



Rodrigo Almeida Pacheco

ENRIQUECIMENTO EM CARBONO DO SOLO COM SUBSTRATO ORGÂNICO

ENRICHMENT OF SOIL CARBON WITH ORGANIC SUBSTRATE

Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Ambiente, na área de Especialização em Território e Gestão do Ambiente,
orientada pelo Professor Doutor João Carlos dos Santos Alves Vieira e pelo Professor Doutor Carlos Manuel de Arruda Pacheco

Coimbra, 7 de Outubro de 2018



UNIVERSIDADE DE COIMBRA



FCTUC DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Rodrigo Almeida Pacheco

ENRIQUECIMENTO EM CARBONO DO SOLO COM SUBSTRATO ORGÂNICO

ENRICHMENT OF SOIL CARBON WITH ORGANIC SUBSTRATE

Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Ambiente, na área de Especialização em Território e Gestão do Ambiente, orientada pelo Professor Doutor João Carlos dos Santos Alves Vieira e pelo Professor Doutor Carlos Manuel de Arruda Pacheco

Esta Dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor.
O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC, declina qualquer
responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões
que possam surgir

Coimbra, 7 de Outubro de 2018

AGRADECIMENTOS

A presente dissertação contou com o apoio e auxílio de várias instituições e pessoas, sem as quais não teria sido possível concluir este projeto, das quais destaco e agradeço:

Ao INOVA - Instituto de Inovação Tecnológica dos Açores, por me ter acolhido no programa Estagiar L, dentro do qual tive a possibilidade de desenvolver a presente dissertação com informação de projetos de investigação já desenvolvidos ou em curso.

À MUSAMI - Operações Municipais do Ambiente EIM SA, por ter autorizado o uso de informação constante do projeto BIOVALOR, desenvolvido no período de 2015 a 2018, com o título: “Avaliação do potencial produtivo do substrato orgânico SO-MUSAMI nas fileiras da horticultura, fruticultura, floricultura e agricultura”, e pelo financiamento das análises de solo feitas no âmbito da presente dissertação.

Ao meu orientador, Doutor Professor João Carlos dos Santos Alves Vieira, pelo seu constante interesse e disponibilidade, e cuja crítica construtiva foi essencial para a elaboração desta dissertação.

Ao meu orientador, Doutor Professor Carlos Manuel de Arruda Pacheco, pelo seu apoio incondicional ao longo deste trabalho e pelo seu constante incentivo. Os ensinamentos recolhidos são algo que transportarei para a minha vida profissional.

Ao meu colega de trabalho, Doutor Engenheiro Nuno Miguel dos Santos Conceição, pelo apoio dado ao longo do período de estágio.

A todos aqueles que aqui não são referidos e que contribuíram para a presente dissertação, os meus sinceros agradecimentos.

À minha família pelo seu apoio e paciência que sempre tiveram para comigo em todas as circunstâncias do meu percurso académico, e cuja presença em todas as facetas da minha vida é algo pelo qual estou eternamente grato. A vocês dedico esta dissertação.

RESUMO

A presente dissertação teve como objetivo avaliar o enriquecimento do solo em carbono e nutrientes com o substrato orgânico SO-MUSAMI (SO), a partir de ensaios que se iniciaram desde 2013 (o autor apenas participou nos trabalhos de campo desenvolvidos entre setembro de 2017 a agosto de 2018). Em seis casos de estudo estudou-se a taxa de variação anual (TVA) do carbono e as alterações nutricionais no solo. A eficácia do SO foi avaliada através de variáveis biométricas da planta e do rendimento da produção. Os quantitativos de SO/m² aplicados variaram desde os 20 kg/m², em culturas forrageiras, a 80 kg/m², em culturas hortofrutícolas. Os resultados indicam TVA variando desde os 15% a 50% no primeiro ano, decrescendo nos dois anos subsequentes, com enriquecimento do solo em carbono e nutrientes no final dos 3 anos de estudo.

O desenvolvimento vegetativo das culturas do maracujá e da bananeira foi classificado de excelente para os padrões culturais local e superior nos tratamentos com SO por comparação com o tratamento testemunha. A produção, função de múltiplos fatores, nos tratamentos com SO foi equivalente à testemunha na cultura do maracujá, superior na cultura da bananeira em modo de produção biológica, e classificada de excelente na cultura do ananaseiro em estufa nos dois primeiros ciclos culturais e normal no terceiro ciclo. O enriquecimento excessivo do solo em nutrientes, nomeadamente em azoto e fósforo, resultado de TVA muito elevadas, não originou disfunções no desenvolvimento vegetativo e reprodutivo das culturas testadas. O pH e a razão C/N do solo, mesmo para as doses mais elevadas de SO aplicadas, mantiveram-se no intervalo favorável à atividade microbiana.

Os resultados do presente trabalho confirmam estudos anteriores e mostram que o substrato orgânico SO-MUSAMI pode ser recomendado como melhorador das características físicas, químicas e biológicas do solo, como alternativa aos fertilizantes minerais e apropriado para o modo de produção biológica. Os resultados apresentados não incluem informação climatológica, de rega, do rendimento dos ensaios anteriores a 2017 ou de caracterização das testemunhas, porque o foco foi colocado no cálculo da TVA. Porém, toda a informação em falta pode ser consultada por solicitação ao INOVA e à MUSAMI dos respetivos relatórios.

Palavras-chave: substrato; orgânico; carbono; solo; enriquecimento

ABSTRACT

The following dissertation had as a goal the evaluation of the enrichment of the soil in carbon and nutrients with the organic substrate SO-MUSAMI (SO), based on experiments that began in 2013 (the author only participated in the field works developed between September 2017 and August 2018). In six study cases the annual variation rate (TVA) of the carbon and the nutritional alterations of the soil were studied. The efficiency of the SO was evaluated through the biometrical variables of the plant and the yield of the production. The applied quantities of SO/m² varied from 20 kg/m², in forage cultures, to 80 kg/m², in horticultures. The results indicate TVA varying from 15% to 50% in the first year, decreasing in the subsequent years, with the enrichment of the soil in carbon and nutrients at the end of the 3 years of study.

The vegetative development of the passion fruit and banana tree cultures was classified as excellent according to the local cultural standards and superior in the treatments with SO when compared to the treatment of reference. The production, function of multiple factors, in the treatments with SO was equivalent to the reference in the passion fruit culture, superior in the banana tree culture developed in biological production mode, and classified as excellent in the greenhouse pineapple culture during the first two cultural cycles and normal in the third cycle. The excessive enrichment of the soil in nutrients, specifically nitrogen and phosphor, result of very high TVA, didn't originate dysfunctions in the vegetative and reproductive development of the tested cultures. The pH and C/N ratio of the soil, even for high doses of applied SO, remained between the favorable intervals to the microbial activity.

The results of the current work confirm previous studies and show that the organic substrate SO-MUSAMI can be recommended as an improver of the physical, chemical and biological properties of the soil, well as an alternative to mineral fertilizers and appropriated to a biological production mode. The results presented do not include climatological information, irrigation, the performance of the tests prior to 2017 or the characterization of the controls, because the focus was placed on the calculation of the TVA. However, all missing information can be consulted by requesting INOVA and MUSAMI from their reports.

Keywords: substrate; organic; carbon; soil; enrichment

ÍNDICE

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 10 |
| 2 | ESTADO DO CONHECIMENTO | 14 |
| 2.1 | Enquadramento Geral | 14 |
| 2.2 | Valorização de Resíduos..... | 15 |
| 2.3 | Funções e Riscos dos Solos Agrícolas..... | 15 |
| 2.3.1 | Funções de Regulação do Ecossistema | 15 |
| 2.3.2 | Riscos dos Solos Agrícolas..... | 16 |
| 2.3.3 | Importância da Matéria Orgânica do Solo..... | 16 |
| 2.4 | Riscos Ambientais e Fertilização Orgânica vs. Fertilização Mineral | 17 |
| 2.5 | Balço do Carbono no Solo | 19 |
| 3 | MATERIAIS E MÉTODOS | 20 |
| 3.1 | Meio Edafológico e Culturas | 20 |
| 3.1.1 | Clima | 20 |
| 3.1.2 | Solos | 20 |
| 3.1.3 | Culturas..... | 20 |
| 3.2 | Substrato Orgânico SO-MUSAMI..... | 21 |
| 3.3 | Delineamento Experimental e Amostragem do Solo..... | 22 |
| 3.4 | Taxa de Variação Anual do Carbono..... | 23 |
| 3.5 | Rendimento das Culturas | 24 |
| 4 | CASOS DE ESTUDO | 25 |
| 4.1 | Produção de Maracujá em Regime de Regadio | 25 |
| 4.1.1 | Introdução..... | 25 |
| 4.1.2 | Materiais e Métodos | 25 |
| 4.1.3 | Resultados e Discussão..... | 27 |
| 4.1.4 | Avaliação Agronómica e Ambiental | 33 |
| 4.2 | Desenvolvimento Vegetativo e Produção de Bananas em Modo de Produção Biológico..... | 35 |
| 4.2.1 | Introdução..... | 35 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.2.2 | Materiais e Métodos | 35 |
| 4.2.3 | Resultados e Discussão..... | 37 |
| 4.2.4 | Avaliação Agronômica e Ambiental | 43 |
| 4.3 | Desenvolvimento de Bananeiras em Regime de Regadio | 45 |
| 4.3.1 | Introdução..... | 45 |
| 4.3.2 | Material e Métodos..... | 45 |
| 4.3.3 | Resultados e Discussão..... | 46 |
| 4.3.4 | Avaliação Agronômica e Ambiental | 51 |
| 4.4 | Produção de Azevém e Milho Forrageiro..... | 52 |
| 4.4.1 | Introdução..... | 52 |
| 4.4.2 | Materiais e Métodos | 52 |
| 4.4.3 | Resultados e Discussão..... | 54 |
| 4.4.4 | Avaliação Agronômica e Ambiental | 57 |
| 4.5 | Cultura do Ananaseiro: Estufa nº1 | 58 |
| 4.5.1 | Introdução..... | 58 |
| 4.5.2 | Materiais e Métodos | 58 |
| 4.5.3 | Resultados e Discussão..... | 60 |
| 4.5.4 | Avaliação Agronômica e Ambiental | 66 |
| 4.6 | Cultura do Ananaseiro: Estufa nº2..... | 68 |
| 4.6.1 | Introdução..... | 68 |
| 4.6.2 | Materiais e Métodos | 68 |
| 4.6.3 | Resultados e Discussão..... | 70 |
| 4.6.4 | Avaliação Agronômica e Ambiental | 78 |
| 5 | CONCLUSÕES..... | 79 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 81 |
| | ANEXO A – Legislação..... | A |
| | ANEXO B - Caracterização do SO-MUSAMI..... | B |
| | ANEXO C – Métodos de Análise de Solos | C |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 4.1 - Regressão linear do caso de estudo nº1..... | 28 |
| Figura 4.2 - Regressão linear do caso de estudo nº2..... | 37 |
| Figura 4.3 - Regressão linear do caso de estudo nº3..... | 47 |
| Figura 4.5 - Regressão linear do caso de estudo nº4..... | 54 |
| Figura 4.6 - Regressão linear do caso de estudo nº5..... | 60 |
| Figura 4.7 - Regressão linear do caso de estudo nº6..... | 71 |

ÍNDICE DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 2.1- Vantagens e desvantagens do uso de fertilizantes orgânicos e minerais | 18 |
| Quadro 4.1 - Informação geral do caso de estudo nº1 | 25 |
| Quadro 4.2 - Granulometria e elementos grosseiros..... | 25 |
| Quadro 4.3 - Caracterização química do solo..... | 26 |
| Quadro 4.4 - Resultados analíticos do carbono total | 29 |
| Quadro 4.5 - Resultados analíticos do carbono total, carbono humificado e carbono particulado | 30 |
| Quadro 4.6 - Resultados analíticos do complexo de troca..... | 30 |
| Quadro 4.7 - Resultados analíticos do azoto total e da razão C/N..... | 31 |
| Quadro 4.8 - Resultados analíticos dos parâmetros químicos relativos à fertilidade do solo | 31 |
| Quadro 4.9 - Constantes de humidade e condutividade elétrica | 32 |
| Quadro 4.10 – Resultados analíticos do rendimento da produção..... | 32 |
| Quadro 4.11 - Informação geral do caso de estudo nº2 | 35 |
| Quadro 4.12 - Granulometria e elementos grosseiros..... | 36 |
| Quadro 4.13 - Caracterização química do solo antes da instalação do ensaio | 36 |
| Quadro 4.14 - Resultados analíticos do carbono total | 38 |
| Quadro 4.15 - Resultados analíticos do carbono total, carbono humificado e carbono particulado | 39 |
| Quadro 4.16 - Resultados analíticos do azoto total, razão C/N e pH..... | 40 |
| Quadro 4.17 - Resultados analíticos do fósforo, potássio, cálcio, magnésio e ferro livre | 40 |
| Quadro 4.18 - Resultados analíticos do complexo de troca..... | 41 |
| Quadro 4.19 - Resultados analíticos das constantes de humidade a 15 e 1/3 atm e da condutividade elétrica | 42 |
| Quadro 4.20 - Resultados analíticos dos metais pesados..... | 42 |
| Quadro 4.21 - Medições biométricas..... | 43 |
| Quadro 4.22 - Informação geral do caso de estudo nº3 | 45 |
| Quadro 4.23 - Granulometria e elementos grosseiros..... | 46 |
| Quadro 4.24 - Resultados analíticos do carbono total | 47 |
| Quadro 4.25 - Resultados analíticos do carbono total, carbono humificado e carbono particulado | 48 |
| Quadro 4.26 - Resultados analíticos do complexo de trocas | 49 |
| Quadro 4.27 - Resultados analíticos do azoto total, razão C/N, pH e fósforo. | 49 |
| Quadro 4.28 - Resultados analíticos do potássio, cálcio, magnésio e ferro livre | 49 |
| Quadro 4.29 - Resultados das constantes de humidade e condutividade elétrica | 50 |
| Quadro 4.30 - Medições biométricas..... | 50 |

| | |
|---|----|
| Quadro 4.31 - Informação geral do caso de estudo nº4 | 52 |
| Quadro 4.32 - Granulometria e elementos grosseiros..... | 52 |
| Quadro 4.33 - Resultados analíticos do carbono total | 54 |
| Quadro 4.34 - Resultados analíticos do carbono total, carbono humificado e carbono particulado | 55 |
| Quadro 4.35 - Resultados analíticos do complexo de troca e bases de troca..... | 55 |
| Quadro 4.36 - Resultados analíticos do azoto total e do pH..... | 56 |
| Quadro 4.37 - Resultados analíticos do fósforo, potássio, cálcio, magnésio e ferro livre | 56 |
| Quadro 4.38 - Constantes de humidade e condutividade elétrica..... | 57 |
| Quadro 4.39 – Informação geral do caso de estudo nº5 | 58 |
| Quadro 4.40 - Granulometria e elementos grosseiros..... | 59 |
| Quadro 4.41 - Perfil cultural do 1º ciclo..... | 59 |
| Quadro 4.42 - Perfil cultural do 2º ciclo..... | 59 |
| Quadro 4.43 - Perfil cultural do 3º ciclo..... | 60 |
| Quadro 4.44 - Resultados analíticos do carbono total (jul 2015) | 61 |
| Quadro 4.45 - Resultados analíticos do carbono total (set 2016 e jan 2018)..... | 62 |
| Quadro 4.46 - Resultados analíticos do carbono total via húmida, carbono humificado e carbono particulado ... | 62 |
| Quadro 4.47 - Resultados analíticos do complexo de troca e bases de troca..... | 63 |
| Quadro 4.48 - Resultados das constantes de humidade e da condutividade elétrica | 63 |
| Quadro 4.49 - Resultados analíticos do azoto total e razão C/N | 64 |
| Quadro 4.50 - Resultados analíticos do pH, fósforo, potássio, cálcio e magnésio (jul 2015)..... | 64 |
| Quadro 4.51- Resultados analíticos do pH, fósforo, potássio, cálcio e magnésio (set 2016) | 65 |
| Quadro 4.52 - Resultados analíticos do pH, fósforo, potássio, cálcio e magnésio (jan 2018)..... | 65 |
| Quadro 4.53 - Resultados do rendimento nos 3 ciclos culturais | 66 |
| Quadro 4.54 - Informação geral do caso de estudo nº6 | 68 |
| Quadro 4.55 - Granulometria | 68 |
| Quadro 4.56 - Perfil cultural do 1º ciclo..... | 69 |
| Quadro 4.57 - Perfil cultural do 2º ciclo..... | 69 |
| Quadro 4.58 – Resultados analíticos da componente química do solo..... | 71 |
| Quadro 4.59 - Resultados analíticos do carbono total | 72 |
| Quadro 4.60 - Resultados analíticos do carbono total, carbono humificado e carbono particulado (dez 2015).... | 72 |
| Quadro 4.61 - Resultados analíticos do carbono total, carbono humificado e carbono particulado (set 2017) | 73 |
| Quadro 4.62 - Resultados analíticos do complexo de troca e das bases de troca (dez 2015) | 73 |
| Quadro 4.63 - Resultados analíticos do complexo de troca e das bases de troca (set 2017) | 74 |
| Quadro 4.64 - Resultados analíticos do azoto total e da razão C/N (dez 2015)..... | 74 |
| Quadro 4.65 - Resultados analíticos do azoto total e da razão C/N (set 2017)..... | 75 |
| Quadro 4.66 – Resultados analíticos do pH, fósforo, potássio, cálcio e magnésio (dez 2015)..... | 75 |
| Quadro 4.67 - Resultados analíticos do pH, fósforo, potássio, cálcio e magnésio (set 2017) | 76 |
| Quadro 4.68 - Resultados analíticos do CaCO ₃ nas amostras T + Corbigran..... | 77 |
| Quadro 4.69 - Resultados analíticos das constantes de humidade e condutividade elétrica..... | 77 |
| Quadro 4.70 - Resultados do rendimento do 1º ciclo e 2º ciclo..... | 77 |

