text{ g/kg}$) é possível avaliar o nível de compactação do solo (“pack density”) com base na Figura 31. Verifica-se que para L1.T2 a camada 0-15 cm se encontra no segundo nível mais alto de compactação (‘firm’) e a camada 15-30 cm no nível máximo de compactação (‘very firm’). No caso do talhão L3.T2 os níveis de compactação não são tão preocupantes: ‘loose’ e ‘intermediate’, respectivamente para as camadas 0-15 e 15-30 cm.

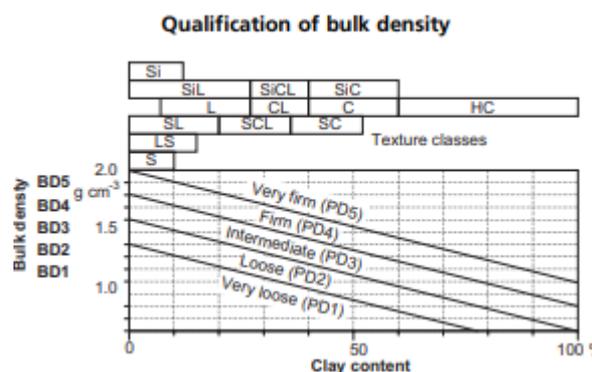


Figura 31: Classificação da MVA (Jahn et al., 2006)

4.1.7. Porosidade total

- **Camada de 0-5 cm**

As figuras abaixo apresentam a distribuição das frequências de classe (Figura 32) e a variabilidade dos dados de porosidade de 0-5 cm em diagrama de caixas (Figuras 33 e 34).

Na estatística descritiva, a mediana da porosidade na primeira camada de solo na linha apresenta alguma variabilidade em torno de $0.49 \text{ m}^{-3}\cdot\text{m}^{-3}$ (Anexo A3.2, Figura 32).

A porosidade total do solo sendo a fracção do volume de poros relativamente ao volume total do solo foi determinada indiretamente através da massa volúmica aparente.

Nesta primeira camada do solo, observa-se nos gráficos abaixo que a variabilidade entre os tratamentos é mínima nos talhões na linha (LP) em torno de $0.47 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ a $0.53 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ (Figura 33). Observa-se também que as medianas de porosidade total são mais baixas na entrelinha do que na linha (Figura 33 e 34), o que corresponde aos valores de MVA altos, por ter mais material sólido e conseqüentemente menos poros. Desta forma, a porosidade total calculada a partir da MVA logicamente encontrou uma tendência oposta aos resultados da MVA.

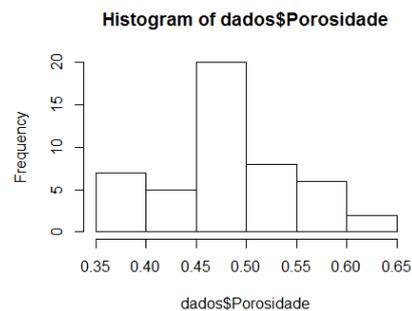


Figura 32: Gráfico de frequências dos dados da porosidade ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$)

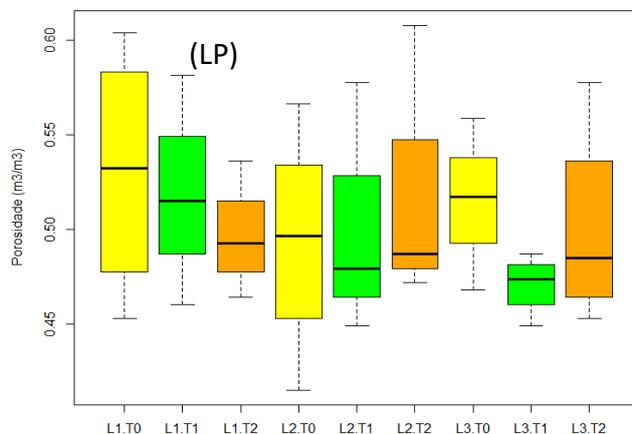


Figura 33: Diagrama de caixas dos dados da porosidade ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$) sobre todas as parcelas na linha.

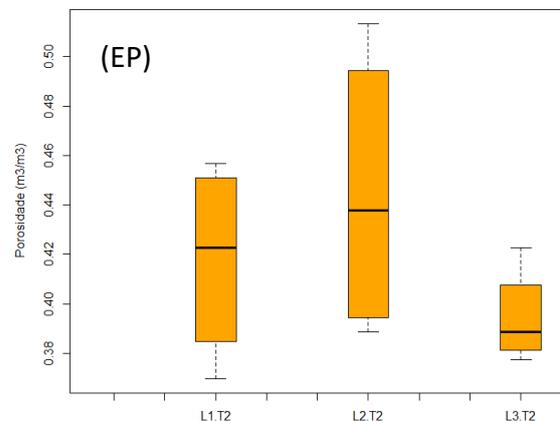


Figura 34: Diagrama de caixas dos dados da porosidade ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$) sobre todas as parcelas na entrelinha.

- **Camada de 0-5 cm, 5-15 cm e 15-30 cm**

As figuras abaixo apresentam a distribuição das frequências de classe (Figura 35) e a variabilidade dos dados de porosidade total de 0-5 cm, 5-15 cm e 15-30 cm em diagrama de caixas (Figuras 36).

Na estatística descritiva, a mediana da porosidade diminui ligeiramente em profundidade na linha (0.585, 0.551 e 0.551 $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ respectivamente) (Anexo A3.2, Figura 35 e 36).

Observa-se uma homogeneidade nas medianas da porosidade total entre os tratamentos, principalmente entre os tratamentos da camada 15 à 30 cm (em torno de 0.50 $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ para os tratamentos T0, T1 e T2). Para as camadas 0-5 cm e 5-15 cm, T0 apresenta medianas por volta de 0.56 $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ e T1 de 0.54 $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ (Figura 36).

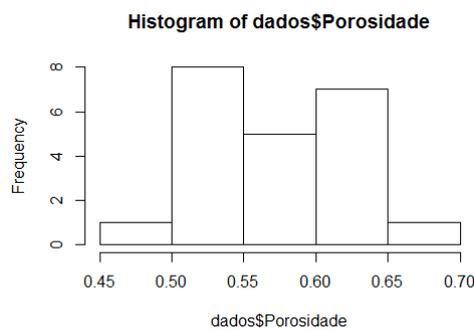


Figura 35: Gráfico de frequências dos dados da Porosidade ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$) na linha.

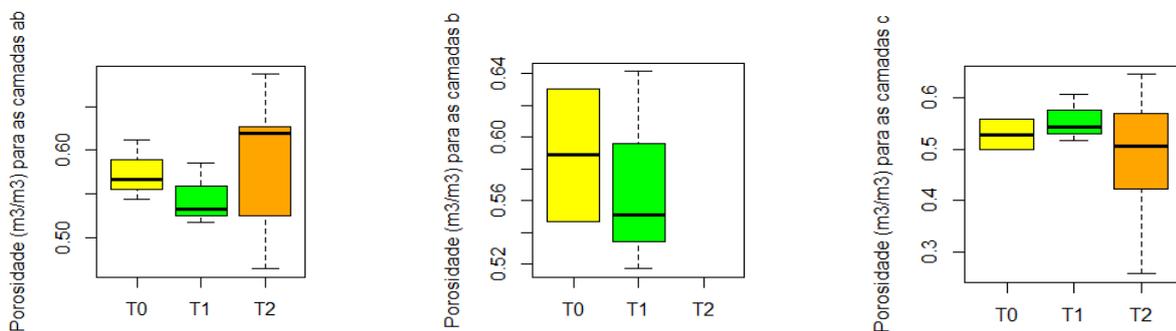


Figura 36: Diagramas de caixas dos dados de Porosidade ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$) para os tratamentos T0, T1 e T2 na linha nas camadas de 0-5 cm, 5-15 cm e 15-30 cm respectivamente (da esquerda para a direita).

Na tabela a seguir observa-se os resultados da análise anova sobre a porosidade total para as três camadas de solo. A porosidade não apresentou diferenças significativas ($p < 0,05$) de médias na linha entre os tratamentos observados para cada camada. Só a camada de 0-5 cm apresentou médias significativamente diferentes entre tratamentos na linha (Tabela 14).

Tabela 14: Análise Anova sobre a Porosidade ($m^3.m^{-3}$) entre tratamentos na linha (T) nas camadas 0-5 cm, 5-15 cm e 15-30 cm.

ANOVA			
	Df	F value	Pr(>F)
T	2	2.086	0.152 ns
T"0-5 cm"	2	6.100	0.0358
T"5-15 cm"	1	0.109	0.763 ns
T"15-30 cm"	2	0.386	0.698 ns

*Pr(>F): p-valor < 0,05; ns: não significativo

**N é observado no Anexo A3.2

Como para a MVA, procedeu-se a observação superficial de alguns dados de porosidade na entrelinha, os valores são relativamente mais baixos que os valores na linha, isto em quaisquer das camadas (Tabela 15).

Tabela 15: Valores de Porosidade ($m^3.m^{-3}$) na entrelinha nas camadas 0-15 cm, e 15-30 cm.

Ln.Tn	Camada cm	Porosidade Total
L1.T2	0-15	0.464
L1.T2	15-30	0.257
L3.T2	0-15	0.524
L3.T2	15-30	0.423

4.1.8. Condutividade hidráulica saturada, k_s

Os dados da condutividade hidráulica saturada são expressos como $\log(k_s)$ dado que, em geral, a k_s do solo apresenta uma distribuição log normal.

Após a análise estatística descritiva dos dados de permeabilidade observa-se na Figura 37, uma distribuição homogênea dos dados da k_s . Entre parcelas na linha (LP) há pequenas variabilidades, mínimo de 2.5 $\log(\text{cm}/\text{dia})$ para parcela L1.T1 e máximo de 4 $\log(\text{cm}/\text{dia})$ para L3.T2 (Figura 38). Na entrelinha (EP) há uma ligeira variabilidade em torno de 0.1 $\log(\text{cm}/\text{dia})$ para L1.T2 a 4 $\log(\text{cm}/\text{dia})$ para L3.T2 (Figura 39).

Observa-se também que os valores de k_s mais altos situam-se na linha. Em geral, a k_s na entrelinha é mais baixa que a k_s na linha. Algumas parcelas na entrelinha apresentaram condutividade hidráulica muito baixa quase nula como a L1.T2 (Figura 39).

Podemos também observar que os dados de porosidade total da maioria das parcelas na Figura 26 apresentam as mesmas tendências que os valores de $\log(k_s)$ das parcelas na Figura

39 para as parcelas L1.T0, L1.T1, L2.T0, L2.T2, L3.T0 e L3.T1. A permeabilidade ou condutividade hidráulica saturada k_s , está diretamente correlacionada com a porosidade do solo, afetada pela geometria dos poros, portanto, dependente da quantidade, distribuição e continuidade destes (Bouma, 1982).

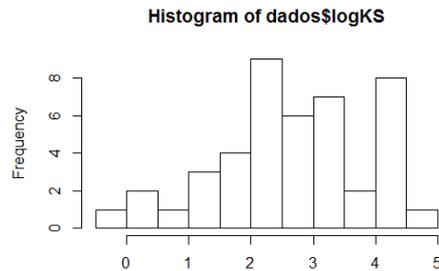


Figura 37: Gráfico de frequências dos dados da k_s (log(cm/dia))

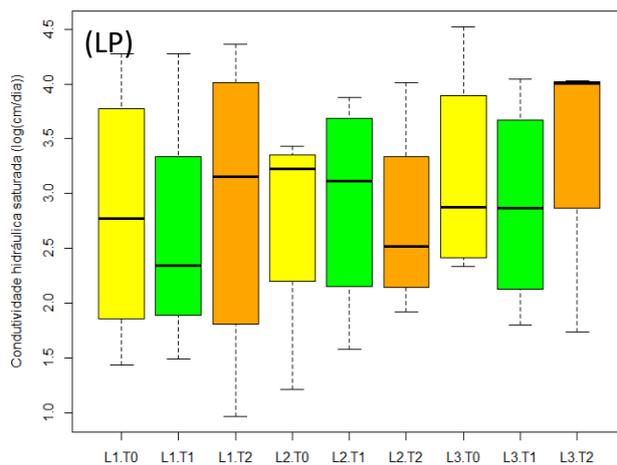


Figura 38: Diagramas de caixa dos dados da k_s (log(cm/dia)) sobre todas as parcelas na linha.