ABREVIATURAS E SIMBOLOGIA

Abreviaturas:

A_u- água utilizável
CE- condutividade elétrica
Ch- carbono humificado
Cp- carbono particulado
Ct- carbono orgânico total
EG- elementos grosseiros
GEE- gases de efeito de estufa
H_{1/3}- constante de humidade a 1/3 atm
H₁₅- constante de humidade a 15 atm
HC- horizonte cultural
LVT- lenha verde triturada
MO- matéria orgânica
MPB- modo de produção biológica
Nt- azoto total
NP – azoto e fósforo
NPK – azoto, fósforo e potássio
PEGRA- Plano Estratégico da Gestão de Resíduos dos Açores
PEPGRA- Plano Estratégico de Prevenção e Gestão de Resíduos dos Açores
PERSU- Planeamento Estratégico para os Resíduos Urbanos
RAA- Região Autónoma dos Açores
RSUB- Resíduos sólidos urbanos biodegradáveis
SO- substrato orgânico SO-MUSAMI
SOac- SO acidificado
SOalc- SO alcalino
T- tratamento de referência (testemunha)
Tc- terra crivada
Tg- terra grosseira
TMB- tratamento mecânico biológico
TVA- taxa de variação anual
TVA_n- taxa de variação anual negativa

Simbologia:

μ- média aritmética
Ø- diâmetro
ρ- massa volúmica
σ- desvio padrão
C- carbono
Ca- cálcio
C_v- coeficiente de variação
Fe- ferro
K- potássio
Mg- magnésio
N- azoto
Na- sódio
Ni- níquel
P- fósforo
p- profundidade
Pb- chumbo
S- enxofre
V- grau de saturação de bases
v- volume
Zn- zinco

1 INTRODUÇÃO

A produção de resíduos é uma consequência inevitável do uso de recursos nas atividades socioeconômicas correntes. A gestão e mobilização destes resíduos têm por vezes o efeito adverso de causar impactos ambientais de diversas magnitudes e significâncias. Com o aumento do interesse e preocupação acerca do papel que os resíduos desempenham na nossa sociedade e ecossistema, a gestão e prevenção destes passou a ser um dos sectores mais importantes e relevantes sobre onde intervir na União Europeia (UE), o que resultou num rápido desenvolvimento relativamente às suas normas, regulamentos e prioridades. Com a entrada em vigor da Diretiva 2008/98/CE, diretiva esta que estabelece o enquadramento legal para o tratamento dos resíduos na UE, preconizou-se uma mudança do paradigma atual em matéria de resíduos, interligando a prevenção e gestão de resíduos por forma a continuar o ciclo de vida dos materiais, sendo este um passo essencial para devolver materiais e energia úteis à economia e sociedade (Anexo A-Legislação).

Em 2017, cerca de 4,8 milhões de toneladas de resíduos urbanos foram produzidos em Portugal, equivalente a um incremento de 3% em comparação com o ano anterior. Apesar de ter ocorrido um decréscimo acentuado da quantidade de resíduos sólidos urbanos (RSU) depositados em aterro desde 1995, o incremento da produção de RSU dificulta o cumprimento das metas estabelecidas pelo Plano Estratégico para os Resíduos Urbanos (PERSU) a atingir até 2020, sendo uma daquelas a redução da deposição de resíduos sólidos urbanos biodegradáveis (RSUB) em aterro. Esta deposição deve ser reduzida para 35% da quantidade total, em peso, dos RSUB produzidos em 1995 (Fernandes et al, 2018).

Uma das formas de reduzir a deposição de RSUB em aterro consiste no aumento e otimização de unidades de tratamentos mecânico biológico (TMB) *. Os TMB são métodos de tratamento de resíduos que fazem uso da combinação de processos de trituração/crивagem com métodos biológicos, como a digestão aeróbia e a digestão anaeróbia. A compostagem em pilha a céu descoberto é um dos métodos de digestão aeróbia mais conhecido e praticado.

A valorização de resíduos orgânicos biodegradáveis permite o desenvolvimento de produtos denominados de substratos ou compostos orgânicos, ambos ricos em carbono e nutrientes, estáveis, higienizados e sem substâncias fitotóxicas ou inertes prejudiciais às plantas e ao ambiente. Muitos destes produtos são utilizados, mas sujeitos a limitações e/ou recomendações específicas, no setor agrícola como corretivo orgânico e/ou fertilizante do solo.

*Processo diretamente associado à recuperação dos resíduos sólidos urbanos

A agricultura moderna não dispensa o uso de fertilizantes, e com o crescimento da população mundial e estado económico atual, a tendência será para aumentar (Santos, 2001). O uso excessivo de fertilizantes minerais tem vindo a ser um ponto de discussão e de estudo, devido aos seus efeitos e impactes no meio ambiente, sendo as suas consequências sentidas em várias vertentes da sustentabilidade ambiental, tais como na qualidade dos solos, no contributo de gases de efeito de estufa (GEE) e na poluição de águas superficiais e aquíferos. Adicionalmente, com a evolução crescente das normas de segurança alimentar e do interesse exponencial da população na alimentação saudável, a produção em modo biológico (MPB) tem vindo a ser mais procurada e exigida e o recurso a fertilizações minerais excessivas posto em causa. O uso de substratos ou compostos orgânicos não apenas constitui uma alternativa ao uso de fertilizantes minerais na agricultura, como reforça as condições de sustentabilidade e de qualidade dos solos, constituindo um incentivo à valorização dos resíduos por TMB.

Os substratos orgânicos distinguem-se dos compostos orgânicos pela maior riqueza destes em carbono e nutrientes. Ambos se enquadram na classificação de produtos melhoradores das características físicas, químicas, e biológicas do solo (Senesi, 1989). A adição de compostos/substratos orgânicos proporciona ao solo uma maior estabilidade estrutural, maior capacidade de retenção de água e de nutrientes. A decomposição lenta dos produtos orgânicos proporciona uma libertação lenta dos nutrientes, com maior eficiência na assimilação destes pela rizosfera das plantas e menores perdas por lixiviação pelas águas de drenagem. Estas são características distintas dos fertilizantes minerais, os quais uma vez adicionados ao solo libertam nutrientes em função do seu grau de solubilidade na água. Atualmente, o mercado dos fertilizantes apresenta uma vasta gama de adubos de libertação lenta.

Apesar dos seus efeitos benéficos, os produtos criados pelos TMB, nomeadamente por compostagem, não são isentos de potencializarem possíveis impactes ambientais negativos. A sua aplicação indiscriminada pode ser a causa de numerosos problemas, tais como o excesso de salinidade, organismos fitotóxicos ou contaminação por metais pesados. Estes impactes devem ser evitados através de uma recolha seletiva dos resíduos que elimine ao máximo os resíduos indesejados, tais como materiais inorgânicos e inertes (plásticos, materiais ferrosos, pedras, etc.), e de um processo de compostagem eficiente e monitorizado de forma a criar um composto apropriado às especificidades de cada situação para as quais este seja recomendado (Brito, 2017).

Com o propósito de promover a valorização de resíduos orgânicos biodegradáveis, a MUSAMI – Operações Municipais do Ambiente, EIM deu início em 2011 à recolha de resíduos verdes (produtos provenientes da jardinagem e de colheitas agrícolas), os quais são submetidos ao processo da compostagem em pilha a céu descoberto. A produção anual é de aproximadamente de 3500t de substrato orgânico. A MUSAMI produz e comercializa o

substrato orgânico designado por SO-MUSAMI (SO), o qual está certificado pela SATIVA para MPB.

No âmbito do projeto BIOVALOR, da responsabilidade da MUSAMI com a cooperação do INOVA, no período de 2015 a 2018, foram desenvolvidos ensaios de campo e em estufa.

O autor foi integrado na equipa técnica responsável pelos trabalhos de campo, no período de setembro de 2017 a agosto de 2018, tendo assumiu autonomamente o programa do enriquecimento em carbono e nutrientes do solo e da TVA. Para enquadramento do tema da dissertação fez uso limitado de dados biométricos e de produção anteriores ao período de estudo.

O relatório "*Avaliação do potencial produtivo do composto orgânico SO-MUSAMI nas fileiras da horticultura, fruticultura, floricultura e agricultura*" (Pacheco e Teixeira, 2016) engloba muita da informação sobre o planeamento e descrição das metodologias de cada estudo de caso, bem como dos resultados dos casos de estudo registados até setembro de 2017, mas é omissos quanto a enriquecimento do solo em carbono, nutrientes e TVA da MO.

Foram selecionados os casos de estudo abaixo indicados, com o objetivo de avaliar a taxa de decomposição e do enriquecimento do SO-MUSAMI no solo, bem como a sua eficácia no rendimento nas culturas ao ar livre e em estufa:

1. Culturas ao ar livre
 - a. Bananeiras
 - b. Maracujazeiro
 - c. Azevém e milho forrageiro
2. Culturas em estufa
 - a. Ananaseiro

Os casos de estudo representam culturas de valor acrescentado elevado e de grande impacto económico na economia da ilha de São Miguel, logo com capacidade para suportarem custos acrescidos com o uso do SO. Todos os casos de estudo têm em comum a aplicação de doses muito elevadas de SO por metro quadrado de terreno, mas aquelas diferentes entre si e também quanto ao modo de incorporação no solo.

Na presente dissertação, são avaliados os seis casos de estudo mais recentes, sendo o foco colocado na variação temporal do carbono e da permanência do SO no solo. O comportamento das plantas, quanto ao desenvolvimento e produção, também é avaliado, mas neste trabalho só serão referidos os resultados que atestam a eficácia do SO quando

comparado com os tratamentos de referência (testemunha). Os impactos positivos sobre o ambiente são avaliados de modo indireto e por analogia com situações do domínio científico.

A presente dissertação está estruturada do seguinte modo: no capítulo 1 a introdução; no capítulo 2 o estado do conhecimento; no capítulo 3 o material e métodos comuns a todos os ensaios; no capítulo 4 os casos de estudo desenvolvidos; e no capítulo 5 as conclusões.

Com os estudos realizados e apresentados no âmbito da presente tese, procura-se resposta para as seguintes questões sobre o SO:

- Qual o enriquecimento em carbono do solo atribuído ao SO incorporado;
- Qual o impacto da aplicação do SO na mitigação de riscos ambientais associados à lixiviação do azoto;
- Qual a eficácia comparativa do SO no rendimento das culturas;

2 ESTADO DO CONHECIMENTO

2.1 Enquadramento Geral

Segundo Brito (2017), a composição dos substratos e/ou dos compostos orgânicos varia com a origem dos resíduos a valorizar, com os processos de higienização, de maturação e de afinamento final do produto. Da riqueza em carbono, mas não só, depende a distinção entre substratos e compostos orgânicos. Estes últimos devem apresentar pelo menos 30% de matéria orgânica (MO).

O vazio legal sobre a caracterização dos substratos permite aos produtores que usem esta designação poderem produzir e comercializar tais produtos sob a responsabilidade dos próprios.

O comportamento das plantas, nos estados de germinação, desenvolvimento vegetativo e reprodutivo, são os indicadores que definem a maior ou menor aptidão dos substratos para incorporação no solo em situação extrema ou em combinação com outros produtos.

A classificação dos substratos quanto aos teores em metais pesados pode limitar a sua aplicação a determinadas fileiras da produção vegetal e condicionar os quantitativos a aplicar às características do solo, nomeadamente quanto ao pH e capacidade de troca catiónica (CTC).

As ações melhoradoras dos substratos nos solos podem ser analisadas nos aspetos físicos, por exemplo: aumento da porosidade do solo; químicos, por exemplo: aumento na disponibilidade em macro e micronutrientes; e biológicas, por exemplo: na maior ou menor presença de anélídeos ou de fungos filamentosos. Algumas destas variáveis podem ser avaliadas morfológicamente e, por conseguinte, de modo qualitativo.

A decomposição da matéria orgânica do solo, levada a cabo por uma miríade de microrganismos, essencialmente bactérias e fungos, envolve os processos da mineralização e da humificação, processos esses que decorrem em simultâneo e a taxas dependentes da humidade, temperatura e arejamento do solo. A mineralização é um processo dito destrutivo, o qual decompõe as moléculas orgânicas libertando CO₂ e vapor de água para a atmosfera, e elementos minerais para a solução do solo. A humificação, processo dito conservativo, produz novas moléculas orgânicas de síntese ou moléculas de maior peso molecular, designados por húmus, o qual apresenta eletronegatividade e maior resistência à degradação microbiana (Costa, 1995, pp. 109-186).

2.2 Valorização de Resíduos

Uma das formas de valorização de resíduos é através do processo da compostagem, onde os resíduos biodegradáveis, após triagem e trituração mecânica, são encaminhados para a estação de formação das pilhas de compostagem. O processo da compostagem, muito dependente dos processos de humedecimento e de reviramento mecânico das pilhas, dura 6 a 8 meses, sendo depois o produto afinado por crivação. Trata-se de um processo biológico em que os microrganismos transformam a matéria biodegradável num produto estável, higienizado, inodoro e rico em MO, o qual enriquece o solo sob múltiplos aspetos, sem riscos para o meio animal e ambiental (Brito, 2017).

A compostagem, a céu descoberto e em meio aeróbio, reduz a massa inicial de resíduos biodegradáveis em cerca de 50%, libertando para a atmosfera dióxido de carbono (CO₂) e vapor de água (H₂O), entre outros gases, e transforma aqueles em produtos apropriados para inserção nos ciclos ecológicos. Se o meio transita de aeróbio para anaeróbio, o produto perde qualidade, podendo mesmo tornar-se fitotóxico, e aumenta a produção de gases com o efeito de estufa (NO_x, CH₄, etc.).

2.3 Funções e Riscos dos Solos Agrícolas

O solo é parte do ecossistema global e os solos agrícolas são a parte mais vulnerável daquele. As funções e riscos de degradação são vários. A incorporação de substratos e/ou compostos orgânicos ao solo têm uma função melhoradora das características físicas, químicas e biológicas do solo.

2.3.1 Funções de Regulação do Ecossistema

Segundo Wild (1993), o solo, corpo poroso, vivo e dinâmico, composto por matéria mineral e orgânica, desempenha múltiplas funções de regulação do ecossistema global, nomeadamente:

- Acumulador de carbono e regulador dos gases com efeito de estufa (CO₂, CO, NO_x);
- Regulador do ciclo hidrológico em geral e filtrador das massas de água que atingem os aquíferos subterrâneos e as albufeiras;
- Fornecedor de alimentos para a alimentação animal e humana e de matérias-primas para a indústria;
- Suporte e fornecedor de água e nutrientes às plantas que compõem o ecossistema vegetal.

Estas funções podem ser estabilizadas e/ou melhoradas com a incorporação de compostos orgânicos no solo.

2.3.2 Riscos dos Solos Agrícolas

A superfície agrícola útil (SAU) tem vindo a regredir, a nível nacional, de modo muito acelerado, pondo em risco as múltiplas funções desempenhadas pelo solo (Gabinete de Planeamento, 2016).

Os principais riscos dos solos agrícolas são:

1. Perdas por erosão hídrica e eólica;
2. Compactação, por excesso de mecanização ou de carga animal;
3. Salinização ou acidificação devido à intensificação da atividade agrícola com recurso a rega e a adubos, alguns dos quais com elevado poder acidificante;
4. Excesso de mobilizações que aceleram a decomposição da MO, aumentam os riscos por erosão hídrica e eólica e o decréscimo progressivo da capacidade produtiva dos solos;
5. Excesso de fertilização mineral, nomeadamente a azotada e fosfatada, com o conseqüente acréscimo dos riscos de eutrofização.

Todos esses riscos são agravados com a perda de MO dos solos. Para a sustentabilidade do ecossistema global e do solo, i.e., apresentarem elevada capacidade produtiva durante muitos e muitos anos, é fundamental manter os teores em MO dos solos elevado e optar por sistemas de agricultura conservativos.

2.3.3 Importância da Matéria Orgânica do Solo

A componente orgânica do solo é um fator fundamental no desenvolvimento das funções ecológicas do solo, na sua estabilidade e resistência face a impactes, na sua fertilidade e produtividade. Estes aspetos potenciam-se com a manutenção dos níveis adequados do carbono orgânico, que exerce um influência positiva nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. A adição de substratos e corretivos orgânicos ao solo é considerada uma boa prática para a manutenção e recuperação da fertilidade do solo.

No diagnóstico da fertilidade do solo, i.e., da sua capacidade produtiva, a MO é um indicador relevante, a par do teor e natureza da fração argilosa do solo. A MO, em sentido lato, está ligada e envolvida pela fração argilosa do solo, a qual protege aquela da ação decompositora dos microrganismos (Wild, 1993).

A adição de MO, segundo Sánchez & Delgado (2007), apresenta uma série de efeitos benéficos para o solo, tais como: o aumento da porosidade e da resistência à compactação, facilitando o crescimento do sistema radicular; a melhoria da estabilidade da estrutura, esta resistindo melhor à ação dispersiva da chuva; o aumento da taxa de infiltração, da capacidade

de retenção de água, e de filtração, mitigando o efeito da escorrência de águas superficiais; o aumento da capacidade de troca catiônica (CTC) e da retenção de iões, disponibilizando-os de forma progressiva para a solução do solo, mitigando a lixiviação e aumentando a disponibilidade nutricional para as plantas; a fixação de forma irreversível dos metais pesados, evitando a contaminação dos solos; o aumento da biodiversidade, e assim o equilíbrio ecológico.

Os equilíbrios orgânicos nos solos estão diretamente relacionados com os sistemas agrícolas, os quais podem classificar-se em conservativos e regressivos, no respeitante à conservação ou destruição da MO. As técnicas culturais que recorrem com frequência à mobilização do solo aceleram a destruição da MO; as que reduzem as mobilizações e mantêm o solo coberto da ação dispersiva das chuvas contribuem para o aumento da MO. Nos sistemas culturais atuais a dinâmica de MO é função de múltiplos fatores, nomeadamente, do clima e da rega, do tipo de solo, do tipo de cultura e das práticas culturais, do relevo e da combinação clima/solo/relevo/culturas quanto ao volume das águas de escorrência. A erosão hídrica é o principal mecanismo de perda de MO do solo em agricultura intensiva (Martins & Fernandes, 2017; Clark et al., 1998).

2.4 Riscos Ambientais e Fertilização Orgânica vs. Fertilização Mineral

No contexto da agricultura moderna, a sustentabilidade da capacidade produtiva dos solos depende dos índices de fertilização orgânica e/ou mineral aplicados. São várias as vantagens e desvantagens de ambos os métodos quanto aos riscos ambientais, satisfação nutricional das plantas e sustentabilidade da qualidade dos solos.

A fertilização mineral comporta diferentes tipos de adubos, classificados quanto ao número de macronutrientes que aportam, grau de solubilidade na presença de água ou de outros solventes ou degradação por via térmica. Os adubos mais comuns são de libertação rápida, mas também existem adubos de libertação lenta.

À solubilidade rápida dos adubos na presença de água, estão associados os seguintes riscos ambientais: elevada lixiviação de azoto nítrico, com contaminação de aquíferos subterrâneos e de águas superficiais; arrastamento do fósforo peliculado por erosão hídrica, com a consequente eutrofização de albufeiras.

A fertilização orgânica realizada pela incorporação no solo de substratos, compostos, ou mesmo adubos orgânicos apresenta vantagens ambientais na medida em que: elevam os teores em MO dos solos, com todas as consequências positivas que daí decorrem para a qualidade

destes; são de libertação lenta, mas progressiva, disponibilizando os nutrientes necessários ao desenvolvimento das plantas e mitigando a lixiviação e outros riscos ambientais.

As especificações dos compostos, substratos orgânicos e adubos orgânicos regem-se pelas orientações estipuladas em normas referenciadas no Anexo A.

As vantagens e inconvenientes do uso de fertilizantes orgânicos ou minerais podem ser sintetizadas no Quadro 2.1.

Quadro 2.1- Vantagens e desvantagens do uso de fertilizantes orgânicos e minerais

| | Fertilizantes orgânicos | Fertilizantes minerais |
|---------------------|---|--|
| Vantagens | <ul style="list-style-type: none"> • Melhora as características físicas (porosidade e estabilidade da estrutura e CTC) e químicas (pH, bases de troca, teor em macronutrientes NPK, Ca, Mg e S, e micronutrientes) do solo; • Mineralização lenta, com disponibilização gradual dos nutrientes; • Restauro e aumento da biodiversidade; • São biodegradáveis e ambientalmente sustentáveis e renováveis; • É permitido no MPB. | <ul style="list-style-type: none"> • Disponibilização rápida de nutrientes; • Cálculo mais exato das quantidades de adubo a aplicar, face às necessidades nutricionais das plantas; • Menores custos na aquisição e na distribuição. |
| Desvantagens | <ul style="list-style-type: none"> • Geralmente pobres em NP; • Escassez em nutrientes nos momentos críticos do crescimento das plantas; • Incerteza elevada quanto às taxas de decomposição da MO, porque dependente das condições de humidade e temperatura, entre outras; • Custos de transporte e aplicação elevados. | <ul style="list-style-type: none"> • Frequente uso de fertilização excessiva afeta planta e ecossistema; • Aumento do processo de lixiviação dos nutrientes; • Acidificação ou salinização do solo; • Contaminação dos lençóis da água subterrâneos; • Emissões de GEE. |

Fontes: Carpenter-Boggs et al. (2000); Snyder et al. (2009); Lourecentii et al. (2015); Day (2015); e TaskEasy (2015).

2.5 Balanço do Carbono no Solo

O teor em MO é igual ao produto do teor em C pelo fator 1,72. O carbono total (Ct) pode ser dividido em carbono humificado (Ch) e carbono particulado (Cp), isto quanto à avaliação agronômica de um solo. Se se tratar de interpretação pedogenética, o húmus pode ser dividido noutras frações. A fração Ch fortalece as ligações com a argila, a estrutura do solo em sentido lato, e aumenta a CTC dos solos. A fração do Cp favorece a porosidade, a drenagem e a decomposição microbiana (Costa, 1995, pp. 189-186).

A bibliografia científica faz referência a diversos modelos para a determinação da dinâmica do carbono do solo, como por exemplo o modelo Century (Parton et al., 1987) que simula a dinâmica do carbono, nitrogénio e fósforo para diferentes sistemas de planta, ou o modelo RothC (Jenkinson, 1990), que simula a dinâmica do carbono em solos não saturados. Aqueles modelos requerem a quantificação de variáveis meteorológicas, fenológicas, químicas, físicas, etc., sendo por isso modelos complexos e pesados.

No âmbito da presente dissertação, julgou-se adequado aos objetivos o modelo de Hénin & Dupuis (1945), o qual permite avaliar a velocidade da decomposição da MO do solo através do balanço do carbono no solo. O cálculo da variação temporal do carbono faz-se do seguinte modo:

$$(C_{n+1}-C_n) \{ \text{Balanço} \} = (K_1 \times m_n) \{ \text{Entradas} \} - (K_2 \times C_n) \{ \text{Saídas} \}$$

Onde:

m_n – massa expressa em C das entradas (raízes, folhas, estrumação orgânica) no ano n;

K_1 – coeficiente isohúmico da transformação do carbono das entradas em carbono do solo;

K_2 - coeficiente de mineralização do carbono do solo

Trata-se de um modelo preditivo de apoio à decisão agronômica. Utilizou-se este modelo para o cálculo da taxa de variação anual do carbono no solo (TVA).

A variação temporal do carbono no solo indica de modo direto os ganhos ou perdas em carbono, e de modo indireto, conhecendo a composição elementar dos compostos orgânicos, informa sobre os quantitativos em nutrientes libertados no intervalo de tempo considerado.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Meio Edafológico e Culturas

O clima, o solo e as técnicas culturais são todos fatores que interferem com a taxa de decomposição da MO por ação microbiana e, conseqüentemente, com a produtividade das culturas. Na ausência de regadio, o comportamento das culturas ao ar livre está muito dependente da distribuição regular das chuvas ao longo do ciclo cultural.

3.1.1 Clima

O clima temperado marítimo da ilha de S. Miguel, arquipélago dos Açores, caracteriza-se por apresentar um regime chuvoso no período outono-inverno e ligeiro déficit hídrico nos meses de verão. O recurso à rega é pouco frequente, exceto nas culturas protegidas (estufas).

3.1.2 Solos

Os solos utilizados nas fileiras hortofrutícolas são em geral delgados e pedregosos, medianamente providos de MO, de infiltração rápida e muito permeáveis. Os substratos orgânicos utilizados na cultura do ananás em estufa são muito ricos em carbono e nutrientes.

3.1.3 Culturas

Culturas hortícolas em regime de sequeiro, como a bananeira e o maracujazeiro, sofrem de carência hídrica forte nos meses de agosto a setembro, a qual afeta negativamente a produtividade. Ventos fortes e temperaturas médias baixas no período outono-inverno limitam o crescimento. Este é muito ativo nos meses de abril a junho, em regime de sequeiro, ou de abril a setembro, em regime regadio. Em solos pouco profundos, a produtividade de culturas forrageiras como o milho estão muito dependentes da frequência de chuvas efetivas no período de primavera-verão.

A sementeira das culturas forrageiras, como o milho, ou a plantação de frutícolas, bananeiras e maracujá, realizam-se durante o mês de abril, este com temperaturas médias diárias e noturnas mais adequadas àquelas culturas e com adequado conforto hídrico.

A cultura do ananaseiro em estufa sofre de baixas temperaturas médias diurnas e noturnas de outubro a finais de março, as quais paralisam o crescimento vegetativo. Nos meses de verão, temperaturas muito elevadas no interior das estufas, isto no caso de deficiente ensombramento e/ou arejamento, pode causar a queima das folhas e frutos.

A produtividade da cultura do ananás depende de muitos fatores, nomeadamente: da duração e intensidade da radiação solar, das temperaturas médias diurnas e noturnas, do ambiente físico, nutricional e biológico proporcionado pelos substratos orgânicos e pela condução cultural.

3.2 Substrato Orgânico SO-MUSAMI

O substrato orgânico SO-MUSAMI (SO) é um produto higienizado e amadurecido por compostagem a partir de resíduos verdes biodegradáveis. É rico em matéria orgânica e outros compostos orgânicos promotores do enraizamento das plantas, nutrientes e microrganismos (bactérias e fungos) promotores da síntese do azoto e do fósforo (Cruz, 2013). O SO é recomendado para a produção intensiva em hortofrutifloricultura em estufa e ao ar livre. A caracterização do SO é apresentada no Anexo B.

Em todos os casos de estudo, os quantitativos de SO variaram entre os 20 a 100 kg de SO/m², muito altos para o que é usual. Estes quantitativos só são possíveis porque o SO doseia apenas cerca de 30 a 35% de MO, valores esses resultantes da matéria mineral que vem associada aos resíduos agrícolas (folhagem, ramos, troncos de árvores, etc.), do processo da compostagem que reduz a massa inicial de resíduos a cerca de metade, provocando uma forte redução na MO inicial e também porque esta é doseada sobre material seco a 105°C.

As técnicas de incorporação do SO no solo dividem-se entre mecânicas e manuais. A utilização de uma ou outra daquelas técnicas depende do tipo de exploração agrícola, acesso de maquinaria agrícola, das culturas a instalar ou já instaladas, disponibilidade ou custo da mão-de-obra local. Os modos de enterramento variaram desde o uso de meios como a charrua e/ou fresa, à vala, à cova e sobre a superfície do solo.

Localmente os melhores períodos para aplicar o SO são setembro-outubro e março-abril, períodos de tempo designados por períodos de sação.

Falando de plantações à cova ou à vala, exemplo bananeira ou maracujá, a recomendação é que o volume daquelas seja preenchido com SO à mistura com terra, se possível até à proporção de 50/50, em v/v. A incorporação do SO deve ser precedida de cerca de 1 mês antes da plantação definitiva, intervalo este necessário para se atingir o equilíbrio biológico do solo e não se dar o caso de haver rarefação do N e P no meio por imobilização biológica, o que afetaria o desenvolvimento radicular das plantas.

No caso da cultura do ananás, o pressuposto da antecedência da aplicação do SO não é relevante, porque o ananaseiro, plantado do modo tradicional, precisa de 1 a 2 meses para enraizar, processando-se o desenvolvimento deste nos meses subsequentes.

No caso da adição do SO em culturas já instaladas, como bananeira (a longevidade dos bananais locais vão muito para além dos 20-30 anos sem renovação), a adição deve fazer-se na linha e na entrelinha de plantação com incorporação do SO nesta com motocultivador ou sacha superficial.

3.3 Delineamento Experimental e Amostragem do Solo

Todos os ensaios obedeceram a um delineamento experimental adequado a cada tipo de cultura, ajustado às condições dos produtores e adequado ao tratamento estatístico.

Para efeitos de amostragens dos solos, visando o cálculo do carbono orgânico e outros parâmetros químicos e físicos, a metodologia utilizada teve como base principal a identificação dos horizontes culturais do solo e a recolha de amostras na ou nas espessuras afetadas pela incorporação do SO.

A recolha de amostras de solos, para fins analíticos, obedece a alguns princípios gerais, que abaixo são referidos:

1. Independência estatística dos pontos de colheita. Na prática fixamos uma distância entre pontos próximos (5 a 10 m);
2. Formação da amostra composta, constituída por 3 ou mais amostras singulares, após a reunião do material de vários pontos próximos num balde de plástico, mistura, e colheita de subamostra representativa.

Após colheita, as amostras são secas ao ar, protegidas da incidência dos raios solares e contaminações locais, crivadas, seguido do envio da terra fina para laboratório. Em todas as amostras selecionadas é quantificado o seu teor em carbono total (Ct) pelo método combustão por via seca (calcinação). Os parâmetros físicos e químicos analisados foram os seguintes:

Carbono total (Ct) expresso em g/kg, carbono humificado (Ch) e carbono particulado (Cp) expressos em g/kg e %, azoto total (Nt) expresso em g/kg, fósforo (P_2O_5) expresso em mg/kg, potássio (K_2O) expresso em mg/kg, magnésio (MgO) expresso em mg/kg, cálcio (CaO) expresso em mg/kg, ferro livre (Fe) expresso em g/kg, capacidade de troca catiónica (CTC) e bases de troca (BT) expressos em $cmol_c/kg$, constantes de humidade a 15 e 1/3 atm (H_{15} e $H_{1/3}$) expresso em % de água m/m, condutividade elétrica (CE) expresso em dS/m e granulometria expresso em %.

As metodologias laboratoriais aplicadas são as correntes nos laboratórios oficiais, as quais são apresentadas no Anexo C.

3.4 Taxa de Variação Anual do Carbono

Como o parâmetro químico principal do trabalho é o carbono, este envolveu um grande número de amostras, tendo sido utilizado o processo da combustão por via seca, o qual não é todavia o mais preciso, mas é o mais económico. Para obviar esta imprecisão, procedeu-se à determinação do carbono por via húmida (método da oxidação da MO pelo dicromato de potássio) num reduzido número de amostras médias. Estabelecida a correlação estatística dos valores pelo método da combustão por via seca com os valores obtidos pela via húmida, e sempre que esta foi significativa, transformou-se os valores por combustão por via seca em valores de carbono por via húmida, e é com estes últimos que os quadros são elaborados e sobre os quais recaiu a análise dos resultados.

Sempre que não se realizaram amostragens do solo após instalação, mas dispõe-se dos volumes dos materiais terrosos e orgânicos utilizados na mistura que compõe as diferentes camadas do perfil cultural do solo, procedeu-se ao cálculo teórico do carbono incorporado, partindo de premissas inerentes à composição do SO e à massa volúmica do solo mais provável. Os pressupostos e a metodologia de cálculo seguida foi a seguinte:

- SO-MUSAMI doseia 30% de MO e contém 45% de humidade;
- Massa volúmica do solo em função da classe textural, pedregosidade e trabalho do solo;
- Conversão do teor em MO em C equivalente ($\%MO/1,72 = \%C$).

Exemplo de cálculo:

Considerando uma incorporação de 20 kg/m^2 de SO, num solo com $\rho = 1300 \text{ kg/m}^3$ e espessura de $0,1\text{m}$, são descritos abaixo as etapas de cálculo:

$$20 \text{ kg de SO} \times 55\% / 100 = 11 \text{ kg de SO seco};$$

$$30\% \text{ MO} / 1,72 = 17,64\% \text{ C} = 176,4 \text{ g de C por kg de solo.}$$

$$11 \text{ Kg de SO seco} \times 176,4 \text{ g/kg} = 1,941 \text{ kg de C};$$

$$V_{\text{solo}} = 1 \text{ m}^2 \times 0,1 \text{ m} = 0,1 \text{ m}^3$$

$$M_{\text{solo}} = 0,1 \text{ m}^3 \times 1300 \text{ kg/m}^3 = 130 \text{ kg de solo seco};$$

$$1,941 \text{ kg de C} / 130 \text{ kg de solo seco} = 0,0149 \text{ kg de C} / \text{kg de solo}$$

$$= 14,93 \text{ g de C / kg de solo}$$

No estudo da variação temporal do C no solo, utiliza-se os pressupostos abaixo:

- Teor em MO do solo antes da adição do SO;
- Quantidade de C incorporado no solo pela adição do SO;
- Variação de C do solo no intervalo de tempo n;
- Sempre que a variação de C no intervalo n é positiva, fala-se de acréscimo, e considera-se o sistema agrícola conservativo;
- Sempre que a variação de C no intervalo n é negativa, fala-se de taxa de variação anual negativa (TVA_n), equivalente à taxa de decomposição anual;
- Como o objetivo deste trabalho é o cálculo da variação do C incorporado no solo pela adição de SO, a TVA_n refere-se à taxa de decomposição do SO;

Para cálculo da TVA utilizou-se a seguinte equação:

$$\frac{Ct_n - Ct_{n+1}}{Ct_n} \times 100$$

Ct_n – Carbono total presente no tempo n

Ct_{n+1} – Carbono total restante no final do intervalo n – n+1

3.5 Rendimento das Culturas

A metodologia utilizada na avaliação do rendimento ou do desenvolvimento da planta baseou-se nas seguintes variáveis:

- Produção de frutos (kg/m², kg/planta ou n° frutos/m²);
- Peso da planta (kg/planta) à colheita;
- Altura, n° de folhas e diâmetro médio do pseudo-caule (no caso da bananeira), no período de máximo desenvolvimento.