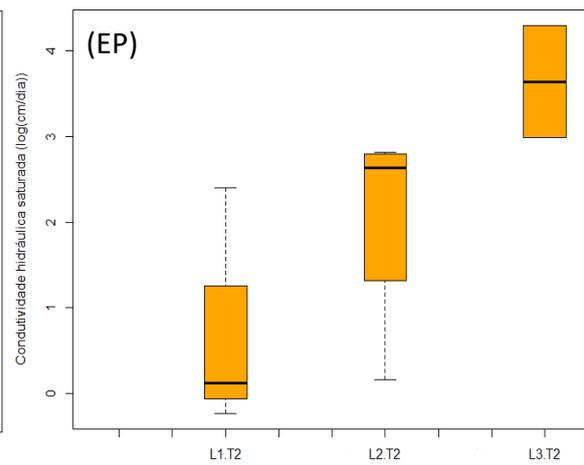


Figura 39: Diagramas de caixa dos dados da k_s (log(cm/dia)) sobre todas as parcelas na entrelinha.

Na Tabela 16, observa-se que não houve diferenças significativas (p -valor $> 0,05$) das médias de k_s entre parcelas na linha (LP), entre parcelas na entrelinha (EP), entre tratamentos (T), entre os blocos (B), entre as linhas (L) e entre a linha e entrelinha (L.E). Mesmo havendo diferenças significativas dos resultados de MVA e porosidade total entre linha e entrelinha, esta diferença não foi estatisticamente representada nos resultados da permeabilidade.

Tabela 16: Análise Anova da ks entre parcelas na linha (LP), parcelas na entrelinha (EP), tratamentos (T), blocos (B), linhas (L) e entre linha e entrelinha (L.E).

ANOVA			
Df	Sum Sq	F value	Pr(>F)*
LP	8	0.112	0.998 ns
EP	2	3.057	0.121 ns
T	2	0.493	0.614 ns
B	2	0.478	0.624 ns
L	2	1.684	0.198 ns
L.E	1	2.544	0.128 ns

*Pr(>F): p-valor < 0,05; ns: não significativo

**N é observado no Anexo A3.3

No entanto ao analisar as médias logarítmicas da ks, percebe-se que os solos na linha (intervalo entre ≈ 2.5 cm/dia e 4 cm/dia), se referem a condutividade moderadamente lenta. Os solos da entrelinha apresentam médias mais baixas (principalmente a parcela L1.T2 com ≈ 0.1 cm/dia), ou seja, uma condutividade hidráulica lenta (Tabela 17).

Tabela 17: Classificação da condutividade hidráulica saturada dos solos (Ditzler et al., 2017)

Classe de permeabilidade	Ks ($\mu\text{m/s}$)	Ks (cm/dia)
Muito rápida	≥ 100	≥ 864
Rápida	10 - 100	86.4 - 864
Moderadamente rápida	1 - 10	8.64 - 86.4
Moderadamente lenta	0.1 - 1	0.864 - 8.64
Lenta	0.01 - 0.1	0.0864 - 0.864
Muito lenta	< 0.01	< 0.0864

4.2. Caracterização química do solo

4.2.1. Carbono orgânico total no solo (SOC)

As figuras abaixo apresentam a distribuição das frequências de classe (Figura 40) e a variabilidade dos dados de SOC de 0-5 cm, 5-15 cm e 15-30 cm em diagrama de caixas (Figura 41).

Na estatística descritiva, a mediana do SOC diminui com a profundidade (15,68 g.kg⁻¹, 12,23 g.kg⁻¹ e 8,8 g.kg⁻¹ respectivamente) (Anexo A3.7, Figura 41).

Entre tratamentos por camada as diferenças de SOC são poucas. O tratamento T2 apresentou menor teor em SOC na primeira camada. Na camada de 0-5 cm a mediana de carbono total varia em torno de 14,5 g.kg⁻¹ a 18 g.kg⁻¹ de solo, na camada de 5-15 cm as medianas variam em torno de 11,7 g.kg⁻¹ a 13 g.kg⁻¹ e na camada de 15-30 cm, os valores estão em volta de 8 g.kg⁻¹ a 9 g.kg⁻¹ (Figura 41). Esta sequência segue a lógica da quantidade de carbono nos solos, maior nas primeiras camadas e menor nas camadas mais profundas devido o facto de ter mais matéria orgânica nas primeiras camadas do solo. A MVA e argila, apresentaram valores maiores na camada mais profunda e são inversamente relacionados a MOS e então ao SOC. A parte estável da MOS, composta por compostos húmicos, adere às partículas de argila, formando o “complexo argila-húmico”. Isso garante a durabilidade estrutural do solo graças à microporosidade e garante sua estabilidade contra agressões externas: chuva, compactação causada pela passagem de máquinas agrícolas (Bruand et al., 1996; Manlay et al., 2007). Nas camadas mais profundas é natural encontrar maior MVA devido ao menor teor de MOS.

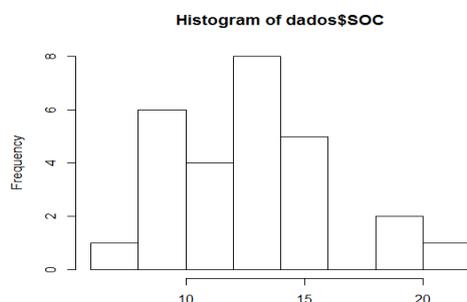


Figura 40: Gráfico de frequências do SOC em g.kg⁻¹

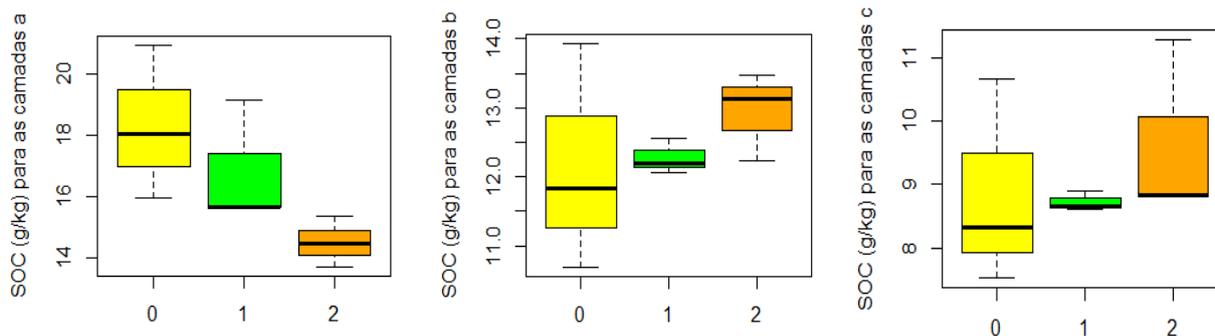


Figura 41: Diagramas de caixa dos dados de SOC (g.kg^{-1}) para os tratamentos T0, T1 e T2 na linha nas camadas de 0-5 cm, 5-15 cm e 15-30 cm respectivamente (da esquerda para a direita).

4.2.2. Carbono orgânico presente na matéria orgânica particulada (POM-C)

As figuras abaixo apresentam a distribuição das frequências de classe (Figura 42) e a variabilidade dos dados de POM-C de 0-5 cm, 5-15 cm e 15-30 cm em diagrama de caixas (Figuras 43).

Na estatística descritiva, a mediana do POM-C diminui com a profundidade ($5,72 \text{ g.kg}^{-1}$, $4,38 \text{ g.kg}^{-1}$ e $2,08 \text{ g.kg}^{-1}$ respectivamente) (Anexo A3.7, Figura 43).

O carbono da matéria orgânica particulada tal como o carbono orgânico do solo também revelou pouca variabilidade entre tratamentos por camada (Figura 43).

Na primeira camada 0-5 cm temos as medianas em volta de 6 g.kg^{-1} , na camada 5-15 cm as medianas variam de 3 g.kg^{-1} a $4,5 \text{ g.kg}^{-1}$ e na camada 15-30 cm, as medianas têm valores por volta de $1,6 \text{ g.kg}^{-1}$ a $2,6 \text{ g.kg}^{-1}$. Para este parâmetro o tratamento T0 apresentou menor teor de POM-C em cada camada. Como para SOC, o tratamento T2 apresentou menor valor na primeira camada (Figura 43). Este parâmetro é essencialmente influenciado pelos resíduos orgânicos na superfície do solo.

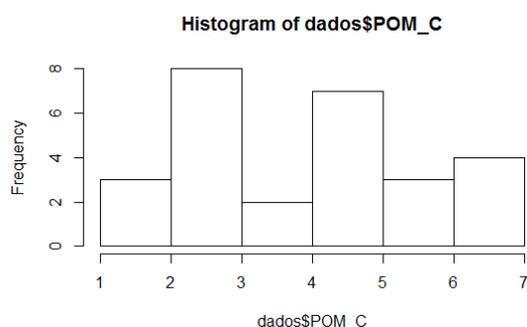


Figura 42: Gráfico de frequências do POM-C em g.kg^{-1}

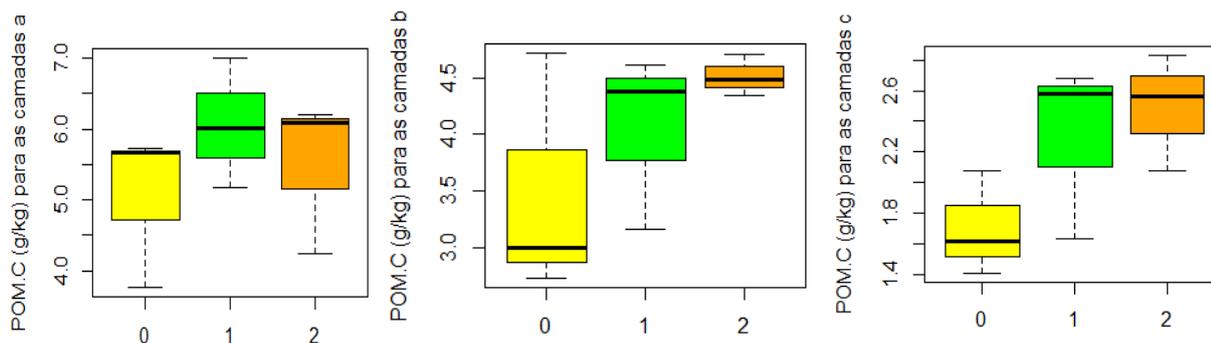


Figura 43: Diagramas de caixa dos dados de POM-C ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) para os tratamentos T0, T1 e T2 na linha nas camadas de 0-5 cm, 5-15 cm e 15-30 cm respectivamente (da esquerda para a direita).

4.2.3. Teor de carbono oxidável (POX-C) em solução de permanganato de potássio

As figuras abaixo apresentam a distribuição das frequências de classe (Figura 44) e a variabilidade dos dados de POM-C de 0-5 cm, 5-15 cm e 15-30 cm em diagrama de caixas (Figura 45).

Na estatística descritiva, a mediana do POX-C também diminui com a profundidade (790 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 740 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ e 560 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ respectivamente) (Anexo A3.7, Figura 45).

Após análise descritiva sobre o carbono oxidável em solução de permanganato de potássio, verificou-se uma homogeneidade dos resultados entre tratamentos por camada. A maior frequência de POX-C se encontra em volta de 750 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ e 800 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Figura 45).

Na primeira camada 0-5 cm, as medianas variam entre 780 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ a 840 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, na camada 5-15 cm temos as medianas em torno 750 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ e na camada 15-30 cm, as medianas têm valores por volta de 580 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ a 620 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Como para o SOC e POM-C, a tendência é haver diminuição dos teores de POX-C nas camadas mais profundas (Figura 45).