4 CASOS DE ESTUDO

4.1 Produção de Maracujá em Regime de Regadio

Objetivo: Avaliação da eficácia do SO-MUSAMI na produção do maracujá, em regime de regadio

4.1.1 Introdução

A cultura do maracujá tem expressão e importância na fileira das fruteiras cultivadas em São Miguel. Os frutos são muito apreciados para o consumo em fresco e para a produção de polpa de elevado interesse na indústria alimentar.

A avaliação do potencial do SO enquanto substituto dos adubos minerais sólidos e líquidos utilizados na cultura do maracujá constitui um dos objetivos do trabalho.

Apresenta-se no Quadro 4.1 a localização, área afeta ao ensaio e classificação científica da planta.

Quadro 4.1 - Informação geral do caso de estudo nº1

| Localização | Área | Planta |
|--------------|--------------------|---|
| Fajã de Cima | 400 m ² | Maracujá Roxo (<i>Passiflora edulis sims</i>) conduzido em latada |

4.1.2 Materiais e Métodos

4.1.2.1 Caracterização do Solo

O solo do terreno é franco com bastante saibro e cascalho de pedra-pomes e basalto (30 a 35% de elementos grosseiros) e com algum calhau (100-200 mm) à superfície, de compactidade grande para $p > 30$ cm. No Quadro 4.2, apresenta-se a granulometria do solo.

Quadro 4.2 - Granulometria e elementos grosseiros

| Areia Total | Limo | Argila | EG |
|-------------|------|--------|-----|
| (%) | (%) | (%) | (%) |
| 53,3 | 27,4 | 19,3 | 30 |

No Quadro 4.3, apresenta-se a caracterização química das camadas (0-15cm) e (15-30cm), realizada em março de 2016.

Quadro 4.3 - Caracterização química do solo

| | Camada 0-15 cm | | Camada 15-30 cm | |
|---|----------------|---------------|-----------------|--------------|
| | T | SO | T | SO |
| pH | 6,3 ± 0,0 | 6,9 ± 0,2 | 6,3 ± 0,0 | 7 ± 0,2 |
| Ct (g/kg) | 45,4 ± 9,9 | 72,1 ± 5,2 | 41,3 ± 4,7 | 50,6 ± 2,9 |
| Nt (g/kg) | 4,0 ± 0,26 | 4,7 ± 0,42 | 3,5 ± 0,31 | 2,7 ± 0,10 |
| P₂O₅ (mg/kg) | 640 ± 0 | 690 ± 90 | 500 ± 100 | 510 ± 70 |
| K₂O (mg/kg) | 217,9 ± 33,5 | 309,8 ± 11,1 | 185 ± 12,7 | 291,5 ± 8,6 |
| CaO (mg/kg) | 842,1 ± 54,3 | 867,8 ± 124,4 | 629,7 ± 57 | 704,5 ± 25,5 |
| MgO (mg/kg) | 853,7 ± 8,9 | 863,3 ± 78,1 | 870,6 ± 33,4 | 773,8 ± 61,8 |

O perfil cultural, com horizontes $\frac{HC1 (0-15 \text{ cm})}{HC2 (15-30 \text{ cm})}$, é rico (6 a 9%) em MO, com pH próximo da neutralidade, e muito rico em N, P, Ca, Mg e K.

4.1.2.2 Preparação do Terreno

Em outubro de 2015, distribuiu-se à superfície do solo 20 kg/m² de SO seguido de lavoura pouco profunda (p <25 cm). Sobre o terreno lavrado, adicionou-se mais 20 kg/m² de SO, sendo este incorporado com fresa (p <12 cm). Após a preparação do terreno, semeou-se a consociação de aveia x tremoço x favica, a qual foi cortada e deixada sobre o terreno no final de fevereiro de 2016. No final de março o terreno foi fresado. Para a plantação do maracujá foram abertas covas circulares com um trator equipado com broca de perfuração. Os buracos cilíndricos apresentavam cerca de 60 cm de diâmetro e 50 cm de profundidade. No fundo da cova adicionou-se 5 kg de SO, mais 15 kg de SO sobre a terra retirada do buraco. Na área de terreno destinado ao tratamento testemunha não houve adição de SO.

4.1.2.3 Delineamento Experimental

Foram instalados 3 tratamentos, com 2 repetições cada, sendo cada repetição constituída por 1 latada, ou seja 2 linhas adjacentes de plantas. Para efeitos de monitorização do rendimento cada repetição foi formada por 6 sub-parcelas, cada uma delas constituída por 2 plantas contíguas. Foram implementados os seguintes tratamentos:

- **Tratamento T:** Testemunha com a adição na cova de plantação de 150g de adubo NPK 10.10.10 (foskamônio) + adubação foliar após plantação (meses de abril e maio);
- **Tratamento SO:** Incorporação no solo de 40kg/m², com 50% antes da lavoura do terreno e restantes 50% antes da fresagem para regularização do terreno superficial. Na cova de plantação foram adicionados cerca de 20kg/planta, sendo a superfície do solo coberta com tela permeável, numa faixa com 1m de largo, centrada na fila de plantação;
- **Tratamento SO+SO:** Idem Tratamento SO mas sem tela a cobrir a superfície, mais a adição de 25kg/m² (camada com cerca de 7cm de altura) na faixa de 1m de largo centrada na fila de plantação.

4.1.2.4 Amostragens do Solo e Determinações Analíticas

- Fevereiro e setembro de 2017

As amostragens de fevereiro e de setembro de 2017 visaram a avaliação do Ct e da TVA no segundo ano após a instalação.

Foram recolhidas amostras compostas na entrelinha e linha de plantação de cada tratamento. No final da amostragem, para cada tratamento, 6 amostras compostas foram selecionadas, 3 representativas da entrelinha e 3 da linha de plantação, num total de 18 amostras.

Os tratamentos SO e SO+SO são semelhantes na entrelinha, mas distintos na faixa de 1m centrada na linha de plantação.

Todas as amostras foram caracterizadas quanto aos teores em Ct e Nt. Para os restantes parâmetros, utilizou-se amostras médias por cada tratamento e posição.

4.1.3 Resultados e Discussão

Os dados do Quadro 4.3 revelam que os horizontes culturais HC1 e HC2 são muito ricos em MO e nutrientes e o pH está próximo da neutralidade. A adição de 40 kg /m² de SO originou acréscimos em Ct na camada 0-15 cm de 26,7 g/kg, e na camada 15-30 cm de 9,3 g/kg. O Tal deve-se ao facto da lavoura apenas afetar a camada 0-25 cm, logo a adição de SO afetou sobretudo a camada 0-15 cm. Também a biomassa subterrânea e aérea da consociação beneficiou a camada 0-20 cm.

O acréscimo de C na camada 0-30 cm do solo em relação ao tratamento T, 4 meses após a aplicação do SO, foi de 17,98 g/kg.

Na camada 0-15 cm o pH aumentou de 6,3 para 6,9, os teores em N, P, Ca e Mg apenas subiram ligeiramente, enquanto o K subiu cerca de 1,5 vezes mais. Quanto à camada 15-30 cm, o N baixou 1,22 vezes, o potássio subiu 1,6 vezes e os restantes elementos mantiveram-se com variações menores.

O principal papel da consociação é o enriquecimento em N sintetizado da atmosfera pelas leguminosas. é também uma melhoradora do solo porque para além de proteger a superfície do solo das chuvas no período outono-inverno, melhora as características físicas, químicas e biológicas daquele.

Ao longo do período de março de 2016 a fevereiro de 2017, a TVA_n foi de 26,97% e 15,94% para os tratamentos T e SO, respetivamente.

Na Figura 4.1, apresenta-se a correlação entre o Ct determinado pelo método da combustão por via seca e o Ct por via húmida. Os valores de Ct apresentados no Quadro 4.4 são os relativos à via húmida.

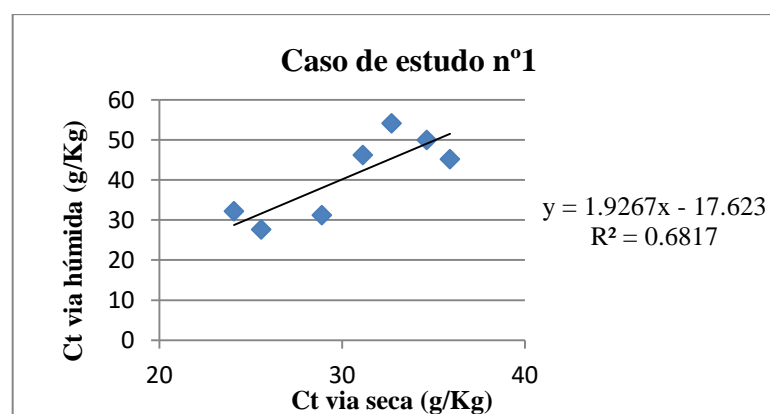


Figura 4.1 - Regressão linear do caso de estudo nº1

No Quadro 4.4, apresenta-se os dados do Ct relativos às datas de fevereiro e setembro de 2017, na entrelinha e na linha de plantação. De referir que os tratamentos SO e SO+SO na entrelinha não diferem entre si, as diferenças são só na linha de plantação.

Quadro 4.4 - Resultados analíticos do carbono total

| Posição | Tratamento | n | Fev-17 | | Set-17 | |
|------------|------------|---|-------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| | | | Ct (g/kg) $\mu \pm \sigma$ | C _v (%) σ/μ | Ct (g/kg) $\mu \pm \sigma$ | C _v (%) σ/μ |
| Entrelinha | T | 3 | 31,63 ± 3,87 | 12,25 | 38,02 ± 6,20 | 16,30 |
| | SO | 3 | 51,52 ± 10,12 | 19,65 | 49,08 ± 3,34 | 6,80 |
| | SO+SO | 3 | 52,97 ± 7,22 | 13,64 | 40,65 ± 2,73 | 6,71 |
| Linha | T | 3 | 31,95 ± 6,45 | 20,19 | 28,76 ± 4,15 | 14,43 |
| | SO | 3 | 55,37 ± 14,59 | 26,34 | 45,37 ± 11,47 | 25,27 |
| | SO+SO | 3 | 52,60 ± 9,66 | 18,37 | 42,34 ± 2,98 | 6,96 |

Analisando o fator entrelinha, verifica-se que o tratamento T na data de setembro apresenta um acréscimo de 6,39 g de C/kg de solo em comparação com a data de fevereiro. Aquele acréscimo revela que o sistema de condução do solo, enrelvamento espontâneo com cortes frequentes, é não só muito conservativo como melhorador do solo. Os teores em C, nos tratamentos SO e SO+SO, em fevereiro de 2017, são semelhantes, mas em setembro as diferenças entre ambos são significativas, com o tratamento SO+SO apresentando um abaixamento de C entre as duas datas, de 12,32 g de C/kg de solo. Significa que a TVA_n naquele tratamento foi de 34,89% enquanto no tratamento SO foi apenas de 7,10%.

Em fevereiro de 2017, i.e., 16 meses após a incorporação do SO, a camada 0-20 cm do solo, apresentava um acréscimo de C nos tratamentos SO e SO+SO muito significativo (≈ 20 g de C/kg de solo) quando comparado com o tratamento T, revelando um grande enriquecimento do C incorporado com o SO. Contudo, 8 meses depois, apenas o tratamento SO revela um grande enriquecimento quando comparado com T, o qual apresenta um valor médio afetado por um C_v muito superior aos outros dois tratamentos.

Analisando a influência do fator linha, leia-se faixa de plantação, a qual é regada gota à gota, registamos que os valores dos 3 tratamentos não diferem dos valores registados na entrelinha para os tratamentos T e SO+SO, contudo o tratamento SO apresenta cerca de mais 5 g de C/kg. Analisando a variação entre as duas datas, registamos que houve perda significativa de carbono no solo nos 3 tratamentos, sendo a TVA_n respetivamente de 14,98%, 27,09% e 29,26% para os tratamentos T, SO e SO+SO. Constata-se, quando se compara o tratamento T com os tratamentos com SO, que o teor em C neste é muito mais elevado do que naquele, cerca de 2 anos após a incorporação.

No Quadro 4.5, apresenta-se os valores do Ct, Ch e Cp determinados por via húmida em amostras médias.

Quadro 4.5 - Resultados analíticos do carbono total, carbono humificado e carbono particulado

| | Tratamento | Ct (g/kg) | Ch | | Cp | |
|---------------|------------|-----------|-------|------|-------|------|
| | | | g/kg | % | g/kg | % |
| Fev-17 | T | 27,66 | 22,30 | 80,6 | 5,36 | 19,4 |
| | SO | 45,24 | 31,56 | 69,8 | 13,68 | 30,2 |
| Set-17 | T | 31,24 | 27,11 | 86,8 | 4,13 | 13,2 |
| | SO | 50,04 | 30,98 | 61,9 | 19,06 | 38,1 |

Da análise dos dados, verifica-se que a proporção de Ch quando comparado com a proporção de Cp é sempre maior no tratamento T, isto para ambas as datas. Isto significa que a fração orgânica mais grosseira do SO resiste à degradação durante 2 ou mais anos.

No Quadro 4.6, apresenta-se os valores relativos ao complexo de troca.

Quadro 4.6 - Resultados analíticos do complexo de troca

| | Tratamento | Ca | Mg | Na | K | BT | CTC | V |
|---------------|------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------|
| | | (cmol _c /kg) | (cmol _c /kg) | (cmol _c /kg) | (cmol _c /kg) | (cmol _c /kg) | (cmol _c /kg) | (%) |
| Fev-17 | T | 15,29 | 3,27 | 0,38 | 2,99 | 21,93 | 30,17 | 72,7 |
| | SO | 22,70 | 5,83 | 0,28 | 4,97 | 33,79 | 34,16 | 98,9 |
| Set-17 | T | 17,95 | 4,19 | 0,35 | 3,60 | 26,09 | 30,38 | 85,9 |
| | SO | 26,87 | 7,53 | 0,29 | 4,26 | 38,89 | 39,02 | 99,6 |

Da análise dos dados, verifica-se que a CTC é média a alta (CTC > 30 cmol_c/Kg) e que a adição de SO aumenta a CTC, a qual cresce à medida que o processo de humificação se desenvolve. O Ca ocupa entre 50 a 60% da CTC no tratamento T, e 66 a 70% no tratamento SO; a razão Ca/Mg é maior na T (4,3-4,6) do que no SO (3,6-3,9); enquanto a razão Mg/K é >1, mas muito baixa em ambos os tratamentos.

Nos Quadros 4.7 e 4.8, apresenta-se os resultados da componente química: Nt e razão C/N, pH, P₂O₅, K₂O, CaO, MgO e Fe nas datas de fevereiro e setembro de 2017.