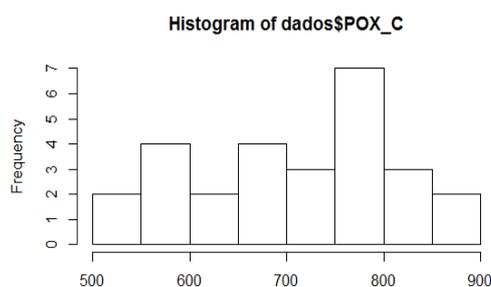


Figura 44: Gráfico de frequências do POX-C em $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$

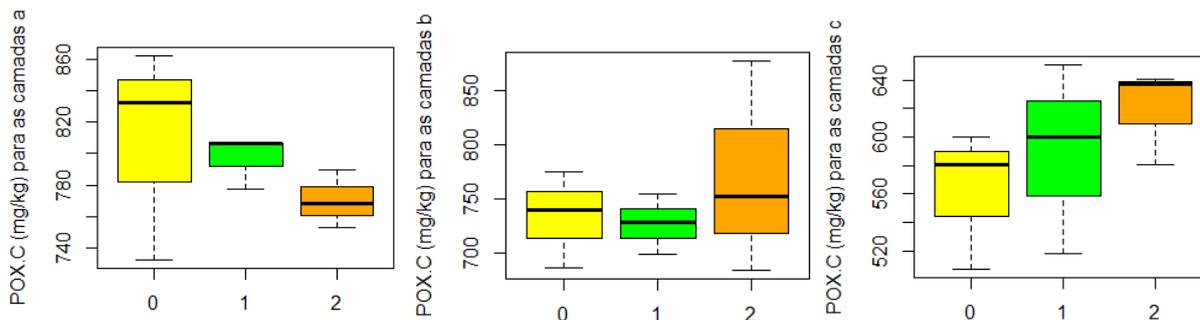


Figura 45: Diagramas de caixa dos dados de POX-C ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) para os tratamentos T0, T1 e T2 na linha nas camadas de 0-5 cm, 5-15 cm e 15-30 cm respectivamente (da esquerda para a direita).

4.2.4. Determinação do pH

- pH em água

As figuras abaixo apresentam a distribuição das frequências de classe (Figura 46) e a variabilidade dos dados do pH em água de 0-5 cm, 5-15 cm e 15-30 cm em diagrama de caixas (Figuras 47).

Na estatística descritiva, as três camadas apresentam uma mediana de pH em água que tende a ser homogêneo (7,2, 7,4 e 7,7 respectivamente) (Anexo A3.7, Figura 47). Na Figura 46, a maior frequência de pH em água se encontra entre 7,6 a 7,8. Verificou-se também uma homogeneidade dos resultados do pH em água entre tratamentos por camada. Na primeira camada 0-5 cm, as medianas do pH variam entre 7,2 a 7,6, a camada 5-15 cm apresentou medianas em torno de 7,4 a 7,6 e na camada 15-30 cm, as medianas têm valores por volta de 7,8. A tendência observada é ter pH mais básico conforme a profundidade aumenta (Figura 47). O menor pH do solo nas primeiras camadas pode ser devido à rega gota a gota e/ou dos fertilizantes amoniacais.

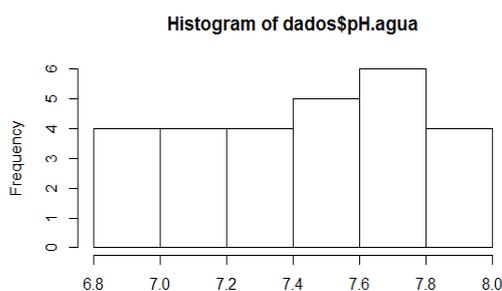


Figura 46: Gráfico de frequências do pH

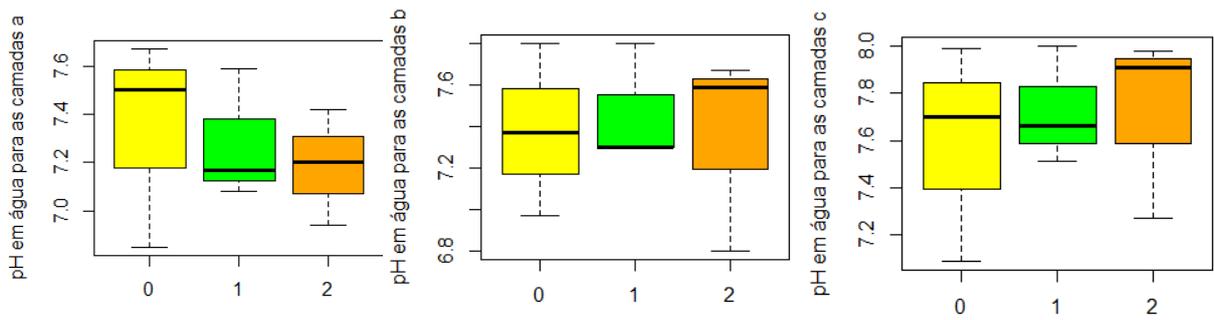


Figura 47: Diagramas de caixa das medições de pH em água para os tratamentos T0, T1 e T2 na linha nas camadas de 0-5 cm, 5-15 cm e 15-30 cm respectivamente (da esquerda para a direita).

- **pH em KCl**

Do mesmo modo que o pH em água, a análise descritiva do pH em KCl, mostrou uma homogeneidade dos resultados entre tratamentos por camada, 7,07, 6,79 e 6,91 (Anexo A3.7 e Figura 48).

Na primeira camada 0-5 cm, as medianas do pH variam entre 6,6 à 7,2, a camada 5-15 cm as medianas apresentaram valores por volta de 6,8 à 7 e a camada 15-30 cm, apresentou medianas em torno de 7 a 7,3. A tendência observada é ter pH mais básico conforme a profundidade aumenta (Figura 49). A diferença de valores de pH em água e pH em KCl não são grandes.

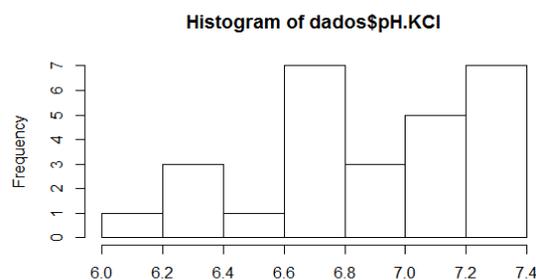


Figura 48: Gráfico de frequências do pH em KCl

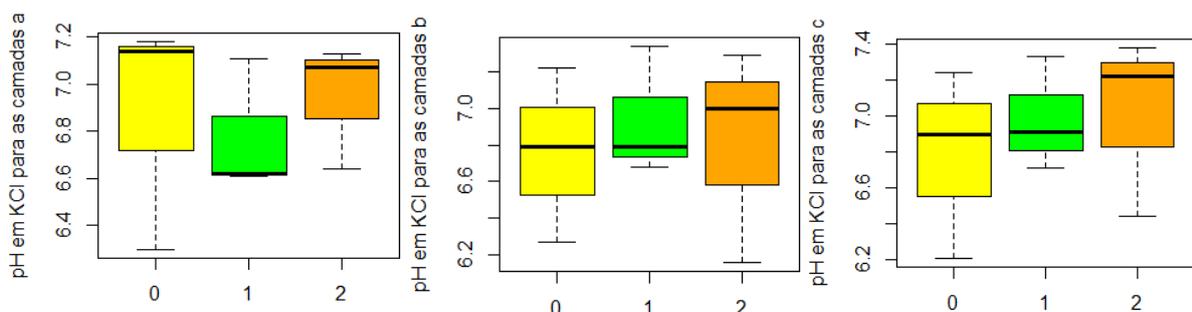


Figura 49: Diagramas de caixa das medições de pH em KCl para os tratamentos T0, T1 e T2 na linha nas camadas de 0-5cm, 5cm-15cm e 15cm-30cm respectivamente (da esquerda para a direita).

4.2.5. Determinação do fósforo (P_2O_5) e do potássio (K_2O) extraíveis

- **Fósforo**

As figuras abaixo apresentam a distribuição das frequências de classe (Figura 50) e a variabilidade dos dados de fósforo de 0-5cm, 5-15 cm e 15-30 cm em diagrama de caixas (Figuras 51).

Na estatística descritiva, a mediana do fósforo também diminui com a profundidade (156,3 $mg.kg^{-1}$, 101,6 $mg.kg^{-1}$ e 42,87 $mg.kg^{-1}$ respectivamente) (Anexo A3.7, Figura 51). Na Figura 50, a maior frequência de P_2O_5 se encontra entre 130 $mg.kg^{-1}$ e 210 $mg.kg^{-1}$.

Após análise descritiva do nutriente fósforo (expresso em P_2O_5 , pentóxido de fósforo), verificou-se uma homogeneidade dos resultados entre tratamentos por camada (Figura 51).

A primeira camada 0-5 cm, apresenta medianas dos teores de P_2O_5 que variam entre 120 $mg.kg^{-1}$ e 160 $mg.kg^{-1}$, na camada 5-15 cm, as medianas indicam valores por volta de 100 $mg.kg^{-1}$ e a camada 15-30 cm, apresentou medianas em torno de 35 $mg.kg^{-1}$ a 45 $mg.kg^{-1}$.

Em todas as camadas o tratamento T2 teve tendência a teores de P_2O_5 mais baixos que os tratamentos T0 e T1. Nesta análise se observam teores de P_2O_5 mais baixos conforme a profundidade aumenta (Figura 51).

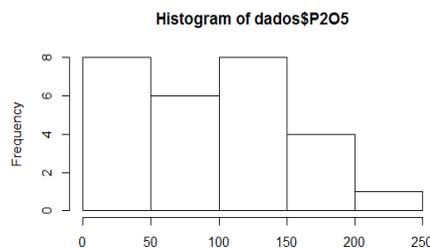


Figura 50: Gráfico de frequências do P_2O_5 ($mg.kg^{-1}$)

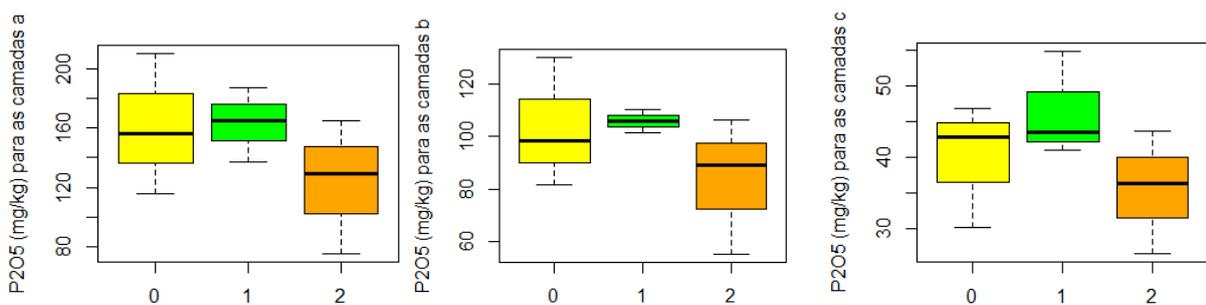


Figura 51: Diagramas de caixa das medições de P_2O_5 ($mg.kg^{-1}$) para os tratamentos T0, T1 e T2 na linha nas camadas de 0-5 cm, 5-15 cm e 15-30 cm respectivamente (da esquerda para a direita).

- **Potássio**

As figuras abaixo apresentam a distribuição das frequências de classe (Figura 52) e a variabilidade dos dados de potássio de 0-5 cm, 5-15 cm e 15-30 cm em diagrama de caixas (Figuras 53).

Na estatística descritiva, a mediana do potássio também diminui com a profundidade (340 mg.kg⁻¹, 300 mg.kg⁻¹ e 204 mg.kg⁻¹ respectivamente) (Anexo A3.7, Figura 53). Na Figura 52, a maior frequência de K₂O se encontra entre 250 mg.kg⁻¹ e 350 mg.kg⁻¹.

Após análise descritiva do nutriente potássio K₂O (óxido de potássio), verificou-se uma homogeneidade dos resultados entre tratamentos por camada (Figura 53).

Na primeira camada 0-5 cm, as medianas do pH variam entre 350 mg.kg⁻¹ a 450 mg.kg⁻¹, a camada 5-15 cm, as medianas apresentaram valores por volta de 300 mg.kg⁻¹ e a camada 15-30 cm, apresentou medianas em torno de 200 mg.kg⁻¹ a 240 mg.kg⁻¹. Como para o fósforo em todas as camadas o tratamento T2 teve teores de K₂O mais baixos que os tratamentos T0 e T1. Para este parâmetro a tendência observada também é ter teores de K₂O mais baixos conforme a profundidade aumenta (Figura 53).