Quadro 4.7 - Resultados analíticos do azoto total e da razão C/N

| Posição | Tratamento | n | Fev-17 | | | Set-17 | | |
|------------|------------|---|----------------------------------|------------------------------------|-------|----------------------------------|------------------------------------|-------|
| | | | Nt (g/kg) $\mu \pm \sigma$ | C _v (%) σ/μ | C/N | Nt (g/kg) $\mu \pm \sigma$ | C _v (%) σ/μ | C/N |
| Entrelinha | T | 3 | 3.32 ± 0.27 | 8,2 | 7,70 | 4.57 ± 0.94 | 20,7 | 6,32 |
| | SO | 3 | 4.44 ± 0.42 | 9,6 | 8,09 | 4.32 ± 1.32 | 30,5 | 8,02 |
| | SO+SO | 3 | 2.25 ± 1.59 | 70,9 | 16,31 | 4.29 ± 0.70 | 16,3 | 7,06 |
| Linha | T | 3 | 4.51 ± 0.35 | 7,8 | 5,71 | 1.70 ± 1.91 | 112,5 | 14,16 |
| | SO | 3 | 2.39 ± 0.20 | 8,5 | 15,86 | 2.42 ± 0.53 | 21,7 | 13,51 |
| | SO+SO | 3 | 4.16 ± 1.01 | 24,2 | 8,76 | 3.74 ± 0.04 | 1,1 | 8,32 |

Quadro 4.8 - Resultados analíticos dos parâmetros químicos relativos à fertilidade do solo

| | Posição | Tratamento | pH | pH | P ₂ O ₅ | K ₂ O | CaO | MgO | Fe |
|------------|----------------|------------|--------------------|-------|-------------------------------|------------------|---------|---------|--------|
| | | | (H ₂ O) | (KCl) | (mg/kg) | (mg/kg) | (mg/kg) | (mg/kg) | (g/kg) |
| Fev -17 | Entre linha | T | 6,4 | 5,29 | 431,76 | 777,6 | 2144,9 | 313,7 | 11,60 |
| | | SO | 7,09 | 5,95 | 726,6 | 1519,2 | 3105,4 | 651,1 | 11,36 |
| | | SO+SO | 6,96 | 5,94 | 690,33 | 1500,9 | 3179,8 | 658,4 | - |
| | Linha | T | 6,33 | 4,99 | 778,83 | 637,9 | 2267,9 | 431,2 | - |
| | | SO | 6,82 | 6,1 | 752,31 | 1378,1 | 3093,8 | 772,9 | - |
| | | SO+SO | 7,11 | 6,21 | 976,12 | 1382,9 | 4091,8 | 889,2 | - |
| Set- 17 | Entre linha | T | 6,45 | 5,58 | 338,71 | 469,2 | 1742,2 | 328,2 | 11,608 |
| | | SO | 6,97 | 6,31 | 826,15 | 1313,4 | 3495,4 | 848,3 | 12,126 |
| | | SO+SO | 6,89 | 6,23 | 624,23 | 1176,3 | 3016,1 | 714,5 | - |
| | Linha | T | 6,31 | 5,34 | 371,46 | 706,7 | 2276,3 | 434,3 | 11,304 |
| | | SO | 6,95 | 5,97 | 835,78 | 1020,8 | 2925,9 | 727,3 | 10,634 |
| | | SO+SO | 6,49 | 5,77 | 637,48 | 907,2 | 2875,2 | 634,9 | 10,596 |

Da análise dos dados do Nt e da razão C/N, na comparação dos tratamentos na data de fevereiro de 2017, verifica-se que não são muito consistentes. Quanto à data de setembro, os valores registados são os esperados, ou seja, elevado teor em Nt e muito baixa razão C/N em todos os tratamentos, estes não distintos entre si na entrelinha. O solo desta foi conduzido com enrelvamento espontâneo.

Quanto à posição linha, data de setembro, os valores em Nt e C/N estão seriados de acordo com o esperado, ou seja, valores crescentes de Nt e seriados da seguinte forma: T < SO < SO+SO; no caso da razão C/N: T ≈ SO > SO+SO, estando os valores de T e SO no intervalo de C/N = 14, valor este acima do normal, o qual se situa na ordem C/N=10.

De referir que na faixa de plantação onde a planta tem concentrado o sistema radicular, para além de ser regada por gota à gota no período primavera-verão, a plantação com broca condiciona a saída do sistema radicular para fora do volume do solo remexido por aquela.

Quanto aos parâmetros químicos relacionados com a fertilidade do solo, regista-se que a adição de SO faz subir o pH do solo em algumas décimas, mas mantém-se neutro, e que o acréscimo em P_2O_5 , K_2O , CaO e MgO nos tratamentos SO e SO+SO quase que duplica quando comparados com o tratamento T. Esta riqueza nutricional permanece muito para além dos 2 anos após incorporação do SO.

No Quadro 4.9 apresenta-se os resultados relativos à H_{15} e $H_{1/3}$, A_u e CE.

Quadro 4.9 - Constantes de humidade e condutividade elétrica

| | Tratamento | Humidade (%) | | | CE (dS/m) |
|--------|------------|--------------|-----------|-------|--------------|
| | | H_{15} | $H_{1/3}$ | A_u | |
| Fev-17 | T | 15,68 | 38,26 | 22,58 | 0,16 |
| | SO | 17,12 | 42,90 | 25,78 | 0,31 |
| Set-17 | T | 17,25 | 41,03 | 23,78 | 0,42 |
| | SO | 21,57 | 43,49 | 21,92 | 0,72 |

Da análise dos dados do Quadro 4.9, regista-se que a adição de SO aumenta a retenção de água tanto a 15 atm como a 1/3 atm, quando comparado com T (testemunha), mas a A_u mantém-se semelhante. A CE é ligeiramente maior no tratamento SO quando comparado com T, mas inferior a 1 dS/m em ambos os tratamentos.

No Quadro 4.10 apresenta-se os resultados relativos ao rendimento nos meses de maior produção (agosto e setembro) e o índice de área foliar (LAI).

Quadro 4.10 – Resultados analíticos do rendimento da produção

| Período | Tratamento | Frutos | Peso médio (g/fruto) | Peso total (g) | frutos/m ² | LAI |
|--|------------|--------|-------------------------|-------------------|-----------------------|-------------|
| 1º Ciclo (Abril a Dezembro de 2016) | T | 409 | 40,89 ± 5,3 | 16825 | 4,65 | 1,55 ± 0,49 |
| | SO | 377 | 42,57 ± 5,8 | 15770 | 4,28 | 1,51 ± 0,78 |
| | SO+SO | 239 | 43,16 ± 6,82 | 10105 | 2,72 | 1,67 ± 0,42 |
| 2º Ciclo (Fevereiro a Setembro de 2017) | T | 1785 | 50,02 ± 2,56 | 89250 | 20,28 | 1,65 ± 0,23 |
| | SO | 1844 | 48,55 ± 2,31 | 92200 | 20,95 | 1,73 ± 0,32 |
| | SO+SO | 1790 | 48,07 ± 3,82 | 89500 | 20,34 | 2,01 ± 0,80 |

Verifica-se que a produção de frutos é significativamente maior no 2º ano de produção. O tratamento SO+SO apresenta um LAI significativamente maior que os restantes tratamentos.

4.1.4 Avaliação Agronómica e Ambiental

Os resultados analíticos do solo no 1º e 2º anos de produção revelam que a adição de SO ao solo elevou de forma significativa o teor em Ct do solo e de outros nutrientes, sem aumentar significativamente o pH e mantendo a razão C/N em muito bom equilíbrio.

O acréscimo de Ct, resultante da incorporação do SO quando comparado com o tratamento T, demonstrou ser muito superior ao expectável, com um valor de 17,98 g/Kg. Esta discrepância é explicada pela consociação (aveia x favica x tremocilha) presente no terreno antes da plantação dos maracujazeiros. Para além do C fornecido pelo SO, a biomassa subterrânea e aérea da consociação contribuiu para um acréscimo daquele elemento no solo. A heterogeneidade da incorporação do SO por fresa e possíveis incertezas quanto aos quantitativos de SO aplicados no terreno, constituem fontes de erro associados aos resultados apresentados.

A TVA do C varia com o período de estudo e com os tratamentos. Apesar dos tratamentos SO e SO+SO serem idênticos no caso da entrelinha, e com isto, serem esperados valores semelhantes entre ambos, regista-se que os resultados são muito díspares entre si, provavelmente associados à variabilidade inerente à condução do solo. No caso do tratamento T, o acréscimo em C, pode ser explicado pelo enrelvamento espontâneo utilizado na condução do solo da entrelinha, o qual originou um acréscimo significativo da matéria orgânica no solo.

No caso da linha de plantação, a TVA dos tratamentos SO e SO+SO foram semelhantes e praticamente o dobro da encontrada no tratamento T. O tratamento SO+SO não aparenta ter uma influência significativa em relação ao tratamento SO, sendo ambos muito semelhantes no teor em C e na TVA. Explicado pelo facto da camada orgânica (5-0 cm) sobre a superfície mineral ter sido destacada desta quando realizada a amostragem do solo, e também porque o processo de lixiviação de compostos orgânicos da camada superficial para a imediatamente subjacente ser negligenciável.

Ao fim de 2 anos de cultura, o enriquecimento em Ct no tratamento SO, quando comparado com o tratamento T, corresponde a um acréscimo de 11 g/kg na entrelinha e de 17 g/kg na linha de plantação.

O ciclo de produção estende-se de Junho a Setembro, variando com a idade da planta. Quanto ao rendimento do fruto, verificamos que as diferenças dos tratamentos com o SO relativamente ao tratamento T não são significativas. Em média, a plantação produziu 4

frutos/m², com peso unitário de 40 g no 1º ciclo cultural; 20 frutos/m² com peso unitário de 50 g no 2º ciclo cultural.

Conclui-se, que em meio rico, como é o solo do presente ensaio, a incorporação do SO no solo teve um comportamento quanto ao rendimento semelhante à T e como tal constitui uma boa alternativa ao uso de fertilizantes minerais, na medida em que o tratamento SO exclui tanto a fertilização mineral do solo como a fertilização foliar. Acresce que a avaliação do potencial produtivo do SO foi condicionada pela técnica de plantação do maracujá com broca de perfuração, a qual condicionou a rizosfera ao volume da cova de plantação.

Sendo o rendimento de ambos os tratamentos praticamente o mesmo, discute-se a escolha de um sobre o outro em termos económicos e ambientais. Os critérios a avaliar centram-se nos seus custos de obtenção, transporte e aplicação, e impactes positivos e negativos na qualidade dos solos, sustentabilidade dos ecossistemas agrícolas e qualidade alimentar.

4.2 Desenvolvimento Vegetativo e Produção de Bananas em Modo de Produção Biológico

Objetivo: Avaliação da eficácia comparativa do SO-MUSAMI no desenvolvimento da cultura da bananeira e na produção de banana em modo biológico.

4.2.1 Introdução

A cultura da bananeira ocupa uma área expressiva na fileira das fruteiras cultivadas em São Miguel. As bananas são comercializadas na ilha e exportadas para as restantes ilhas da Região Autónoma dos Açores (RAA) e parte da produção é colocada no mercado de Lisboa. A produção de banana em modo biológico é ainda reduzida, mas bastante valorizada.

Avaliar o potencial do SO no desenvolvimento da bananeira em modo de produção biológica, enquanto substituto da fertilização recomendada e melhorador das características físicas, químicas e biológicas do solo, constitui um dos objetivos do presente trabalho.

Apresenta-se abaixo no Quadro 4.11 a localização, área e duração do ensaio, planta e técnica de plantação.

Quadro 4.11 - Informação geral do caso de estudo nº2

| Localização | Área | Duração | Planta | Plantação |
|--------------------|---------------------|------------------------------------|---|-----------------------------|
| Ribeira das Taíñas | 1500 m ² | Outubro de 2015 a dezembro de 2017 | Bananeira (pequena anã <i>musca cavendish</i>) | À cova nos anos 2010 e 2013 |

4.2.2 Materiais e Métodos

4.2.2.1 Caracterização do Solo

O solo apresenta uma profundidade variável, classe textural franca com elevada proporção de elementos grosseiros de natureza pomítica, compactação elevada, moderadamente provido de raízes de bananeira entre os 10-30 cm de profundidade e sem raízes abaixo dos 40 cm. É um solo subácido moderadamente rico em MO, N, K, Ca e Mg.

O perfil cultural é formado pelos horizontes culturais $\frac{HC1 (0-10 \text{ cm})}{HC2 (10-20 \text{ cm})}$, e horizonte pedológico (20-50 cm) derivado de materiais vulcânicos (cinzas e pedra-pomes).

No Quadro 4.12 apresenta-se a granulometria e elementos grosseiros do solo.

Quadro 4.12 - Granulometria e elementos grosseiros

| Areia Total (%) | Limo (%) | Argila (%) | EG (%) |
|--------------------|-------------|---------------|-----------|
| 64,9 | 20,4 | 14,7 | 29,2 |

No Quadro 4.13, apresenta-se a componente química do solo antes da instalação do ensaio.

Quadro 4.13 - Caracterização química do solo antes da instalação do ensaio

| Camada (cm) | Parcela 2 | | Parcela 3 | |
|---------------------------------------|-----------|-------|-----------|-------|
| | 0-25 | 25-45 | 0-25 | 25-45 |
| Ct (g/kg) | 23,3 | 19,8 | 27,9 | 19,8 |
| pH | 5,5 | 5,5 | 5,4 | 5,6 |
| Nt (g/kg) | 1,16 | 2,1 | 2,5 | 1,8 |
| P ₂ O ₅ (mg/kg) | 220 | 160 | 220 | 170 |
| K ₂ O (mg/kg) | 193,1 | 164,2 | 186 | 173,1 |
| CaO (mg/kg) | 171,2 | 173,9 | 194,6 | 174,4 |
| MgO (mg/kg) | 209,1 | 232,3 | 194,7 | 214,9 |

4.2.2.2 Delineamento Experimental

Em 3 parcelas de terreno, compartimentadas por sebes de pittosporum (incensos), sendo as parcelas 1 e 2 constituídas por plantação nova (2013) e a parcela 3 por plantação mais antiga (2010), foram em cada uma daquelas implantados os seguintes tratamentos:

- **Tratamento T (testemunha):** incorporação com motocultivador de 38g/m² de CaMgCO₃ + 164g/m² de composto orgânico NATURGAN 5-4-5;
- **Tratamento SO:** 50kg/m² de SO-MUSAMI na entrelinha, incorporados nos 10cm superficiais do solo com motocultivador;
- **Tratamento SO + SO:** Idem tratamento SO acrescido de 30kg/m² (cerca de 7cm de altura) à superfície na faixa de 1m de largo no meio da entre-linha.

Estatisticamente as parcelas correspondem a blocos independentes. O SO foi distribuído manualmente e incorporado (0-10 cm) na entrelinha com motocultivador.

4.2.2.3 Amostragem do Solo e Determinações Analíticas

- **Fevereiro e setembro de 2017**

Em todas as parcelas foram amostrados dois perfis por cada tratamento, nas camadas 0-10 cm e 10-20 cm. Utilizou-se a mesma metodologia para as duas datas.

Em relação a fevereiro, foram adicionalmente recolhidas 3 amostras da camada 5-0 cm do tratamento SO+SO, uma por cada parcela.

Para efeitos da TVA do C privilegiou-se a camada 0-10 cm, tendo recolhido 6 amostras compostas por tratamento. Para as restantes variáveis envolvidas e para a 2ª camada considerou-se apenas 1 amostra por tratamento. Para a camada 0-10 cm obteve-se 18 amostras no total.

No caso da camada 10-20 cm, as amostras foram misturadas numa só amostra representativa do tratamento e data, discriminando a parcela de origem, num total de 6 amostras.

Em todas as amostras de solo determinou-se o Ct pelo método da combustão seca. Para as restantes variáveis fez-se uso de amostras médias e determinou-se o Ch e o Cp, Nt, CTC e BT, CE, H₁₅ e H_{1/3}, pH (H₂O) e pH (KCl), P₂O₅, K₂O, CaO, MgO e Fe.

4.2.3 Resultados e Discussão

Na Figura 4.2, apresenta-se a correlação entre o Ct determinado pelo método da combustão seca e o Ct determinado por via húmida. Porque a regressão é muito significativa os valores de Ct apresentados no Quadro 4.14 são os relativos à via húmida.

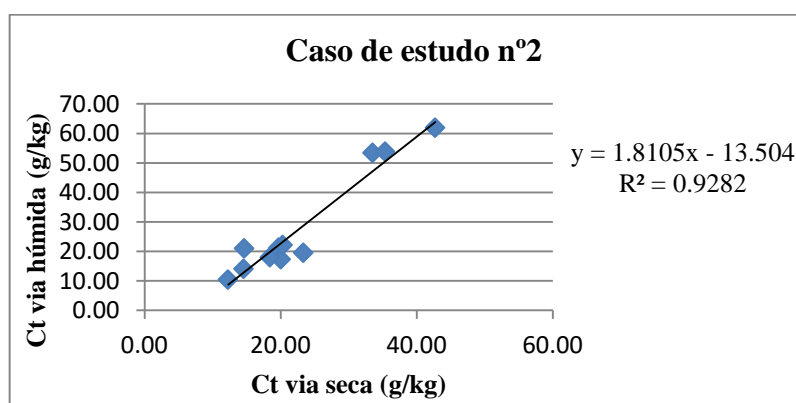


Figura 4.2 - Regressão linear do caso de estudo n.º 2

Como a regressão é significativa e o método por via húmida é mais preciso os dados apresentados no Quadro 4.14 referem-se à conversão dos valores de Ct por calcinação em Ct por via húmida.

Quadro 4.14 - Resultados analíticos do carbono total

| Ct | | | | | | |
|------------|-------------|---|-------------------------|-----------|-------------------------|-----------|
| Tratamento | Camada (cm) | n | Fev-17 | | Dez-17 | |
| | | | $\mu \pm \sigma$ (g/kg) | C_v (%) | $\mu \pm \sigma$ (g/kg) | C_v (%) |
| T | 0-10 | 6 | 22,16 \pm 4,7 | 21,2 | 19,84 \pm 11,24 | 56,6 |
| | 10-20 | 1 | 12,84 | - | 8,67 | - |
| SO | 0-10 | 6 | 47,18 \pm 18,66 | 39,6 | 50,51 \pm 9,2 | 18,2 |
| | 10-20 | 1 | 22,75 | - | 28,75 | - |
| SO+SO | 0-10 | 6 | 62,34 \pm 14,17 | 22,7 | 63,82 \pm 23,09 | 36,2 |
| | 10-20 | 1 | 23,25 | - | 12,99 | - |
| | 5-0 | 3 | 96,14 \pm 5,96 | 6,2 | - | - |

Da análise dos dados do Quadro 4.14, verifica-se que o teor em Ct em Fev. 2017, cerca de 15 meses após a instalação do ensaio, para os valores registados para a camada 0-10 cm, refletem uma riqueza em C de acordo com o teor orgânico de referência para este solo ($\approx 4\%$). Tratamento T, camada (0-10 cm) com 22,16 g C/kg ($\approx 3,8\%$ de MO) e para os tratamentos SO =47,18 g C/kg e SO+SO =62,34 g C/kg, função do SO adicionado ao solo inicial.

Se for admitido que o SO doseia 30% de MO, 45% de humidade e o solo apresenta $\rho=1200\text{kg/m}^3$, então teoricamente foi incorporado 40,5 g C/kg solo. Regista-se que o tratamento SO apresenta mais 25,02 g C /kg solo do que o tratamento testemunha, ou seja, uma taxa de enriquecimento de 61,8 %, o equivalente à TVA_n de 29,6%, nos primeiros 15 meses após instalação.

O tratamento SO+SO apresenta, relativamente ao tratamento T, mais 40,18 g/kg solo, ou seja o equivalente ao valor em C incorporado, logo variação nula no intervalo de 15 meses. Porém, a faixa da linha (5-0 cm) representa um decréscimo em C de 80,36 g/kg ou seja, 54,47% de enriquecimento e a TVA_n de 36,42%

Analisando a variação do Ct entre o período de fevereiro a setembro de 2017, cerca de 8 meses, verifica-se que o tratamento T, camada 0-10 cm, apresenta um decréscimo em C de 2,32 g/kg (dentro do intervalo do erro de amostragem), valor este indicativo que o sistema agrícola é conservativo, i.e., as entradas de C são estatisticamente iguais às saídas. O tratamento SO, para o mesmo período e camada, apresenta um acréscimo em C de 3,33 g C/Kg solo, com significado estatístico semelhante ao do tratamento T. O tratamento SO+SO

apresenta, para o mesmo período e camada, o acréscimo de 1,48 g C/kg com significado estatístico semelhante aos tratamentos T e SO. Em síntese, o sistema agrícola para todos os tratamentos analisados é muito conservativo quanto ao enriquecimento do C acumulado naturalmente ou por ação antrópica.

Quanto à camada 10-20 cm, os tratamentos SO e SO+SO apresentam valores tendencialmente mais elevados do que o tratamento T, explicado pelo facto desta camada ter sido influenciada ligeiramente pela adição do SO. Entre datas, a tendência não é consistente, crescendo no SO e decrescendo no T e no SO+SO.

No Quadro 4.15 apresentam-se os valores do Ct, Ch e Cp, para os 3 tratamentos e as 2 profundidades analisadas, determinados sobre amostras médias. Para a mesma camada de solo, as diferenças entre tratamentos refletem a adição de SO ao solo e a diferença entre tratamentos e datas é pequena. O Ch representa cerca de 75% do total e o Cp cerca de 25%.

Quadro 4.15 - Resultados analíticos do carbono total, carbono humificado e carbono particulado

| Tratamento | Camada (cm) | Fev-17 | | | | | Set-17 | | | | |
|------------|-------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|
| | | Ct (g/kg) | Ch | | Cp | | Ct (g/kg) | Ch | | Cp | |
| | | | g/kg | % | g/kg | % | | g/kg | % | | |
| T | 0-10 | 21,25 | 15,93 | 74,99 | 5,31 | 25,01 | 17,99 | 14,71 | 81,74 | 3,29 | 18,26 |
| | 10-20 | 14,06 | 10,54 | 74,93 | 3,53 | 25,07 | 10,43 | 9,06 | 86,92 | 1,36 | 13,08 |
| SO | 0-10 | 53,40 | 26,15 | 48,97 | 27,25 | 51,03 | 53,78 | 32,19 | 59,86 | 21,59 | 40,14 |
| | 10-20 | 17,31 | 13,13 | 75,82 | 4,19 | 24,18 | 19,53 | 15,51 | 79,42 | 4,02 | 20,58 |
| SO+SO | 0-10 | 53,37 | 31,10 | 58,27 | 22,27 | 41,73 | 61,86 | 29,28 | 47,34 | 32,58 | 52,66 |
| | 10-20 | 22,13 | 14,82 | 66,96 | 7,31 | 33,04 | 21,00 | 16,32 | 77,73 | 4,68 | 22,27 |

Da análise das proporções entre Ct, Ch e Cp, regista-se que em fevereiro de 2017 a proporção de Ch e de Cp no tratamento testemunha é de 75% e 25% respetivamente, aumentando a 1ª e decrescendo a 2ª no intervalo de 8 meses. No tratamento SO a proporção de Ch e Cp é semelhante e próximo dos 50% na 1ª data, enquanto na 2ª data a proporção da Ch cresce para 80% e a Cp decresce para 20%. No tratamento SO+SO, 2ª data, as proporções de Ch e Cp são semelhantes e próximas dos 50%. Estes dados significam que mantendo-se aproximadamente constante os teores em Ct nas duas datas e aumentando o Ch em relação ao Cp, o processo da humificação é dominante relativamente ao da mineralização.

Nos Quadros 4.16 e 4.17, apresenta-se os valores de Nt, C/N, pH, P₂O₅, K₂O, CaO e MgO.

Quadro 4.16 - Resultados analíticos do azoto total, razão C/N e pH

| | Tratamento | Camada (cm) | Nt (g/kg) | C/N | pH (H ₂ O) | pH (KCl) |
|--------|------------|-------------|-----------|-------|-----------------------|----------|
| Fev-17 | T | 0-10 | 0,97 | 22,16 | 6,59 | 5,32 |
| | | 10-20 | 1,41 | 9,17 | 6,16 | 4,88 |
| | SO | 0-10 | 4,75 | 9,83 | 6,82 | 5,98 |
| | | 10-20 | 0,96 | 22,75 | 6,8 | 5,42 |
| | SO+SO | 0-10 | 3,86 | 15,98 | 6,96 | 6,34 |
| | | 10-20 | 1,87 | 12,24 | 6,91 | 5,86 |
| 0-5 | | 15 | 6,41 | 7 | 6,4 | |
| Set-17 | T | 0-10 | 3,80 | 5,22 | 6,64 | 5,56 |
| | | 10-20 | 1,30 | 6,67 | 6,10 | 4,68 |
| | SO | 0-10 | 4,38 | 11,53 | 6,73 | 5,94 |
| | | 10-20 | 1,44 | 19,97 | 6,53 | 5,32 |
| | SO+SO | 0-10 | 11,07 | 5,77 | 6,90 | 6,10 |
| | | 10-20 | 3,16 | 4,11 | 6,66 | 5,75 |

Quadro 4.17 - Resultados analíticos do fósforo, potássio, cálcio, magnésio e ferro livre

| | Tratamento | Camada (cm) | P ₂ O ₅ (mg/kg) | K ₂ O (mg/kg) | CaO (mg/kg) | MgO (mg/kg) | Fe (g/kg) |
|--------|------------|-------------|---------------------------------------|--------------------------|-------------|-------------|-----------|
| Fev-17 | T | 0-10 | 451,79 | 988,3 | 1606,8 | 287,1 | 3,70 |
| | | 10-20 | 303,04 | 593,3 | 1383,5 | 210,2 | 3,69 |
| | SO | 0-10 | 1349,65 | 1073,8 | 3153,8 | 672,1 | 4,14 |
| | | 10-20 | 359,1 | 1211,8 | 1180,4 | 267,6 | 3,95 |
| | SO+SO | 0-10 | 1087,44 | 1224,3 | 3730,4 | 210,2 | 4,16 |
| | | 10-20 | 631,53 | 1318,4 | 1692,1 | 463,4 | 4,00 |
| 0-5 | | 2602,4 | 1278 | 5005 | 1104 | - | |
| Set-17 | T | 0-10 | 294,64 | 836,60 | 1219,60 | 251,80 | 4,04 |
| | | 10-20 | 146,48 | 533,60 | 1087,20 | 227,20 | 3,62 |
| | SO | 0-10 | 1093,46 | 787,10 | 2881,60 | 656,40 | 4,18 |
| | | 10-20 | 703,05 | 766,40 | 1811,90 | 444,80 | 4,08 |
| | SO+SO | 0-10 | 1230,21 | 934,20 | 3438,60 | 772,70 | 4,19 |
| | | 10-20 | 610,80 | 983,50 | 1683,20 | 464,40 | 3,96 |

Os valores de Nt são significativamente muito mais baixos no T do que nos tratamentos com SO e a C/N apresenta valores variáveis com os tratamentos mas sempre dentro do intervalo normal (10-12) ou bastante mais baixos, indicativo que a disponibilidade em N é grande, em ambas as datas de amostragem, isto na camada mais superficial do solo. A acumulação de SO na linha de plantação, ao fim de 15 meses, traduz-se numa razão C/N muito baixa (<7), a par do elevado valor de Ct acumulado.

Quanto ao pH, muito próximo da neutralidade (6-7) em todos os tratamentos, verificou-se que a adição de SO ao solo provoca o acréscimo do pH em algumas décimas, e os valores registados em fevereiro e setembro são muito próximos, indicativo de que a lixiviação de bases no período chuvoso é repostado pelas bases libertadas pela decomposição da MO. Quanto às variáveis P_2O_5 , K_2O , CaO e MgO todos os tratamentos estão bem providos, mas a adição de SO duplica ou triplica os respetivos teores, exceto o K_2O , em que o acréscimo é apenas ligeiro. Estes solos são muito ricos em Fe e a adição de SO provoca um ligeiro acréscimo comparativamente à testemunha.

O contraste entre a riqueza nutricional da camada 0-10 cm, a qual recebe a influência direta da adição dos fertilizantes minerais ou orgânicos e é pouco explorado pelo sistema radicular das bananeiras devido às sachas frequentes para combater as infestantes, e a camada 10-20 cm é muito notória. O sistema radicular da bananeira explora essencialmente a camada 10-30 cm no tratamento T, mas no período em estudo explora a camada 5-30 cm nos tratamentos com SO, explicado pelo facto dos talhões com SO apresentarem um desenvolvimento exuberante do aparelho foliar das bananeiras, com maior ensombramento e redução de infestantes, tornando desnecessárias as mobilizações.

No Quadro 4.18, apresenta-se os dados do complexo de troca.

Quadro 4.18 - Resultados analíticos do complexo de troca

| Data | Tratamento | Camada (cm) | Ca | Mg | Na | K | BT | CTC | V |
|--------|------------|----------------|-------------------------|------|------|------|-------|-------|------|
| | | | (cmol _c /kg) | | | | | | % |
| Fev-17 | T | 0-10 | 9,56 | 2,31 | 0,16 | 3,45 | 15,48 | 19,31 | 80,2 |
| | | 10-20 | 7,41 | 1,63 | 0,44 | 2,55 | 12,03 | 17,86 | 67,3 |
| | C | 0-10 | 21,10 | 5,73 | 0,27 | 3,84 | 30,94 | 33,31 | 92,9 |
| | | 10-20 | 8,47 | 2,79 | 0,55 | 5,44 | 17,25 | 19,61 | 87,9 |
| | CC | 0-10 | 21,30 | 5,16 | 0,29 | 4,24 | 30,99 | 33,61 | 92,2 |
| | | 10-20 | 10,98 | 3,83 | 0,55 | 5,49 | 20,86 | 20,86 | 100 |
| Set-17 | T | 0-10 | 8,30 | 2,09 | 0,33 | 2,65 | 13,38 | 19,36 | 69,1 |
| | | 10-20 | 4,92 | 1,20 | 0,30 | 2,37 | 8,79 | 17,11 | 51,3 |
| | C | 0-10 | 21,88 | 4,85 | 0,41 | 3,17 | 30,31 | 31,40 | 96,5 |
| | | 10-20 | 8,99 | 2,76 | 0,25 | 3,39 | 15,38 | 20,41 | 75,4 |
| | CC | 0-10 | 25,22 | 6,13 | 0,44 | 3,31 | 35,10 | 37,41 | 93,8 |
| | | 10-20 | 11,50 | 3,64 | 0,51 | 3,89 | 19,54 | 22,36 | 87,4 |

A adição de SO ao solo origina um acréscimo muito significativo na CTC, classificado de média alta (> 30 cmol_c/kg) e uma saturação em bases do complexo de troca. Quanto às bases de troca o cálcio é dominante e representa cerca de 70% do total com a razão Ca/Mg da

ordem dos 3,7 e com a proporção de K de troca muito alta, o que se verifica pelos elevados teores em K destes solos, os quais são aumentados com a adição de SO ao solo. Consta-se uma desproporção entre Mg e K que é comum neste tipo de solos vulcânicos.

No Quadro 4.19 apresenta-se os resultados das constantes de humidade e da condutividade elétrica.

Quadro 4.19 - Resultados analíticos das constantes de humidade a 15 e 1/3 atm e da condutividade elétrica

| Data | Tratamento | Camada (cm) | Humidade (%) | | | CE (dS/m) |
|--------|------------|-------------|-----------------|------------------|----------------|-----------|
| | | | H ₁₅ | H _{1/3} | A _u | |
| Fev-17 | T | 0-10 | 11,6 | 34,8 | 23,2 | 0,16 |
| | | 10-20 | 10,9 | 31,7 | 20,8 | 0,14 |
| | SO | 0-10 | 16,3 | 40,8 | 24,5 | 0,24 |
| | | 10-20 | 11,7 | 31,8 | 20,1 | 0,18 |
| | SO+SO | 0-10 | 16,0 | 39,2 | 23,2 | 0,34 |
| | | 10-20 | 11,4 | 32,3 | 20,9 | 0,23 |
| Set-17 | T | 0-10 | 11,8 | 33,4 | 21,6 | 0,15 |
| | | 10-20 | 11,2 | 30,6 | 19,4 | 0,08 |
| | SO | 0-10 | 16,1 | 38,8 | 22,7 | 0,29 |
| | | 10-20 | 11,7 | 31,8 | 20,1 | 0,15 |
| | SO+SO | 0-10 | 18,2 | 39,6 | 21,4 | 0,25 |
| | | 10-20 | 12,7 | 32,5 | 19,8 | 0,22 |

Da análise do Quadro 4.19, verificamos que a adição do SO provoca um acréscimo nos limites inferior (15 atm) e superior (1/3 atm) das constantes de humidade do solo. Relativamente à água utilizável os valores dos tratamentos com SO são semelhantes aos da testemunha. A CE mantém-se muito baixa (< 1 ds/m) e com valores semelhantes entre tratamentos.

No Quadro 4.20, apresentamos os teores em chumbo, níquel e zinco da camada orgânica (5-0 cm) do tratamento SO+SO.

Quadro 4.20 - Resultados analíticos dos metais pesados

| Tratamento | Camada (cm) | n | Chumbo (mg/kg) | | Níquel (mg/kg) | | Zinco (mg/kg) | |
|------------|-------------|---|------------------|--------------------|------------------|--------------------|------------------|--------------------|
| | | | $\mu \pm \sigma$ | C _v (%) | $\mu \pm \sigma$ | C _v (%) | $\mu \pm \sigma$ | C _v (%) |
| SO+SO | 5-0 | 3 | 0,41 ± 0,06 | 13,4 | 8,58 ± 0,54 | 6,3 | 144,12 ± 10,24 | 7,1 |

Os teores em Pb, Ni e Zn determinados na camada mais rica em SO (5-0 cm) do tratamento SO+SO revelam que os teores em Pb e Ni são muito baixos e que apenas o Zn apresenta teores altos, estes associados à natureza vulcânica da matéria mineral.

No Quadro 4.21, apresenta-se as medições biométricas feitas em dezembro de 2016 e abril de 2018, respetivamente.

Quadro 4.21 - Medições biométricas

| Data de medição | Parcela | Tratamento | Altura da planta (m) | Perímetro no caule (cm) | Nº de folhas | Nº de filhas |
|-----------------|-----------|------------|----------------------|-------------------------|--------------|--------------|
| Dez-16 | Parcela 1 | T | 2,19 ± 0,44 | 38,59 ± 7,63 | 21,20 ± 1,75 | 1,17 ± 0,41 |
| | | SO | 2,85 ± 0,27 | 42,45 ± 5,05 | 25,80 ± 2,35 | 1,11 ± 0,33 |
| | | SO+SO | 3,15 ± 0,21 | 50,50 ± 1,75 | 26,83 ± 2,32 | 1,67 ± 0,82 |
| | Parcela 2 | T | 2,54 ± 0,12 | 44,31 ± 3,57 | 21,80 ± 1,81 | 1,14 ± 0,38 |
| | | SO | 2,62 ± 0,23 | 45,31 ± 5,75 | 24,00 ± 1,63 | 1,10 ± 0,32 |
| | | SO+SO | 2,76 ± 0,19 | 48,04 ± 6,01 | 26,17 ± 1,47 | 1,50 ± 0,84 |
| | Parcela 3 | T | 2,58 ± 0,32 | 43,38 ± 5,53 | 21,17 ± 2,40 | - |
| | | SO | 2,97 ± 0,12 | 53,46 ± 3,06 | 23,50 ± 1,29 | 1,50 ± 0,71 |
| | | SO+SO | 3,01 ± 0,39 | 52,75 ± 4,69 | 24,33 ± 2,08 | 1,67 ± 0,58 |
| Abr-18 | Parcela 1 | T | 2,56 ± 0,33 | 52,20 ± 3,68 | 21,40 ± 1,48 | 2,20 ± 1,09 |
| | | SO | 2,90 ± 0,35 | 55,97 ± 12,11 | 20,14 ± 1,60 | 3,29 ± 1,89 |
| | | SO+SO | 2,97 ± 0,42 | 61,21 ± 10,23 | 28,28 ± 2,48 | 2,57 ± 1,72 |
| | Parcela 2 | T | 2,27 ± 0,31 | 51,32 ± 4,75 | 20,30 ± 1,60 | 2,73 ± 0,90 |
| | | SO | 2,28 ± 0,26 | 46,82 ± 2,52 | 20,21 ± 1,24 | 3,00 ± 1,73 |
| | | SO+SO | 2,73 ± 0,13 | 53,92 ± 6,37 | 26,01 ± 1,72 | 3,00 ± 1,51 |
| | Parcela 3 | T | 2,48 ± 0,26 | 50,75 ± 5,08 | 22,13 ± 0,93 | 1,86 ± 0,90 |
| | | SO | 2,69 ± 0,42 | 56,28 ± 4,63 | 24,89 ± 1,09 | 3,00 ± 2,78 |
| | | SO+SO | 2,79 ± 0,28 | 59,39 ± 7,17 | 26,82 ± 1,37 | 2,11 ± 1,27 |

4.2.4 Avaliação Agronómica e Ambiental

Os resultados analíticos do solo durante o período de ensaio mostram que a adição de SO eleva de forma significativa o teor em Ct do solo e dos outros nutrientes, sem aumentar significativamente o pH e mantendo a razão C/N em bom equilíbrio.