Ao analisar todas as variáveis dos nutrientes fósforo e potássio do solo, observamos maioritariamente valores inferiores no tratamento T2. Inversamente, o tratamento T2 apresentou valores maiores de massa volúmica aparente. Esta observação pode ser atribuída a menor presença de matéria orgânica, ao aumento nos teores de argila com o aumento da profundidade (Vogelmann et al., 2012).

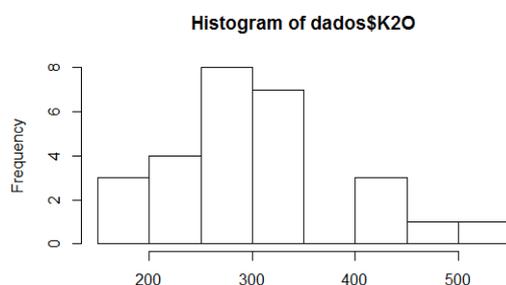


Figura 52: Gráfico de frequências do K₂O (mg.kg⁻¹)

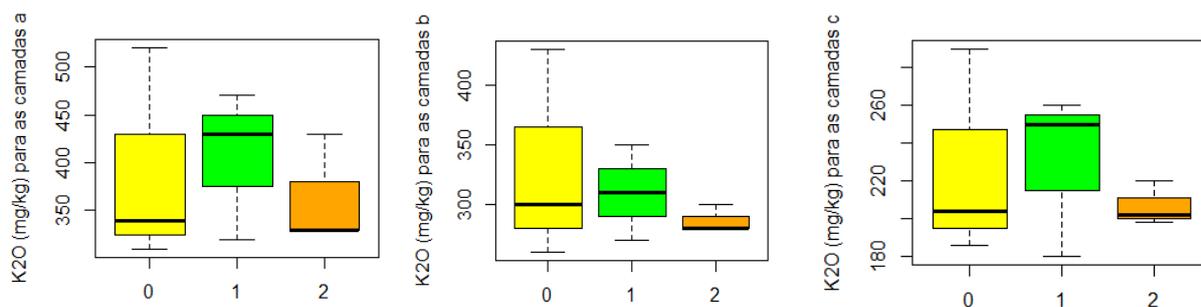


Figura 53: Diagramas de caixa das medições de K₂O (mg.kg⁻¹) para os tratamentos T0, T1 e T2 na linha nas camadas de 0-5cm, 5cm-15cm e 15cm-30cm respectivamente (da esquerda para a direita).

Para confirmar a homogeneidade dos parâmetros descritos acima, pode-se observar pela análise da Tabela 18, que para todas as variáveis indicadas não se encontraram diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos T0, T1 e T2 em quaisquer das profundidades, até mesmo na média ponderada dos tratamentos (anova, p-valor > 0,05, não significativo), o que corresponde às melhores condições para a realização dos ensaios de aplicação de materiais compostados.

Tabela 18: Análise Anova sobre SOC, POM-C, POX-C, pH-H₂O, pH-KCl, P₂O₅ e K₂O entre tratamentos com média ponderada, entre tratamentos (T total), tratamentos na camada de 0-5cm (Ta), tratamentos na camada de 5-15cm (Tb) e tratamentos na camada de 15-30cm (Tc).

		ANOVA				
		T média ponderada ns	*T total ns	T (0-5cm) ns	T (5-15cm) ns	T (15-30 cm) ns
SOC g.kg⁻¹	Pr(>F)	0.891	0.908	0.125	0.621	0.641
	F value	0.118	0.097	3.004	0.516	0.478
POM-C g.kg⁻¹	Pr(>F)	0.178	0.546	0.535	0.334	0.159
	F value	2.330	0.620	0.695	1.325	2.531
POX-C mg.kg⁻¹	Pr(>F)	0.593	0.920	0.549	0.680	0.449
	F value	0.570	0.084	0.663	0.411	0.916
pH-H₂O	Pr(>F)	NA	0.918	0.849	0.938	0.893
	F value	NA	0.086	0.168	0.065	0.116
pH-KCl	Pr(>F)	NA	0.789	0.858	0.902	0.806
	F value	NA	0.240	0.157	0.105	0.224
P₂O₅ mg.kg⁻¹	Pr(>F)	0.368	0.582	0.452	0.408	0.335
	F value	1.187	0.553	0.907	1.043	1.320
K₂O mg.kg⁻¹	Pr(>F)	0.760	0.725	0.829	0.663	0.765
	F value	0.287	0.326	0.193	0.439	0.279

*Nível de significância a 5% (p-valor (Pr(>F) < 0,05); ns: não significativo. N em Anexo A3.7

** Média ponderada pela espessura de cada uma das 3 camadas estudadas (0-5, 5-15 e 15-30 cm)

*** Média não ponderada das 3 camadas de 0 a 30 cm

4.3. Correlação e regressão entre as variáveis estudadas

A figura 54 apresenta a correlação entre diferentes variáveis do solo que são, pH em água, pH em KCl, POX.C, POM.C, SOC, fósforo e potássio, massa volúmica aparente e porosidade total.

Observam-se boas correlações entre as variáveis referentes à matéria orgânica: SOC, POM-C e POX-C. A MVA está inversamente correlacionada com a porosidade total, o que confirma que esta foi deduzida a partir da MVA. O fósforo se correlaciona pouco com o pH em água e, além disso, negativamente, apesar de o método usado extraír mais fósforo quando há carbonatos (e o pH é maior), significa que, neste caso, esse efeito deve ser pouco significativo.

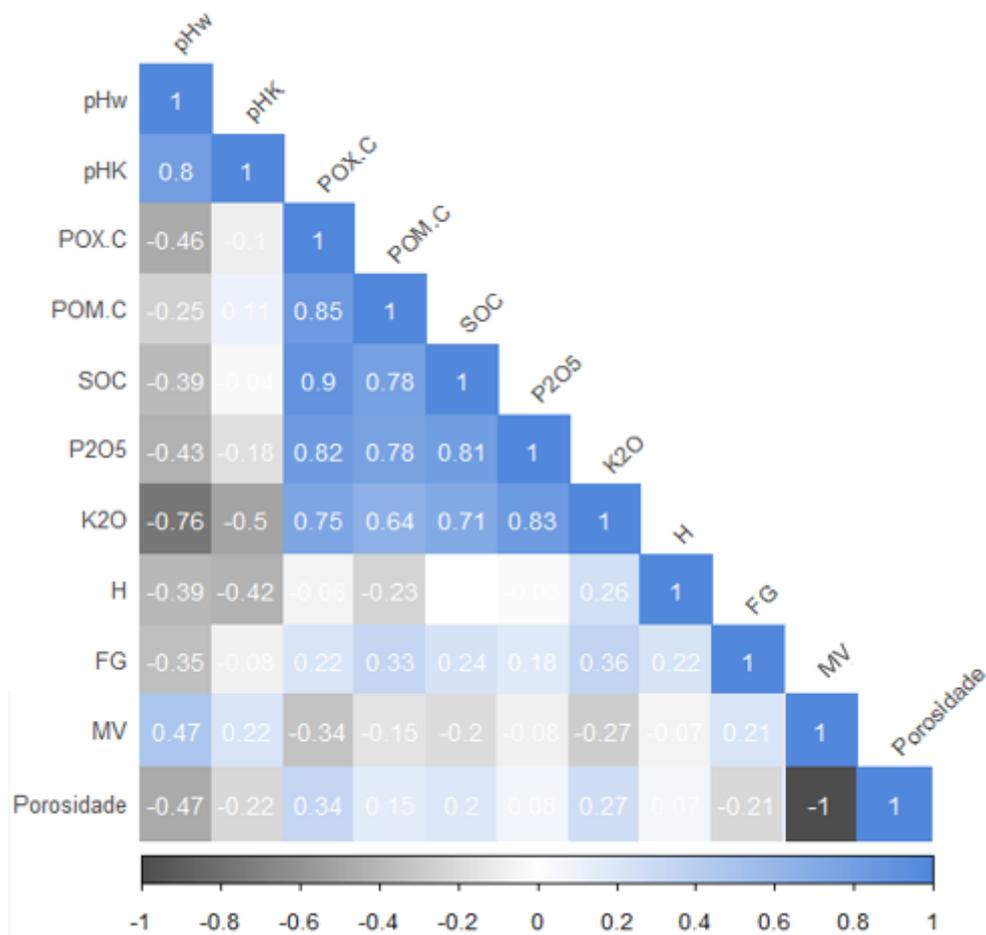


Figura 54: Gráfico de correlação das variáveis da qualidade química do solo.

4.4. Espectroscopia de infravermelho próximo (NIR) na determinação de atributos químicos orgânicos e inorgânicos do solo

O solo é uma matriz mineral e orgânica complexa e, portanto, é difícil interpretar as bandas de absorção observadas em espectroscopia de infravermelho próximo (Ben-Dor & Banin, 1995). Por essas razões, as equações de calibração em azul (Tabela 19, Figura 55) são baseadas principalmente em uma abordagem multivariada considerando todo o espectro, ao invés de uma busca por comprimentos de onda característicos para o elemento considerado. Os dados de calibração correspondem ao ajustamento da recta Y-observado (ou de referência) vs. Y-previsto pelo modelo com todas as 39 amostras de solo usadas (com as determinações laboratoriais). Também se teve um cuidado especial nas análises de referência que são realizadas sobre as amostras desta base de dados de calibração. A separação dos grupos para calibração e validação dos modelos foi realizada pelo algoritmo de kernel. Os dados de validação em vermelho (Tabela 19, Figura 55) consistem na remoção sucessiva de uma amostra ou lote de amostras para obter um novo lote independente de dados aos quais o modelo pode ser aplicado. Se referem ao ajustamento da recta Y-observado (ou de referência) vs. Y-previsto pelo modelo quando prevê o valor de uma amostra cujo valor observado não foi incluído na calibração. Usaram-se as propriedades do espectro infravermelho para agrupar amostras de solo e comparar esses agrupamentos aos principais tipos de solo encontrados na região como procedeu (Leone & Sommer, 2000).

Os indicadores de performance dos modelos como o RMSE e o R^2 , revelam ser excelentes na regressão múltipla linear tanto nos vetores de validação quanto nos vetores de calibração para as variáveis SOC ($R^2=0.97$ e $RMSE=3.58$, $R^2=0.90$ e $RMSE=7.17$) e POX-C ($R^2=0.92$ e $RMSE=42.34$, $R^2=0.79$ e $RMSE=70.45$). De maneira geral e empírica, os modelos de previsões tanto para as amostras de validação quanto para as amostras de calibração são iguais. Entretanto, as variáveis de carbono da matéria orgânica particulada, fósforo e potássio, tendem a ter piores resultados ($R^2 < 0.9$) e diferenças mais importantes entre os vetores de calibração e validação. Esses resultados são médios e demonstram que o modelo na previsão dessas análises pode ser insuficiente (Tabela 19).

Tabela 19: Método para calibração multivariada em análise dos mínimos quadrados parciais (PLS – Partial Least Square) sobre SOC, POM-C, POX-C, pH-H2O, pH-KCl, P2O5 e K2O (Anexo 4).

VARIABLES	MODEL	N	SLOPE	OFFSET	RMSE	R-SQUARE
SOC	Calibration	37	0.9668193	0.7081612	3.5848222	0.9668182
	Validation	39	0.8869199	3.1447191	7.1714487	0.9052666
POM-C	Calibration	37	0.7957916	1.2507321	3.0730131	0.7957917
	Validation	39	0.7002359	1.7893845	4.1107168	0.6893437
POX-C	Calibration	37	0.9282622	50.844269	42.348618	0.9282632
	Validation	39	0.8213418	132.52261	70.448517	0.7919917
P ₂ O ₅	Calibration	37	0.8048335	15.567413	24.19087	0.8048335
	Validation	39	0.8010476	14.632506	31.827389	0.6918921
K ₂ O	Calibration	37	0.7158026	78.037254	49.306122	0.7158025
	Validation	39	0.641673	96.727516	64.174835	0.6047969

*Slope (declive); Offset (interseção no eixo dos Y); RMSE (raíz quadrada do erro quadrático médio)

O modelo de calibração e validação apresentam resultados eficazes para os valores de SOC, os pontos têm tendência a seguir uma linha recta $y=x$, com $r^2 = 0,96$ e $r^2 = 0,90$ (Figura 55-56, Tabela 19).