Regista-se que a TVA do C, para o mesmo período de análise, é muito variável, sendo nula na testemunha e no tratamento SO+SO, mas de 29,6% no tratamento SO e de 36,4% na camada orgânica do tratamento SO+SO.

No período de fevereiro a setembro de 2017, verifica-se que todos os tratamentos mantiveram o seu teor em Ct sem grandes alterações, o que pressupõe um sistema agrícola muito conservativo.

A camada 10-20 cm, devido ao método de incorporação do SO, sofreu um acréscimo de Ct muito ligeiro, com os tratamentos SO e SO+SO a registarem valores pouco acima dos encontrados no tratamento T.

Da análise da biomassa vegetal, conclui-se que a adição de SO permitiu um crescimento e desenvolvimento vegetativo superior ao tratamento T, consubstanciado na altura, nº de folhas e diâmetro da planta, bem como um maior nº de filhos. Estes resultados estão diretamente correlacionados com o rendimento das bananas, produzindo frutos de maior tamanho e peso, resultados esses mais expressivos no 2º ano de cultura em comparação com o 1º ano.

Do exposto, conclui-se que o uso do SO em MPB é uma alternativa aos fertilizantes oficialmente recomendados. A questão que se coloca é saber durante quantos anos mais os efeitos positivos do SO se farão sentir quanto ao rendimento da produção, o qual reflete o desenvolvimento vegetal ou biomassa das plantas.

4.3 Desenvolvimento de Bananeiras em Regime de Regadio

Objetivo: Avaliar o potencial do SO-MUSAMI no desenvolvimento da cultura da bananeira em regime de regadio e na melhoria da capacidade produtiva do solo recorrendo a aplicação de doses maciças de substrato.

4.3.1 Introdução

Não é usual regar-se a cultura da bananeira na ilha de São Miguel, mas o deficit hídrico no período de julho a setembro tem um impacto muito negativo no desenvolvimento da planta e dos frutos.

Num terreno cujo antecedente cultural foi a cultura de melancia, seguida da cultura da batata-doce e de feijão de outono-inverno (aveia x fava x tremocilha), aplicou-se uma dose maciça de SO no horizonte cultural do solo.

Um dos objetivos do presente trabalho é avaliar a resposta da planta, a taxa de variação temporal do C e o enriquecimento do solo.

No Quadro 4.22, apresenta-se a localização, área, duração do ensaio, planta, cultivares e data de plantação.

Quadro 4.22 - Informação geral do caso de estudo nº3

| Localização | Área | Duração | Planta | Cultivares | Plantação |
|-------------|---------------------|------------------------------------|---|----------------------------------|---------------|
| Lazeira | 2200 m ² | Janeiro de 2017 a Dezembro de 2017 | Bananeiras micropropagadas e desenvolvidas em estufa (pequena anã <i>musa cavendish</i>) | Brier, Ricasa e Palmerita Tomase | Abril de 2017 |

4.3.2 Material e Métodos

4.3.2.1 Caracterização do Solo

Solo franco-arenoso com bastantes elementos grosseiros de natureza pomítica, moderadamente profundo (> 50 cm), rico em MO e nutrientes, pH neutro.

No Quadro 4.23, apresenta-se a granulometria e elementos grosseiros do solo.

Quadro 4.23 - Granulometria e elementos grosseiros

| Profundidade (cm) | Areia Total (%) | Limo (%) | Argila (%) | EG (2-20 mm) |
|-------------------|-----------------|----------|------------|-----------------|
| 0-20 | 68.68 | 19.10 | 12.22 | 29 % |
| 20-40 | 69.46 | 21.08 | 9.46 | |

4.3.2.2 Preparação do Terreno

Na primeira semana de fevereiro de 2017, procedeu-se ao corte do ferrejo, e na 3ª semana à distribuição mecânica do SO, aplicando:

- 40 kg/m² de SO húmido sobre a superfície do terreno seguido de lavoura (p <30 cm);
- 40 kg/m² sobre o terreno lavrado seguido de uniformização do solo com fresa (p <15 cm).

4.3.2.3 Amostragem do Solo e Determinações Analíticas

• Março de 2017

Procedeu-se à divisão do terreno em 4 parcelas homogêneas e à colheita de 3 amostras compostas (média de 4 perfis equidistantes por parcela), nas camadas 0-20 cm e 20-40 cm do perfil do solo, num total de 12 por camada.

• Novembro 2017

Procedeu-se à colheita de amostras na linha de plantação e na entrelinha, num total de 24, seguindo a mesma metodologia da 1ª data. Após secagem e crivação das amostras formou-se 4 amostras médias, uma por parcela do terreno.

Em todas as amostras de solo determinou-se o Ct pelo método da combustão por via seca. Em todas as amostras médias determinou-se os teores em: Ch, Cp, Nt, CTC, BT, CE, H₁₅, H_{1/3}, pH, P₂O₅, K₂O, CaO, MgO e Fe.

4.3.3 Resultados e Discussão

Os resultados médios do Ct da entrelinha, relativos à data de novembro de 2017, foram semelhantes aos da linha, apesar daquela ter sido sujeita à cultura da batata-doce, razão pela qual foram agrupados e tratados conjuntamente (n=24 em vez de n=12).

Na Figura 4.3, apresenta-se a correlação entre o Ct determinado pelo método da combustão por seca e o Ct determinado por via húmida. Os valores de Ct apresentados no Quadro 4.24 são os relativos à via húmida.

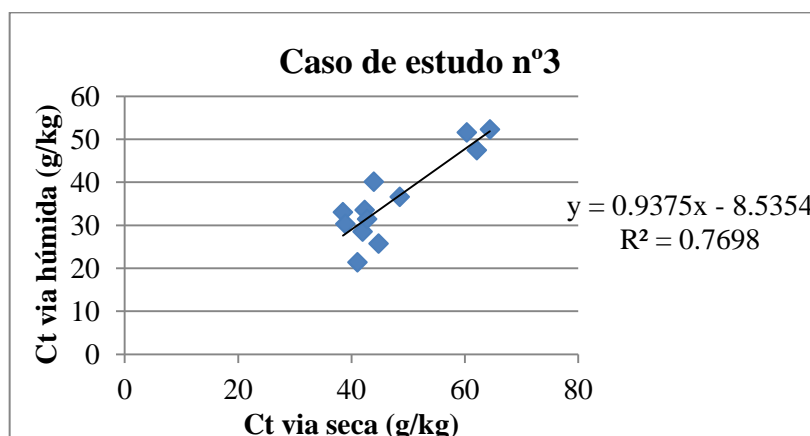


Figura 4.3 - Regressão linear do caso de estudo nº3

Quadro 4.24 - Resultados analíticos do carbono total

| Profundidade (cm) | Ct (g/kg) | | | | | |
|-------------------|-----------|------------------|-----------|--------|------------------|-----------|
| | Mar-17 | | | Nov-17 | | |
| | n | $\mu \pm \sigma$ | C_V (%) | n | $\mu \pm \sigma$ | C_V (%) |
| 0-20 | 12 | 45,19 ± 17,71 | 39,2 | 24 | 31,36 ± 8,39 | 25,3 |
| 20-40 | 4 | 35,66 ± 6,32 | 17,7 | 4 | 27,23 ± 6,22 | 22,8 |

Da análise dos dados do Quadro 4.24, verifica-se que a variação de Ct no período de março a novembro, aproximadamente 8 meses, é de 13,83 g/kg, correspondendo à TVA_n de 45,9% para a camada 0-20 cm, e de 35,5% para a camada 20-40 cm.

Em valor absoluto a camada superficial apresenta mais 9,53 g/kg do que a camada 20-40 cm, enquanto esta diferença decresce para 4,13 g/kg no período de 8 meses.

Estimando que:

- O SO doseia em média 30% de MO e 45% de humidade, logo o teor médio em C por Kg de SO seco é de 176,5 g/kg;
- A espessura efetiva de enterramento de SO foi de 0,3 m e que a $\rho=1200 \text{ kg/m}^3$, logo a adição de 80 kg/m^2 de SO húmido corresponde à incorporação no solo de 21,17 g de C /kg de solo;

- O teor médio de MO do solo inicial é de 4%, valor esse correspondente a 23,52 g de C/kg de solo;

Conclui-se que:

- O valor médio de 45,19 g/kg do Ct doseado nas amostras da camada superficial de março é semelhante ao somatório do valor do Ct existente no solo, mais o valor do Ct incorporado, ou seja 45,08 g de C/kg de solo;
- Os valores do C_v registados são considerados normais e baixos para a variável em estudo, reflexo da técnica utilizada na colheita e na formação das amostras compostas do solo;
- Que o enriquecimento do C do solo um ano após incorporação do SO é elevado.

No Quadro 4.25, apresenta-se os resultados do Ct, Ch e o Cp.

Quadro 4.25 - Resultados analíticos do carbono total, carbono humificado e carbono particulado

| Data | Profundidade (cm) | n | Ct (g/kg) | | Ch (g/kg) | | | Cp (g/kg) | | |
|--------|-------------------|---|------------------|-----------|------------------|-----------|------|------------------|-----------|------|
| | | | $\mu \pm \sigma$ | C_v (%) | $\mu \pm \sigma$ | C_v (%) | % | $\mu \pm \sigma$ | C_v (%) | % |
| Mar-17 | 0-20 | 4 | 46,19 ± 8,71 | 18,9 | 21,40 ± 2,77 | 12,9 | 46,3 | 24,79 ± 7,08 | 28,6 | 53,7 |
| | 20-40 | 4 | 33,98 ± 4,19 | 12,3 | 19,16 ± 4,72 | 24,6 | 56,4 | 14,82 ± 1,33 | 9,0 | 43,6 |
| Nov-17 | 0-20 | 8 | 33,53 ± 5,91 | 17,6 | 18,22 ± 3,93 | 21,6 | 54,3 | 15,31 ± 2,68 | 17,5 | 45,7 |
| | 20-40 | 4 | 23,60 ± 2,74 | 11,6 | 11,08 ± 3,32 | 30,0 | 46,9 | 12,52 ± 2,29 | 18,3 | 53,1 |

Da análise dos dados, março de 2017, verifica-se que na camada 0-20 cm o Ch representa 46,3% do Ct e o Cp 53,7%, enquanto na camada 20-40 cm o Ch representa 56,4% e o Cp 43,6%. em novembro de 2017, camada 0-20 cm, o Ch representa 59,3% e o Cp 45,7 %, enquanto na camada 20-40 cm o Ch representa 46,9% e o Cp 53,1%.

Trata-se de tendências lógicas, porquanto o SO apresenta 25% de material (orgânico + mineral) com granulometria entre 5-20 mm e a camada 20-40 recebeu uma quantidade de SO inferior à da camada 0-20 cm, isto porque as técnicas de incorporação, lavoura e fresagem, não foram suficientemente profundas e homogêneas para distribuir de modo uniforme o SO na espessura 0-40 cm. A maior concentração de SO está na camada 0-20 cm, decrescendo aquele com a profundidade.

No Quadro 4.26, apresenta-se a CTC e as BT, também relativas às amostras médias.

Quadro 4.26 - Resultados analíticos do complexo de trocas

| Data | Profundidade (cm) | n | Ca (cmol./kg) | Mg (cmol./kg) | Na (cmol./kg) | K (cmol./kg) | S (cmol./kg) | T (cmol./kg) | V (%) |
|--------|-------------------|---|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Mar-17 | 0-20 | 4 | 14,44 ± 1,84 | 4,50 ± 0,90 | 0,70 ± 0,06 | 4,23 ± 0,47 | 23,87 ± 3,12 | 24,92 ± 3,54 | 95,98 ± 2,77 |
| | 20-40 | 4 | 13,51 ± 0,96 | 4,18 ± 0,43 | 0,78 ± 0,12 | 4,04 ± 0,39 | 22,51 ± 1,31 | 23,00 ± 0,96 | 97,83 ± 3,26 |
| Nov-17 | 0-20 | 8 | 14,89 ± 1,40 | 4,24 ± 0,48 | 0,6 ± 0,12 | 3,52 ± 0,39 | 23,24 ± 2,01 | 23,52 ± 2,13 | 98,88 ± 0,71 |
| | 20-40 | 4 | 10,66 ± 0,96 | 3,36 ± 0,52 | 0,98 ± 0,12 | 3,92 ± 0,41 | 18,92 ± 1,37 | 19,05 ± 1,36 | 99,34 ± 0,60 |

Da análise dos dados, verifica-se que ambas as camadas de solo apresentam uma CTC média (20 <CTC <30) e uma distribuição das bases de troca dominada pelo Ca (60 <Ca <72), seguida do Mg (19 <Mg <22), depois pelo K (17 <K <22) e por último pelo Na (3 <Na <6), valores expressos em %.

A razão Ca/Mg é de aproximadamente 3,2, valor abaixo dos 4,5, considerado normal. Conclui-se que a proporção do K está muito próxima da do Mg, situação desviante dos solos normais (Mg = 20% e K=5%) mas explicada pelo muito elevado teor em K deste solo. O efeito da concentração do K⁺ sobrepõe-se à maior força iónica do Mg²⁺ no processo de fixação às partículas coloidais eletronegativas do solo (Costa, 1995, pp. 189-219).

Nos Quadros 4.27 e 4.28 apresenta-se os resultados dos parâmetros químicos do solo: Nt, razão C/N, pH, P₂O₅, K₂O, CaO, MgO e Fe.

Quadro 4.27 - Resultados analíticos do azoto total, razão C/N, pH e fósforo.

| Data | Posição | Camada (cm) | n | Nt (g/kg) | C/N | pH (H ₂ O) | pH (KCl) | P ₂ O ₅ (mg/kg) |
|--------|------------|-------------|---|------------|-------|-----------------------|------------|---------------------------------------|
| Mar-17 | Linha | 0-20 | 4 | 3,6 ± 1,52 | 12,55 | 7,2 ± 0,25 | 6,6 ± 0,21 | 1179,6 ± 231,23 |
| | | 20-40 | 4 | 2,3 ± 0,51 | 15,50 | 7,1 ± 0,26 | 6,5 ± 0,34 | 614,3 ± 111,87 |
| Nov-17 | Linha | 0-20 | 4 | 2,6 ± 0,21 | 12,06 | 7,0 ± 0,18 | 6,1 ± 0,19 | 806,6 ± 137,46 |
| | | 20-40 | 4 | 2,5 ± 0,32 | 10,89 | 7,0 ± 0,12 | 6,1 ± 0,10 | 901,3 ± 76,41 |
| | Entrelinha | 0-20 | 4 | 3,1 ± 0,16 | 10,12 | 7,1 ± 0,17 | 6,1 ± 0,19 | 943,3 ± 272,33 |

Quadro 4.28 - Resultados analíticos do potássio, cálcio, magnésio e ferro livre

| Data | Posição | Camada | n | K ₂ O (mg/kg) | CaO (mg/kg) | MgO (mg/kg) | Fe (g/kg) |
|--------|------------|--------|---|--------------------------|------------------|-----------------|-------------|
| Mar-17 | Linha | 0-20 | 4 | 1416,53 ± 303,76 | 2355,93 ± 381,79 | 629,13 ± 136,04 | 2.75 ± 0.09 |
| | | 20-40 | 4 | 1145 ± 122,08 | 2027 ± 179,36 | 532 ± 148,8 | 2.74 ± 0.23 |
| Set-17 | Linha | 0-20 | 4 | 872,35 ± 291,92 | 1873,78 ± 189,41 | 448,95 ± 158,86 | 2.75 ± 0.41 |
| | | 20-40 | 4 | 1047 ± 70,35 | 1752 ± 323,03 | 408 ± 134,52 | 2.29 ± 0.39 |
| | Entrelinha | 0-20 | 4 | 751,48 ± 142,54 | 1856,53 ± 276,27 | 392,85 ± 99,35 | 2.85 ± 0.28 |

Da análise dos dados dos Quadros 4.27 e 4.28, verifica-se que os teores em Nt são elevados e a razão C/N apresenta valores normais e indicativos de taxas de decomposição do C, por ação microbiana, muito elevadas, bem como os teores em P_2O_5 e K_2O assimiláveis, para ambas as camadas, são muito elevados. O decréscimo entre datas é evidente apenas na camada 0-20 cm. Este solo é muito rico em CaO e MgO e o pH em água está próximo da neutralidade.