Através da técnica PLS utilizada para calibração multivariada foi possível ajustar modelos com valores próximos às metodologias de referências principalmente no caso de SOC. Para este estudo podemos observar que o método NIR pode ser utilizado com grande sucesso para obtenção dos teores de carbono do solo (Fystro, 2002; Mutuo et al., 2006; Rossel & Behrens, 2010).

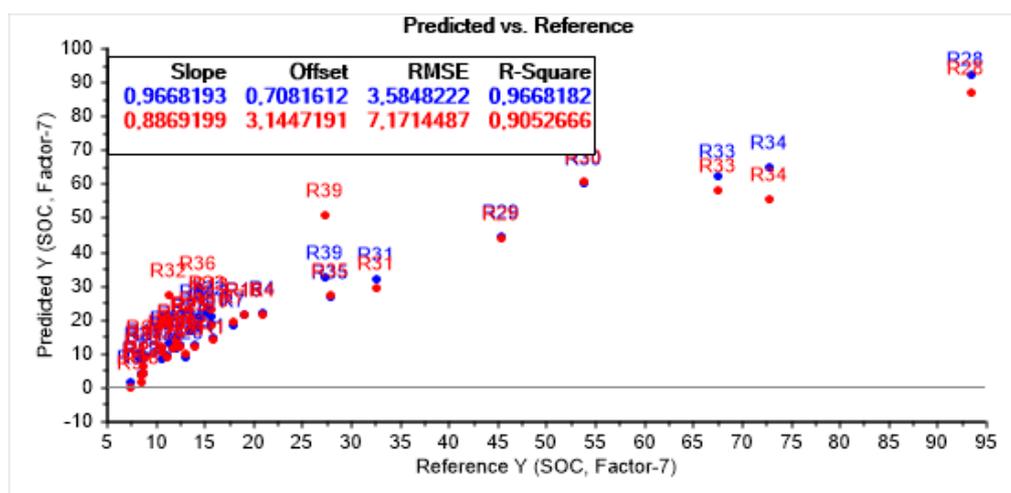


Figura 55: Valores de referência, para as amostras de SOC pelo método convencional versus o valor previsto pelo modelo de calibração.

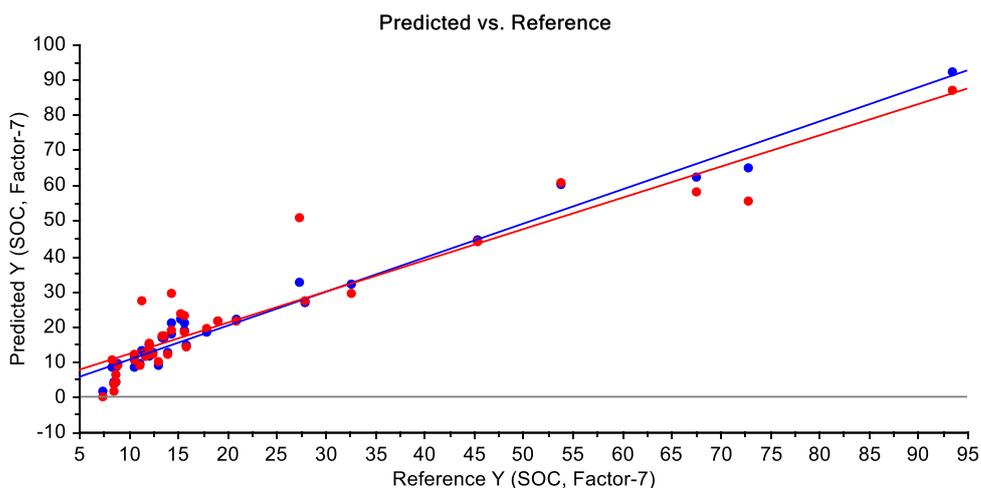


Figura 56: : Regressão linear dos valores de referência, para as amostras de SOC pelo método convencional versus o valor previsto pelo modelo de calibração PLS.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Na elaboração deste trabalho procurou-se avaliar as características físicas e químicas dos solos na cultura do olival superintensivo.

Nas propriedades estruturais do solo, sendo estas de textura e fracção grosseira foram observadas tendências nos resultados. Houve menor quantidade de fracção grosseira, menor teor de areia grossa, e maior quantidade de argila, levando a um solo franco-argiloso, no bloco mais acima junto a estrada especialmente na parcela que leva o tratamento de 5kg/há (na região do talhão L1T2). Desta forma, também existe possivelmente uma influência associada ao relevo nesses parâmetros do solo.

Os indicadores da qualidade física do solo, nomeadamente, a MVA, a porosidade total, a condutividade hidráulica saturada, a distribuição e agregação do solo, revelaram ser homogêneos entre as parcelas da linha, sem apresentar reais diferenças entre os tratamentos. Nas primeiras camadas de solo, o tratamento 2 apresentou valores mais altos para MVA, DMG e menores para porosidade e estabilidade dos agregados. Por outro lado, os resultados apresentaram sempre diferenças significativas entre a linha e a entrelinha devido ao estado do solo mais compactado da entrelinha.

No que diz respeito aos indicadores de qualidade química do solo, a distribuição do carbono orgânico no solo é relativamente homogênea com pequenas variações, tanto em profundidade (ao longo do perfil do solo), quanto horizontalmente para SOC, POM-C e POX-C. A maior concentração se situa nos primeiros centímetros de solo e com decréscimo na profundidade. Esta distribuição do carbono no solo depende de vários factores, como exemplos, o relevo, o tipo do solo, a cobertura do solo, as condições climáticas, a vegetação natural predominante na área, as práticas de uso e manejo do solo, entre outros (Madari et al., 2009). O mesmo acontece para os dados de fósforo e potássio. O tratamento T2 apresenta valores menores para todos esses parâmetros.

Quanto a manta morta, 5 meses após a aplicação do composto, as quantidades de manta morta aumentaram de forma considerável, devido ao composto ainda presente na superfície do solo. Este parâmetro terá essencialmente impacto directo nas quantidades de carbono da matéria orgânica particulada na superfície do solo.

As análises da CTC, azoto e matéria orgânica, seriam interessantes a serem avaliadas para relevar alguns pontos importantes quanto a influência da matéria orgânica e consequentemente do composto, na qualidade química do solo.

A utilização do NIR na determinação de SOC e POX-C apresentou os melhores resultados, quanto aos resultados do POM-C, do fósforo e do potássio, a técnica PLS-NIR não apresentou grande vantagem comparado aos métodos convencionais. Seria interessante aplicar ajustes na calibração e aplicar outros métodos estatísticos na determinação do fósforo e potássio.

A metodologia do NIR aparenta ser uma alternativa para as análises químicas do solo, principalmente para os dados de carbono. É um método mais operacional, de baixo custo e limpo em comparação as metodologias convencionais de referência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abid, M., & Lal, R. (2009). Tillage and drainage impact on soil quality: II. Tensile strength of aggregates, moisture retention and water infiltration. *Soil and Tillage Research*, 103(2), 364–372.
- Altieri, M., & Nicholls, C. (2001). *Ecological Impacts of Modern Agriculture in the United States and Latin America*.
- Arnold, P. W. (1978). *Surface-electrolyte interactions*. Wiley, Chichester and New York.
- Bakkali, A. E., Essalouh, L., Tollon, C., Rivallan, R., Mournet, P., Moukhli, A., Zaher, H., Mekkaoui, A., Hadidou, A., Sikaoui, L., & Khadari, B. (2019). Characterization of Worldwide Olive Germplasm Banks of Marrakech (Morocco) and Córdoba (Spain): Towards management and use of olive germplasm in breeding programs. *PLOS ONE*, 14(10), e0223716.
- Bastida, F., Kandeler, E., Moreno, J. L., Ros, M., García, C., & Hernández, T. (2008). Application of fresh and composted organic wastes modifies structure, size and activity of soil microbial community under semiarid climate. *Applied Soil Ecology*, 40(2), 318–329.
- Baver, L., Gardner, W., & Gardner, W. (1972). *Soil structure: Evaluation and agricultural significance*. 4, 178–223.
- Ben-Dor, E., & Banin, A. (1995). Near-infrared analysis as a rapid method to simultaneously evaluate several soil properties. *Soil Science Society of America Journal*, 59(2), 364–372.
- Bongiorno, G., Bünemann, E., Oguejiofor, C., Meier, J., Gort, G., Comans, R., Mäder, P., Brussaard, L., & R. G. M., G. (2019). Sensitivity of labile carbon fractions to tillage and

- organic matter management and their potential as comprehensive soil quality indicators across pedoclimatic conditions in Europe. *Ecological Indicators*, 99, 35–50.
- Botelho da Costa, J. (1975). *Caracterização e constituição do solo* (Fundação Calouste Gulbenkian).
- Bouma, J. (1982). Measuring the hydraulic conductivity of soil horizons with continuous macropores. *Soil Science Society of America Journal*, 46(2), 438–441.
- Bouma, J. (2002). Land quality indicators of sustainable land management across scales. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 88(2), 129–136.
- Brady, N. C., & Weil, R. (2017). *The Nature and Properties of Soils*. Pearson.
- Braida, J. A., Reichert, J. M., Reinert, D. J., & Veiga, M. da. (2010). Organic carbon content and susceptibility to compaction of Hapludalf and Hapludox soils. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 14(2), 131–139.
- Bruand, A., Duval, O., Gaillard, H., Darthout, R., & Jamagne, M. (1996). Variabilité des propriétés de rétention en eau des sols: Importance de la densité apparente. *Etude et Gestion des sols*, 31(1), 1–27.
- Cambardella, C. A., & Elliott, E. T. (1992). Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil science society of America journal*, 56(3), 777–783.
- Campos, B. de, Reinert, D. J., Nicolodi, R., Ruedell, J., & Petere, C. (1995). Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. *Bras. Ci. Solo*, 19, 121–126.
- Cardoso, J. C. (1965). *Os solos de Portugal. Sua classificação, caracterização e génese 1—A sul do rio Tejo*. Direcção-Geral dos Serviços Agrícolas.
- Carter, M. R. (2002). Soil quality for sustainable land management: Organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. *Agronomy journal*, 94(1), 38–47.

- Ciais, P., Sabine, C., Bala, G., Bopp, L., Brovkin, V., Canadell, J., Chhabra, A., DeFries, R., Galloway, J., & Heimann, M. (2014). Carbon and other biogeochemical cycles. In *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 465–570). Cambridge University Press.
- Culman, S. W., Snapp, S. S., Freeman, M. A., Schipanski, M. E., Beniston, J., Lal, R., Drinkwater, L. E., Franzluebbers, A. J., Glover, J. D., & Grandy, A. S. (2012). Permanganate oxidizable carbon reflects a processed soil fraction that is sensitive to management. *Soil Science Society of America Journal*, 76(2), 494–504.
- Darcy, H. (1856). *Les fontaines publiques de la ville de Dijon: Exposition et application ...* Victor Dalmont.
- DeBano, L. F. (2000). The role of fire and soil heating on water repellency in wildland environments: A review. *Journal of Hydrology*, 231, 195–206.
- Diacono, M., & Montemurro, F. (2011). Long-term effects of organic amendments on soil fertility. *Sustainable agriculture volume 2*, 761–786.
- Ditzler, C., Scheffe, K., & Monger, H. C. (2017). *Soil Survey Manual: Soil Science Division Staff* (Vol. 18). USDA Handbook.
- Doll, E. C. (1964). Lime for Michigan soils. *Michigan Agric. Exp. Sta. Ext. Bull.*, 471.
- Doran, Coleman, D. C., Bezdicsek, D. F., & Stewart, B. A. (1994). Defining soil quality for a sustainable environment. *Soil Science Society of America*.
- Doran, J. W., & Jones, A. J. (Eds.). (1996). *Methods for assessing soil quality*. Soil Science Society of America.
- Doran, J. W., & Parkin, T. B. (1994). Defining and assessing soil quality. *Defining soil quality for a sustainable environment*, 35, 1–21.

- Drinkwater, L. E., Wagoner, P., & Sarrantonio, M. (1998). Legume-based cropping systems have reduced carbon and nitrogen losses. *Nature*, *396*(6708), 262–265.
- Dufranc, G., Dechen, S. C. F., Freitas, S. S., & Camargo, O. A. (2004). Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados de dois latossolos em plantio direto no Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, *28*(3), 505–517.
- Egnér, H., Riehm, H., & Domingo, W. R. (1960). Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Böden. II. *Chemische Extraktionsmethoden zur Phosphor-und Kaliumbestimmung. Kungliga Lantbrukshögskolans Annaler*, *26*, 199–215.
- Ehlers, W., Köpke, U., Hesse, F., & Böhm, W. (1983). Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loess soil. *Soil and Tillage Research*, *3*(3), 261–275.
- Favoino, E., & Hogg, D. (2008). The potential role of compost in reducing greenhouse gases. *Waste Management & Research*, *26*(1), 61–69.
- Fystro, G. (2002). The prediction of C and N content and their potential mineralisation in heterogeneous soil samples using Vis–NIR spectroscopy and comparative methods. *Plant and soil*, *246*(2), 139–149.
- Ghaemi, M., Astarai, A. R., Emami, H., Nassiri Mahalati, M., & Sanaeinejad, S. H. (2014). Determining soil indicators for soil sustainability assessment using principal component analysis of Astan Quds-east of Mashhad-Iran. *Journal of soil science and plant nutrition*, *14*(4), 1005–1020.
- Giovannini, G., Lucchesi, S., & Giachetti, M. (1988). Effect of heating on some physical and chemical parameters related to soil aggregation and erodibility. *Soil Science*, *146*(4), 255–261.

- Gregorich, E. G., Carter, M. R., Angers, D. A., Monreal, Cm., & Ellert, B. (1994). Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Canadian journal of soil science*, 74(4), 367–385.
- Guerif, J. (1990). Factors influencing compaction-induced increases in soil strength. *Soil and Tillage Research*, 16(1–2), 167–178.
- Harwood, R. (1990). *A History of Sustainable Agriculture* (pp. 3–19).
- Hassen, A., Belguith, K., Jedidi, N., Cherif, A., Cherif, M., & Boudabous, A. (2002). Microbial characterization during composting of municipal solid waste. *Bioresource technology*, 80, 217–225.
- Haug, R. T. (1980). *Compost engineering: Principles and practice*. Ann Arbor Science Publishers.
- Havlin, J., Tisdale, S. L., Nelson, W. L., & Beaton, J. D. (2014). *Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management*. Pearson.
- Haynes, R. (2005). Labile Organic Matter Fractions as Central Components of the Quality of Agricultural Soils: An Overview. *Advances in Agronomy*, 85, 221–268.
- Hillel, D. (1998). *Environmental soil physics: Fundamentals, applications, and environmental considerations*. Elsevier.
- ICNF. (2013). *Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios* (p. 50).
- Imeson, A., & Vis, M. (1984). Assessing soil aggregate stability by waterdrop impact and ultrasonic dispersion. *Geoderma*, 34, 185–200.
- IPMA. (sem data). *Instituto Português do Mar e da Atmosfera*. Obtido 25 de Agosto de 2021, de <https://www.ipma.pt/>
- Jacobson, M., Charlson, R. J., Rodhe, H., & Orians, G. H. (2000). *Earth System Science: From biogeochemical cycles to global changes*. Academic Press.

- Janzen, H., Campbell, C. A., Brandt, S., Lafond, G., & Townley-Smith, L. (1992). *Light-fraction organic matter in soils from long-term crop rotations*.
- Johannsen, S. S., & Armitage, P. (2010). Agricultural practice and the effects of agricultural land-use on water quality. *Freshwater Forum*, 28, 45–59.
- Jokela, W. E., Grabber, J. H., Karlen, D. L., Balsler, T. C., & Palmquist, D. E. (2009). Cover crop and liquid manure effects on soil quality indicators in a corn silage system. *Agronomy Journal*, 101(4), 727–737.
- Juhos, K., Czigány, S., Madarász, B., & Ladányi, M. (2019). Interpretation of soil quality indicators for land suitability assessment – A multivariate approach for Central European arable soils. *Ecological Indicators*, 99, 261–272.
- Karlen, D. L., & Stott, D. E. (1994). A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. *Defining soil quality for a sustainable environment*, 35, 53–72.
- Kemper, W. D., & Rosenau, R. C. (1986). Aggregate stability and size distribution. *Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Methods*, 5, 425–442.
- Kemper, W. D., Rosenau, R. C., & Dexter, A. R. (1987). Cohesion development in disrupted soils as affected by clay and organic matter content and temperature. *Soil Science Society of America Journal*, 51(4), 860–867.
- Kennedy, A., & Smith, K. (1995). Soil microbial diversity and the sustainability of agricultural soils. *Plant and Soil*, 170, 75–86.
- Kiehl, E. J. (1979). *Manual de edafologia relação solo planta*. Agronômica Ceres.
- Kiehl, E. J. (1985). *Fertilizantes orgânicos*.
- Klute, A., & Dirksen, C. (1986). Hydraulic conductivity and diffusivity: Laboratory methods. *Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Methods*, 5, 687–734.

- Lal, R. (2009). Challenges and opportunities in soil organic matter research. *European Journal of Soil Science*, 60(2), 158–169.
- Larson, W. E., & Pierce, F. J. (1991). Conservation and enhancement of soil quality. *Evaluation for Sustainable Land Management in the Developing World: Proceedings of the International Workshop on Evaluation for Sustainable Land Management in the Developing World, Chiang Rai, Thailand, 15-21 September 1991*.
- Lehmann, J., & Kleber, M. (2015). The contentious nature of soil organic matter. *Nature*, 528(7580), 60–68.
- Leone, A. P., & Sommer, S. (2000). Multivariate analysis of laboratory spectra for the assessment of soil development and soil degradation in the southern Apennines (Italy). *Remote Sensing of Environment*, 72(3), 346–359.
- Liebig, M. A., Tanaka, D. L., & Wienhold, B. J. (2004). Tillage and cropping effects on soil quality indicators in the northern Great Plains. *Soil and Tillage Research*, 78(2), 131–141.
- Lima, A. C. R., Brussaard, L., Totola, M. R., Hoogmoed, W. B., & de Goede, R. G. M. (2013). A functional evaluation of three indicator sets for assessing soil quality. *Applied Soil Ecology*, 64, 194–200.
- Loginow, W., Wisniewski, W., Gonet, S. S., & Ciescinska, B. (1987). Fractionation of organic carbon based on susceptibility to oxidation. *Polish Journal of Soil Science*, 20(1), 47–52.
- Madari, B. E., Milori, D., Martin Neto, L., Benites, V. M., Cunha, T. J. F., Novotny, E. H., Coelho, M. R., & Santos, G. A. (2009). Matéria orgânica dos solos antrópicos da Amazônia (Terra Preta de Índio): Suas características e papel na sustentabilidade da fertilidade do solo. *Embrapa Instrumentação-Capítulo em livro científico (ALICE)*.

- Manlay, R. J., Feller, C., & Swift, M. J. (2007). Historical evolution of soil organic matter concepts and their relationships with the fertility and sustainability of cropping systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 119(3–4), 217–233.
- Masto, R. E., Sheik, S., Nehru, G., Selvi, V. A., George, J., & Ram, L. C. (2015). Environmental soil quality index and indicators for a coal mining soil. *Solid Earth Discussions*, 7(1).
- Mazurak, A. P. (1950). EFFECT OF GASEOUS PHASE ON WATER-STABLE SYNTHETIC AGGREGATES. *Soil Science*, 69(2), 135–148.
- Decreto-Lei 103/2015, Pub. L. No. 3, 103/2015 3756 (2015). <https://dre.pt/pesquisa/-/search/67485179/details/maximized>
- Mota, J. C., de Almeida, M. M., de Alencar, V. C., & Curi, W. F. (2009). Características e impactos ambientais causados pelos resíduos sólidos: Uma visão conceitual. *Águas Subterrâneas*.
- Mutuo, P. K., Shepherd, K. D., Albrecht, A., & Cadisch, G. (2006). Prediction of carbon mineralization rates from different soil physical fractions using diffuse reflectance spectroscopy. *Soil Biology and Biochemistry*, 38(7), 1658–1664.
- Paquete, M. (2013). *O Azeite na Cultura e no Património Alimentar* (2ª edição). Colares Editora.
- Peça, J.O. (2021). *TECOLIVE. Técnicas e tecnologia para a valorização de subprodutos em olivicultura. Relatório de progresso, Janeiro de 2019 a Março de 2021*. Universidade de Évora.
- Raiesi, F. (2017). A minimum data set and soil quality index to quantify the effect of land use conversion on soil quality and degradation in native rangelands of upland arid and semiarid regions. *Ecological Indicators*, 75, 307–320.
- Reinert, D., & Reichert, J. M. (2006). *Reinert & Reichert—Propriedades físicas do solo*.

- Reynolds, W. D., Elrick, D. E., Youngs, E. G., Booltink, H. W. G., Bouma, J., & Dane, J. H. (2002). *Saturated and field-saturated water flow parameters. 2. Laboratory methods*. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=NL2003682903>
- Ribon, A. A., & Tavares Filho, J. (2008). Estimating penetration resistance of an oxisol under perennial crop in northern Paraná state. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32(5), 1817–1825.
- Rossel, R. V., & Behrens, T. (2010). Using data mining to model and interpret soil diffuse reflectance spectra. *Geoderma*, 158(1–2), 46–54.
- Salton, J. C., Mielniczuk, J., Bayer, C., Fabricio, A. C., Macedo, M. C. M., Broch, D. L., Boeni, M., & Conceição, P. C. (2005). *Matéria orgânica do solo na integração lavoura-pecuária em Mato Grosso do Sul*. Embrapa Agropecuária Oeste Dourados.
- Santos, F., Alexandre, C., & Coelho, R. (2017). *Relações solo-água-planta*.
- Sarapatka, B., Holub, M., & Lhotska, M. (1993). *The effect of farmyard manure anaerobic treatment on weed seed viability*.
- Schimel, D. S., Braswell, B. H., Holland, E. A., McKeown, R., Ojima, D. S., Painter, T. H., Parton, W. J., & Townsend, A. R. (1994). Climatic, edaphic, and biotic controls over storage and turnover of carbon in soils. *Global biogeochemical cycles*, 8(3), 279–293.
- Schlöter, M., Dilly, O., & Munch, J. C. (2003). Indicators for evaluating soil quality. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 98(1), 255–262.
- Schoenholtz, S. H., Van Miegroet, H., & Burger, J. A. (2000). A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: Challenges and opportunities. *Forest ecology and management*, 138(1–3), 335–356.
- Sequeira, C., & Alley, M. (2011). Soil Organic Matter Fractions as Indices of Soil Quality Changes. *Soil Science Society of America Journal*, 75, 1766.

- Six, J., Conant, R. T., Paul, E., & Paustian, K. (2002). Stabilization Mechanisms of Soil Organic Matter: Implications for C-Saturation of Soils. *Plant and Soil*, 241, 155–176.
- SROA. (1970). *Carta dos Solos de Portugal (Esc. 1:50.000). 6ª Ed., Vol. I: Classificação e caracterização morfológica dos solos. Serviço de Reconhecimento e de Ordenamento Agrário, Lisboa, 162 pp.*
- Stefanoski, D. C., Santos, G. G., Marchão, R. L., Petter, F. A., & Pacheco, L. P. (2013). Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. *Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental*, 17(12), 1301–1309.
- Stevenson, F. J. (1994). *Humus chemistry: Genesis, composition, reactions*. John Wiley & Sons.
- Thiebeau, P., & Recous, S. (2016). Une méthode pour quantifier les biomasses de résidus de récolte à la surface des sols après la moisson. *Cahiers Agricultures*, 25(4), 45001.
- Tisdall, J. M., & Oades, J. (1982). Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of soil science*, 33(2), 141–163.
- Tormena, C. A., Fidalski, J., & Rossi Junior, W. (2008). Resistência tênsil e friabilidade de um Latossolo sob diferentes sistemas de uso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32(1), 33–42.
- Vogelmann, E. S., Reichert, J. M., Prevedello, J., Barros, C. A. P. de, Quadros, F. L. F. de, & Mataix-Solera, J. (2012). Soil hydro-physical changes in natural grassland of southern Brazil subjected to burning management. *Soil Research*, 50(6), 465–472.
- Voorhees, W. B. (1986). *The Effect of Soil Compaction on Crop Yield* (SAE Technical Paper N. 860729). SAE International.
- Wang, X., & Gong, Z. (1998). Assessment and analysis of soil quality changes after eleven years of reclamation in subtropical China. *Geoderma*, 81(3), 339–355.

- Weil, R. R., Islam, K. R., Stine, M. A., Gruver, J. B., & Samson-Liebig, S. E. (2003). Estimating active carbon for soil quality assessment: A simplified method for laboratory and field use. *American Journal of Alternative Agriculture*, 3–17.
- White, P., Crawford, J., Álvarez, M., & Moreno, R. (2012). Soil Management for Sustainable Agriculture. *Applied and Environmental Soil Science*, 2012.
- Wienhold, B. J., Andrews, S. S., & Karlen, D. L. (2004). Soil quality: A review of the science and experiences in the USA. *Environmental Geochemistry and Health*, 26(2), 89–95.
- Wuest, S. B., Williams, J. D., & Gollany, H. T. (2006). Tillage and perennial grass effects on ponded infiltration for seven semi-arid loess soils. *Journal of soil and water conservation*, 61(4), 218–223.
- Zhang, B., Zhang, Y., Chen, D., White, R. E., & Li, Y. (2004). A quantitative evaluation system of soil productivity for intensive agriculture in China. *Geoderma*, 123(3–4), 319–331.

ANEXOS

Anexo 1 – Descrição morfológica das famílias de solos predominantes da área dos ensaios

Solos Mediterrâneos Pardos de dioritos ou quartzodioritos ou rochas microfaneríticas ou cristalofílicas afins (Pm) (Cardoso, 1965)

Horizonte A1 – 15 a 30 cm; pardo, pardo-pálido, cinzento-pardacento-claro ou pardo-acinzentado (s) e castanho, pardo-acinzentado-escuro (h); franco-argilo-arenoso, em muitos casos com alguns calhaus e pedras de rocha-mãe e/ou de pórfiros; estrutura granulosa muito fina a média moderada; friável; pH 6,0 a 7,0. Transição nítida para:

Horizonte B – 20 a 70 cm; pardo-acinzentado muito escuro ou castanho (h), passando por vezes, com a profundidade, a cinzento-escuro e oliváceo, cores da rocha-mãe; argiloso, as vezes franco-argiloso ou franco-argiloso-arenoso, notando-se películas de argila na superfície dos agregados, cuja abundância diminui com a profundidade; estrutura prismáticagrosseira forte composta de anisoforme angulosa grosseira forte; muito aderente, muito plástico, muito ou extremamente firme, extremamente rijo; pH 6,5 a 7,5.

Transição abrupta ou nítida para:

Horizonte C – Material originário proveniente da degradação de dioritos ou quartzodioritos ou rochas microfaneríticas ou cristalofílicas afins;

Solos Calcários Pardos, de xistos ou grauvaques associados a depósitos calcários (Pcx) (Cardoso, 1965)

Horizonte Ap – 20 a 40 cm; pardo ou pardo-pálido; franco-argilo-arenoso ou franco-argiloso calcário; geralmente com pequenos fragmentos de xisto; com estrutura grumosa ou granulosa fina e média moderada; friável; efervescência viva ou muito viva HCl, pH 7,5 a 8,5.

Transição nítida para

Horizonte C – Material originário: proveniente da meteorização de xistos ou grauvaques associados a depósitos calcários. Na sua parte superior existe, por vezes, um horizonte Cca não endurecido.

Anexo 2 – Detalhes da amostragem de solo e tipo de propriedades

A2.1 : Propriedades do solo e amostragem na linha*

Propriedades do solo	Tipo de amostra	Pts Am. /parc.**	Amostras /parcela	Camadas	Parc. (L)*	Total	Observações
Resíduos (massa)	Simples	-	4 (2 2)	superfície	9	4x9 = 36	Um indicador
Massa volúmica e Ks	Simples (anel metál.)	-	4 (2 2)	0-5 cm	9	4x9 = 36	Dois indicadores
Humidade	Simples, cx. hermética	-	4 (2 2)	0-5 cm	9	4x9 = 36	Junto dos anéis; variável de apoio
Massa volúmica	Simples (cilindro)	-	1	0-5 cm 5-15 cm 15-30 cm	9	9+9+9 = 27	P/a caracterização do solo do ensaio
Agregação	Composta, caixa rígida	4 (2 2)	3	0-5 cm	9	3x9 = 27	Dois indicadores
Químicos (e textura)	Composta, perturbada	12 (6 6)	1	0-5 cm 5-15 cm 15-30 cm	9	9+9+9 = 27	Vários indicadores

* L – a cerca de 50 cm da linha (na perpendicular) e 50 a 75 cm da oliveira mais próxima.

** Pontos de amostragem por parcela, em que (n|n) indica o número de colheitas de cada lado da linha.

A2.2 : Propriedades do solo e amostragem na entrelinha* (zona dos rodados da maquinaria)

Propriedades do solo	Tipo de amostra	Pts Am. /parc.**	Amostras /parcela	Camadas	Parc. (E-L)*	Total	Observações
Resíduos (massa)	Simple	-	4 (2 2)	superfície	3	4x3 = 12	Um indicador
Massa volúmica e Ks	Simple (anel metál.)	-	4 (2 2)	0-5 cm	3	4x3 = 12	Dois indicadores
Humidade	Simple, cx. hermética	-	4 (2 2)	0-5 cm	3	4x3 = 12	Junto dos anéis; variável de apoio
Massa volúmica	Simple (cilindro)	-	1	0-5 cm 5-15 cm 15-30 cm	3	3+3+3 = 9	P/a caracterização do solo do ensaio
Agregação	Composta, caixa rígida	4 (2 2)	3	0-5 cm	3	3x3 = 9	Dois indicadores

* (E-L) – entrelinha (locais com marcas dos rodados de maquinaria).

** Pontos de amostragem por parcela, em que (n|n) indica o número de colheitas de cada lado da linha.

Anexo 3 – Dados analíticos das características do solo

A3.1: Tabela var.desc obtida no R studio. Resumo da humidade (H), fracção grosseira (FG), da fracção fina (FF), nas respectivas camadas de 0 à 5cm, 5 à 15cm e 15 à 30cm.

Linha	FG (g/kg)
0-5 cm	
nbr.val	9
nbr.null	0
nbr.na	0
min	69.2
max	190.8
range	121.6
sum	1077.2
median	115.5
mean	119.689
SE.mean	15.023
CI.mean.0.95	34.643
var	2031.184
std.dev	45.069
coef.var	0.376
5-15 cm	
nbr.val	8
nbr.na	1
min	65.1
max	137.2
range	72.1
sum	796.3
median	96.95
mean	99.537
SE.mean	8.991
CI.mean.0.95	21.260
var	646.683
std.dev	25.430
coef.var	0.255
15-30 cm	
nbr.val	9
nbr.na	2
min	38.1
max	166.7
range	128.6
sum	783.7
median	81.8
mean	87.078
SE.mean	11.842
CI.mean.0.95	27.308
var	1262.094
std.dev	35.526
coef.var	0.408

A3.2: Tabela var.desc obtida no R studio. Resumo da Densidade do solo e da Porosidade na camada de 0 à5cm, para linha e entrelinha.

	MVA (g.cm⁻³)	Porosidade (m³.m⁻³)	MVA (g.cm⁻³)	Porosidade (m³.m⁻³)	MVA (g.cm⁻³)	Porosidade (m³.m⁻³)	MVA (g.cm⁻³)	Porosidade (m³.m⁻³)
Linha								
Camada	0-5cm		0-5 cm		5-15 cm		15-30cm	
nbr.val	36	36	9	9	5	5	8	8
nbr.null	0	0	0	0	0	0	0	0
nbr.na	0	0	0	0	4	4	1	1
min	1.04	0.42	0.83	0.517	0.95	0.517	0.94	0.498
max	1.55	0.61	1.28	0.687	1.28	0.642	1.33	0.645
range	0.51	0.19	0.45	0.170	0.33	0.125	0.39	0.147
sum	47.35	18.13	9.84	5.287	5.6	2.887	9.42	4.445
median	1.35	0.49	1.1	0.585	1.19	0.551	1.19	0.551
mean	1.32	0.50	1.093	0.587	1.12	0.577	1.178	0.556
SE.mean	0.02	0.01	0.048	0.018	0.065	0.025	0.048	0.018
CI.mean.0.95	0.04	0.02	0.110	0.042	0.181	0.068	0.114	0.043
var	0.02	0.002	0.021	0.003	0.021	0.003	0.018	0.003
std.dev	0.13	0.05	0.143	0.054	0.146	0.055	0.136	0.051
coef.var	0.10	0.09	0.131	0.092	0.130	0.096	0.115	0.092
Entrelinha								
Camada 0-5cm			NA		NA		NA	
nbr.val	12	12						
nbr.null	0	0						
nbr.na	0	0						
min	1.29	0.37						
max	1.67	0.51						
range	0.38	0.14						
sum	18.48	5.03						
median	1.59	0.40						
mean	1.54	0.42						
SE.mean	0.03	0.01						
CI.mean.0.95	0.08	0.03						
var	0.01	0.00						
std.dev	0.12	0.04						
coef.var	0.08	0.11						

A3.3 : Tabela var.desc obtida no R studio. Resumo da Condutividade Hidráulica na camada de 0 à 5 cm, para linha e entrelinha.

ks (log(cm/dia))	
Linha	
Camada 0-5cm	
nbr.val	35
nbr.null	0
nbr.na	1
min	0.967
max	4.521
range	3.554
sum	101.041
median	2.725
mean	2.887
SE.mean	0.170
Cl.mean.0.95	0.346
var	1.015
std.dev	1.007
coef.var	0.349
Entrelinha	
Camada 0-5cm	
nbr.val	9
nbr.null	0
nbr.na	3
min	-0.228
max	4.293
range	4.521
sum	17.808
median	2.472
mean	1.979
SE.mean	0.523
Cl.mean.0.95	1.208
var	2.470
std.dev	1.571
coef.var	0.794

A3.4 : Tabela var.desc obtida no R studio. Resumo do parâmetro diâmetro médio geométrico (DMG) na camada de 0 à 5 cm, para linha e entrelinha.

	DMG_Cliv_suav (mm)	DMG_Cliv_2q (mm)
Linha		
Camada 0-5cm		
nbr.val	27	27
nbr.null	0	0
nbr.na	0	0
min	7.789	5.777
max	10.224	7.909
range	2.435	2.132
sum	242.987	188.805
median	9.117	7.091
mean	8.999	6.993
SE.mean	0.125	0.115
Cl.mean.0.95	0.257	0.236
var	0.422	0.355
std.dev	0.650	0.596
coef.var	0.072	0.085
Entrelinha		
Camada 0-5cm		
nbr.val	9	9
nbr.null	0	0
nbr.na	0	0
min	10.104	8.939
max	10.998	10.11
range	0.894	1.171
sum	95.096	85.973
median	10.498	9.423
mean	10.566	9.552
SE.mean	0.104	0.148
Cl.mean.0.95	0.240	0.340
var	0.098	0.196
std.dev	0.312	0.443
coef.var	0.029	0.046

A3.5 : Tabela var.desc obtida no R studio. Resumo da quantidade de Resíduos (kg.m^{-2}) à superfície do solo, para linha e entrelinha.

	Resíduos_0	Resíduos_1
Linha		
nbr.val	36	36
nbr.null	0	0
nbr.na	0	0
min	0.21	0.36
max	1.42	15.08
range	1.21	14.72
sum	24.04	130.90
median	0.62	2.93
mean	0.67	3.64
SE.mean	0.05	0.53
CI.mean.0.95	0.10	1.07
var	0.09	9.92
std.dev	0.30	3.15
coef.var	0.45	0.87
Entrelinha		
nbr.val	12	NA
nbr.null	0	NA
nbr.na	0	NA
min	0.05	NA
max	0.61	NA
range	0.56	NA
sum	1.85	NA
median	0.11	NA
mean	0.15	NA
SE.mean	0.04	NA
CI.mean.0.95	0.09	NA
var	0.02	NA
std.dev	0.15	NA
coef.var	0.97	NA

A3.6 : Tabela var.desc obtida no R studio. Resumo da Estabilidade Agregados (%) na camada de 0 à 5 cm, para linha e entrelinha.

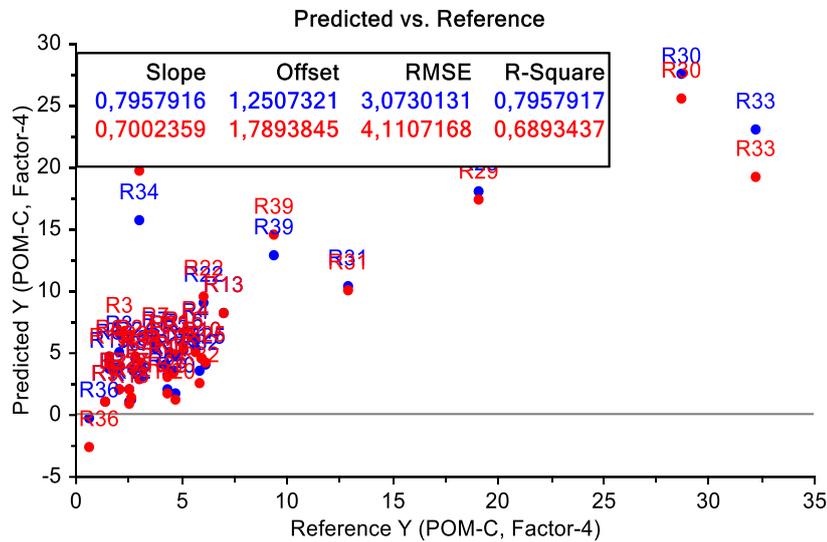
Estabilidade Agregados (%)	
Linha	
Camada 0-5cm	
nbr.val	27
nbr.null	0
nbr.na	0
min	87.1
max	98.5
range	11.4
sum	2512.6
median	92.8
mean	93.05926
SE.mean	0.699965
CI.mean.0.95	1.438798
var	13.22866
std.dev	3.637123
coef.var	0.039084
Entrelinha	
Camada 0-5cm	
nbr.val	9
nbr.null	0
nbr.na	0
min	88.8
max	99.2
range	10.4
sum	853.7
median	97.3
mean	94.85556
SE.mean	1.437215
CI.mean.0.95	3.314223
var	18.59028
std.dev	4.311644
coef.var	0.045455

A3.7 : Tabela var.desc obtida no R studio. Resumo do carbono orgânico da M.O particulada (POM_C), do carbono orgânico oxidado pelo permanganato (POX_C), do pH em água e em KCl, do P2O5 e do K2O, para as respectivas camadas de 0 à 5cm, 5 à 15cm e 15 à 30cm.

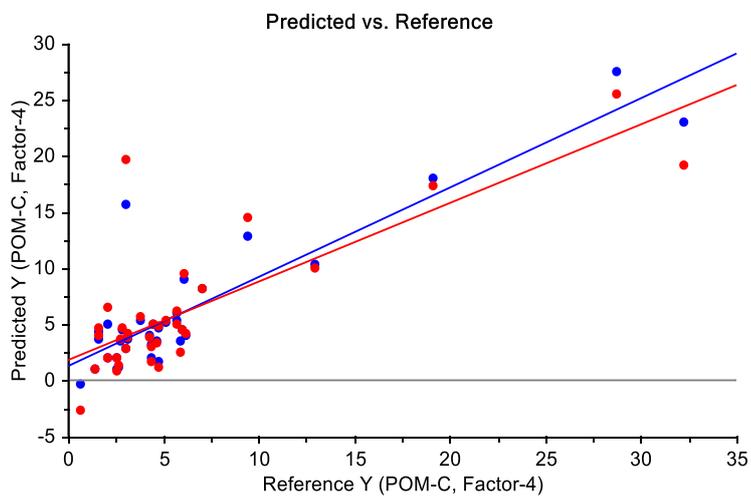
	SOC g.kg ⁻¹	POM_C g.kg ⁻¹	POX_C mg.kg ⁻¹	pH. água	pH.KCl	P2O5 mg.kg ⁻¹	K2O mg.kg ⁻¹
nbr.val	9	9	9	9	9	9	9
nbr.null	0	0	0	0	0	0	0
nbr.na	0	0	0	0	0	0	0
Camada 0-5cm							
min	13.71	3.77	732.43	6.85	6.3	75.49	310
max	20.94	7	862.33	7.67	7.18	210.1	520
range	7.23	3.23	129.9	0.82	0.88	134.61	210
sum	148.94	49.87	7129.35	65.42	61.8	1341.49	3480
median	15.68	5.72	789.99	7.2	7.07	156.3	340
mean	16.55	5.54	792.15	7.27	6.87	149.05	386.67
SE.mean	0.78	0.34	13.34	0.10	0.11	13.31	25.66
Cl.mean.0.95	1.80	0.77	30.77	0.22	0.25	30.69	59.17
var	5.50	1.01	1602.58	0.08	0.11	1594.41	5925.00
std.dev	2.34	1.01	40.03	0.29	0.32	39.93	76.97
coef.var	0.14	0.18	0.05	0.04	0.05	0.27	0.20
Camada 5-15cm							
min	10.69	2.73	684.67	6.8	6.16	55.21	260
max	13.93	4.72	876.91	7.8	7.34	130.1	430
range	3.24	1.99	192.24	1	1.18	74.89	170
sum	112.1	36.14	6697.33	66.6	61.54	877.66	2780
median	12.23	4.38	739.93	7.37	6.79	101.6	300
mean	12.46	4.02	744.15	7.40	6.84	97.52	308.89
SE.mean	0.32	0.27	19.65	0.12	0.14	6.97	17.52
Cl.mean.0.95	0.74	0.62	45.32	0.27	0.33	16.06	40.39
var	0.93	0.65	3475.98	0.12	0.18	436.74	2761.11
std.dev	0.96	0.81	58.96	0.35	0.42	20.90	52.55
coef.var	0.08	0.20	0.08	0.05	0.06	0.21	0.17
Camada 15-30cm							
min	7.53	1.41	507.35	7.09	6.21	26.54	180
max	11.29	2.83	650.75	8	7.38	54.9	290
range	3.76	1.42	143.4	0.91	1.17	28.36	110
sum	81.63	19.47	5315.02	69.11	62.34	365.99	1990
median	8.8	2.08	599.71	7.7	6.91	42.87	204
mean	9.07	2.16	590.56	7.68	6.93	40.67	221.11
SE.mean	0.39	0.17	17.04	0.11	0.14	2.87	12.48
Cl.mean.0.95	0.90	0.40	39.29	0.26	0.32	6.61	28.77
var	1.36	0.28	2612.38	0.11	0.17	73.90	1401.11
std.dev	1.17	0.52	51.11	0.33	0.41	8.60	37.43
coef.var	0.13	0.24	0.09	0.04	0.06	0.21	0.17

Anexo 4 – Descrição dos dados obtidos da espectroscopia por NIR

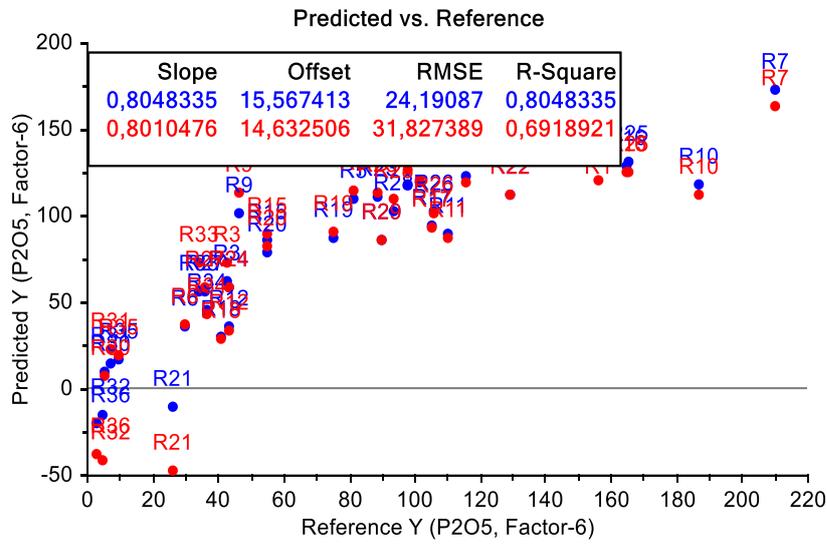
A4.1 : Valores de referência, para as amostras de POM-C pelo método convencional versus o valor previsto pelo modelo de calibração



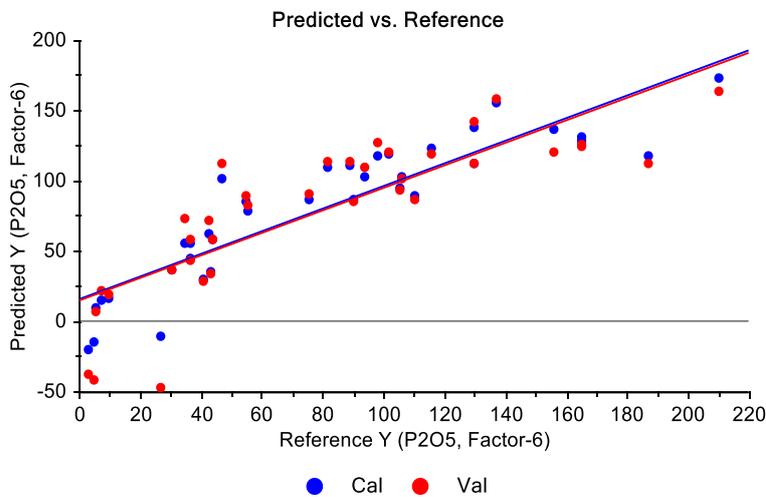
A4.2 : Regressão linear dos valores de referência, para as amostras de POM-C pelo método convencional versus o valor previsto pelo modelo de calibração PLS



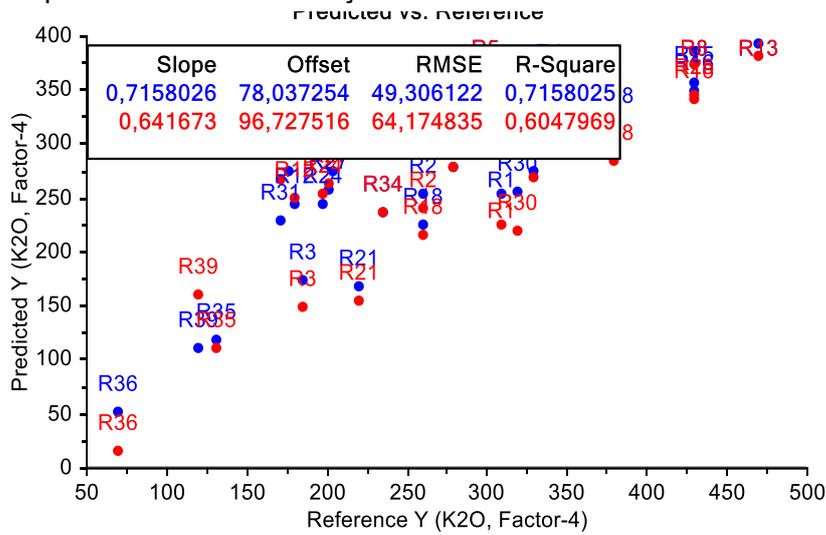
A4.5 : Valores de referência, para as amostras de P₂O₅ pelo método convencional versus o valor previsto pelo modelo de calibração



A4.6 : Regressão linear dos valores de referência, para as amostras de P₂O₅ pelo método convencional versus o valor previsto pelo modelo de calibração PLS



A4.7 : Valores de referência, para as amostras de K₂O pelo método convencional versus o valor previsto pelo modelo de calibração



A4.8 : Regressão linear dos valores de referência, para as amostras de K₂O pelo método convencional versus o valor previsto pelo modelo de calibração PLS