No Quadro 4.29, apresenta-se os resultados das constantes de humidade e condutividade elétrica.

Quadro 4.29 - Resultados das constantes de humidade e condutividade elétrica

| Data | Posição | Camada (cm) | Humidade (%) | | | CE (dS/m) |
|--------|------------|-------------|-----------------|------------------|----------------|-------------|
| | | | H ₁₅ | H _{1/3} | A _u | |
| Fev-17 | Linha | 0-20 | - | - | - | 0.53 ± 0.11 |
| | | 20-40 | 10,72 ± 1,10 | 34,92 ± 0,93 | 24,2 | 0.36 ± 0.06 |
| | Entrelinha | 0-20 | - | - | - | 0.53 ± 0.11 |
| Nov-17 | Linha | 0-20 | 12,79 ± 1,84 | 36,66 ± 1,15 | 23,87 | 0.33 ± 0.07 |
| | | 20-40 | 10,68 ± 0,20 | 34,3 ± 1,18 | 23,35 | 0.33 ± 0.05 |
| | Entrelinha | 0-20 | - | - | - | 0.27 ± 0.04 |

Tanto para a linha como para a entrelinha, os valores de H₁₅, H_{1/3} e A_u estão dentro do expectável e a CE não ultrapassa os valores limite recomendados.

No Quadro 4.30, apresenta-se as medições biométricas realizadas em março de 2018.

Quadro 4.30 - Medições biométricas

| Medição a 15 de Março de 2018 | | | | |
|-------------------------------|----------------------|-------------------------|--------------|--------------|
| n | Altura da planta (m) | Perímetro do caule (cm) | Nº de folhas | nº de filhas |
| 60 | 3,22 ± 0,27 | 71,33 ± 5,60 | 24,20 ± 1,79 | 3,21 ± 1,01 |

O mês de março representa o início do arranque do desenvolvimento vegetativo após a paragem do período outono-inverno. Os resultados biométricos, cerca de 11 meses após a plantação, mostram que os parâmetros analisados situam-se muito acima do padrão local, devidos aos efeitos de taxas de crescimento muito elevadas no período primavera-verão de 2017 associados à rega.

4.3.4 Avaliação Agronômica e Ambiental

Os resultados analíticos do solo, após aplicação maciça do SO, revelam que o teor em Ct do solo e dos outros nutrientes se elevaram de modo muito significativo, sem aumentar significativamente o pH e mantendo a razão C/N em bom equilíbrio.

Analisando os resultados dos nutrientes, confirma-se um acréscimo significativo em todas as variáveis e uma razão C/N próxima de 12, sem diferenças entre linha e entrelinha.

Dos dados biométricos registados na fase de desenvolvimento dos frutos, observou-se uma plantação com muito bom desenvolvimento vegetativo, com plantas a atingir os 3 metros de altura, caules robustos com perímetros superiores a 70 cm, e filhas em grande número. Como a primeira produção apenas ocorre no 3º e 4º trimestre do 2º ciclo cultural, não se pode tirar conclusões assertivas acerca do seu rendimento. Pode-se, contudo, admitir que o muito bom desenvolvimento vegetativo é o prenúncio de rendimentos elevados, em tudo semelhantes aos observados no ensaio em MPB.

Não foram observadas quaisquer disfunções no desenvolvimento vegetativo e reprodutivo das plantas associadas ao excesso de nutrientes no solo.

No período de primavera-verão não são de admitir perdas por lixiviação do azoto pelas águas de drenagem profunda, porque a rega gota à gota, na linha e na entrelinha, foi aplicada em regime deficitário, baixa frequência e com a reserva em água na rizosfera não inferior a 40% da água útil, num período em que o consumo de água pela planta é elevado e a precipitação bastante deficitária.

4.4 Produção de Azevém e Milho Forrageiro

Objetivo: Avaliação da eficácia do SO-MUSAMI na produção de culturas forrageiras em regime de sequeiro

4.4.1 Introdução

As culturas do azevém e do milho, utilizadas na produção de fenos e de silagem para o gado bovino, ocupam extensas áreas e são muito valorizadas. As doses de fertilizantes NPK por ha aplicadas na ilha são consideradas excessivas. Com o regime de pastoreio direto do gado em detrimento da estabulação, os estrumes verdes desapareceram. Prevendo-se que no futuro a produção anual de SO irá aumentar e outros produtos provenientes da recolha seletiva dos RSU irão surgir, considerou-se de interesse estratégico estudar este caso.

A avaliação do potencial do SO enquanto substrato melhorador das características físicas e químicas do solo constitui um dos objetivos do presente trabalho.

Apresenta-se no Quadro 4.31 a localização, área, duração do ensaio e culturas ensaiadas.

Quadro 4.31 - Informação geral do caso de estudo nº4

| Localização | Área | Culturas | Plantação | Duração |
|-------------|----------------------|----------------|---|-------------------------------------|
| Capelas | 50000 m ² | Azevém + Milho | Azevém - outubro de 2016; milho - abril de 2017 | Setembro de 2016 a setembro de 2017 |

4.4.2 Materiais e Métodos

4.4.2.1 Caracterização do Solo

Solo pouco profundo ($p < 30$ cm), franco com bastantes elementos grosseiros e alguma pedra de basalto. Verificou-se que todo o cultivo se faz nos 10 cm superficiais e que o solo subjacente apresenta-se muito compactado.

No Quadro 4.32, apresenta-se a granulometria e os elementos grosseiros do solo.

Quadro 4.32 - Granulometria e elementos grosseiros

| Areia Total % | Limo % | Argila % | EG % |
|---------------|--------|----------|-------|
| 54,90 | 26,70 | 18,40 | 34,7% |

4.4.2.2 Preparação do Terreno

Nas áreas afetadas ao tratamento SO foram distribuídos mecanicamente 20kg/m² de SO, seguido de fresagem de todo o terreno em Setembro de 2016.

4.4.2.3 Delineamento Experimental

O campo foi dividido em 3 parcelas homogêneas mas distintas entre si e em cada uma delas foi deixado uma faixa de terreno, a todo o comprimento, sem aplicação de SO, a qual servirá de referência/testemunha (T).

4.4.2.4 Amostragem do Solo e Determinações Analíticas

- **Novembro de 2016**

Os trabalhos de incorporação mecânica do SO raramente ultrapassaram a espessura efetiva dos 10cm, razão pela qual a amostragem recaiu apenas sobre a camada 0-10cm.

Com a enxada abriu-se um pequeno perfil (30cmx10cmx10cm) e retirou-se uma amostra de terra com 20 cm de comprimento, 10 cm de largura e 10 cm de profundidade.

Cada amostra composta é formada por 5 pontos de amostragem, equidistantes de 10m. Por cada tratamento e parcela formou-se 3 amostras compostas, num total de 18.

- **Setembro 2017**

Seguiu-se a mesma metodologia utilizada em novembro de 2016 e no total foram recolhidas 18 amostras.

Em todas as amostras do solo determinou-se o Ct pelo método da combustão por via seca.

Para os parâmetros Nt, pH (H₂O) e pH (KCl), P₂O₅, K₂O, CaO e MgO, foram criadas amostras médias. Cada amostra média consistiu na junção das 3 amostras por parcela, para cada tratamento, num total de 6.

Para os parâmetros Ct por via húmida, Ch e Cp, CTC e BT, granulometria, H₁₅ e H_{1/3}, e Fe, apenas se utilizou as amostras médias representativas da data de amostragem de setembro de 2017.

4.4.3 Resultados e Discussão

Na Figura 4.5, apresenta-se a regressão entre os valores do Ct determinados pelo método da combustão por via seca e o método da via húmida.

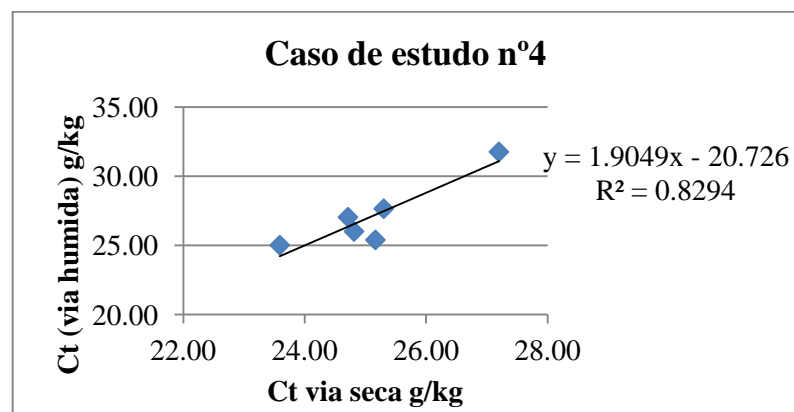


Figura 4.4 - Regressão linear do caso de estudo nº4

Os valores de Ct apresentados no Quadro 4.33 são os relativos à via húmida.

Quadro 4.33 - Resultados analíticos do carbono total

| Tratamento | n | Ct (g/kg) | | | |
|------------|---|------------------|-----------|------------------|-----------|
| | | Nov-16 | | Set-17 | |
| | | $\mu \pm \sigma$ | C_v (%) | $\mu \pm \sigma$ | C_v (%) |
| T | 9 | 28,98 ± 4,23 | 14,6 | 25,98 ± 3,12 | 0,0 |
| SO | 9 | 38,31 ± 8,53 | 22,3 | 28,30 ± 7,78 | 0,0 |

Da análise dos dados, verifica-se que para os teores em Ct nos tratamentos T e SO existem diferenças significativas em ambas as datas. Em novembro de 2016 o tratamento SO apresenta mais 9,33 g de C /kg de solo do que o tratamento T, e 11 meses depois a diferença é de apenas 2,99 g de C / kg de solo.

No período de 11 meses o teor em C decresceu em 10,01 g/kg no tratamento SO e apenas 3 g/kg no tratamento T. A TVA_n é de 28,50 %, enquanto no tratamento T é de 11,29%

Estimando que:

- O SO doseia 30% de MO e 45% de humidade;
- A massa volúmica do solo superficial é $\rho=1300 \text{ kg/m}^3$;
- O SO foi incorporado na camada 0-10 cm;

Conclui-se que:

- O sistema cultural azevém + milho forrageiro é regressivo;
- A adição de 20 kg/m² de SO representa 11,19 g de C /kg de solo.

O sistema agrícola regressivo e aquele em que as entradas (raízes, caules e folhas) de Ct no sistema são menores do que as saídas (perdas por decomposição e arrastamento das partículas do solo por erosão hídrica). As mobilizações do solo aceleram a decomposição e a exposição do solo ao impacto das gotas de chuva, provocando a dispersão dos torrões de terra e o arrastamento das partículas finas do solo pelas águas de escorrência.

Da análise dos dados de novembro 2016, verifica-se que um mês após distribuição e enterramento do SO, ambas as operações de baixa uniformidade à qual podemos acrescentar a irregularidade na profundidade de enterramento, concluímos que os teores em Ct registados por amostragem do solo estão próximos do valor estimado para a aplicação de 20 kg /m² de SO.

No Quadro 4.34, apresenta-se os valores do Ct, Ch e Cp.

Quadro 4.34 - Resultados analíticos do carbono total, carbono humificado e carbono particulado

| Tratamento | n | Ct (g/kg) | Ch | | Cp | |
|------------|---|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|
| | | | g/kg | % | g/kg | % |
| T | 3 | 25,47 ± 0,50 | 18,47 ± 0,41 | 72,52 ± 2,61 | 7,01 ± 0,78 | 27,48 ± 2,61 |
| SO | 3 | 28,82 ± 2,57 | 19,90 ± 3,93 | 68,70 ± 8,83 | 8,92 ± 2,01 | 31,30 ± 8,83 |

Da análise dos dados, verifica-se que a proporção de Ch e de Cp em relação ao Ct é muito semelhante entre tratamentos, representando ≈70% para o Ch e ≈30% para o Cp.

No Quadro 4.35 apresenta-se os resultados do complexo de troca e bases de troca.

Quadro 4.35 - Resultados analíticos do complexo de troca e bases de troca

| Tratamento | n | Complexo de Troca | | | | | | |
|------------|---|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------|
| | | Ca (cmol _c /kg) | Mg (cmol _c /kg) | Na (cmol _c /kg) | K (cmol _c /kg) | BT (cmol _c /kg) | CTC (cmol _c /kg) | V (%) |
| T | 3 | 12,27 ± 1,09 | 2,51 ± 0,14 | 0,68 ± 0,04 | 0,54 ± 0,19 | 16,00 ± 1,28 | 20,32 ± 0,44 | 78,68 ± 4,82 |
| SO | 3 | 12,60 ± 2,30 | 3,19 ± 0,69 | 0,59 ± 0,19 | 0,79 ± 0,19 | 17,16 ± 2,74 | 21,04 ± 1,51 | 81,25 ± 8,30 |

Quanto à CTC, classificada de média (= 20 cmol_c/kg), verifica-se que o SO apenas origina um ligeiro aumento da CTC do solo, bem como do Ca, Mg e K de troca.

No Quadro 4.36, apresenta-se os resultados do Nt, razão C/N e pH.

Quadro 4.36 - Resultados analíticos do azoto total e do pH

| Data | Tratamento | n | Nt (g/kg) | | C/N | pH (H ₂ O) | | pH (KCl) | |
|--------|------------|---|------------------|--------------------|-------|-----------------------|--------------------|------------------|--------------------|
| | | | $\mu \pm \sigma$ | C _v (%) | | $\mu \pm \sigma$ | C _v (%) | $\mu \pm \sigma$ | C _v (%) |
| Nov-16 | T | 3 | 2,90 ± 0,42 | 14,5 | 9,99 | 6,35 ± 0,11 | 1,7 | 5,35 ± 0,15 | 2,8 |
| | SO | 3 | 3,32 ± 0,45 | 13,7 | 11,54 | 6,35 ± 0,36 | 5,7 | 5,56 ± 0,53 | 9,5 |
| Set-17 | T | 3 | 2,64 ± 0,26 | 9,8 | 9,84 | 6 ± 0,02 | 0,3 | 5,21 ± 0,04 | 0,7 |
| | SO | 3 | 2,77 ± 0,57 | 20,4 | 10,22 | 6,05 ± 0,17 | 2,8 | 5,26 ± 0,2 | 3,9 |

Quanto ao Nt, o tratamento SO apresenta um pouco mais, mas não significativo, de Nt na 1ª data, mas na 2ª data os valores são semelhantes. Em ambas as datas e tratamentos o C/N é muito bom (intervalo 10-12) e indicativo de uma boa atividade biológica. Os valores de Nt são muito altos e exemplificativos das doses excessivas em fertilizantes minerais azotados aplicados à sementeira na cultura do milho forrageiro. Os C_v registados são baixos para a variável em estudo.

No Quadro 4.37, encontram-se os restantes parâmetros químicos analisados: P₂O₅, CaO, MgO, K₂O e Fe.

Quadro 4.37 - Resultados analíticos do fósforo, potássio, cálcio, magnésio e ferro livre

| Data | Tratamento | n | P ₂ O ₅ (mg/kg) | | CaO (mg/kg) | | MgO (mg/kg) | | K ₂ O (mg/kg) | | Fe (g/kg) | |
|--------|------------|---|---------------------------------------|--------------------|------------------|--------------------|------------------|--------------------|--------------------------|--------------------|------------------|--------------------|
| | | | $\mu \pm \sigma$ | C _v (%) | $\mu \pm \sigma$ | C _v (%) | $\mu \pm \sigma$ | C _v (%) | $\mu \pm \sigma$ | C _v (%) | $\mu \pm \sigma$ | C _v (%) |
| Nov-16 | T | 3 | 236,7 ± 11,3 | 4,8 | 1685 ± 51,4 | 3 | 292 ± 22,2 | 7,6 | 293 ± 78,2 | 26,7 | - | - |
| | SO | 3 | 753,3 ± 685,1 | 91 | 2130 ± 602,1 | 28,3 | 495 ± 247,3 | 50 | 642 ± 599,3 | 93,4 | - | - |
| Set-17 | T | 3 | 179 ± 52,2 | 29,1 | 1643 ± 183,3 | 11,2 | 259 ± 20,8 | 8 | 100 ± 33,6 | 33,6 | 8,37 ± 0,1 | 1,6 |
| | SO | 3 | 174 ± 57,5 | 33 | 1582 ± 253,3 | 16 | 282 ± 32,3 | 11,4 | 136 ± 61,1 | 44,9 | 8,07 ± 0,5 | 5,5 |

O tratamento SO apresenta, em novembro 2016, valores de P₂O₅ e de K₂O, triplos do tratamento T, e valores bastante superiores em CaO e MgO. Na data de setembro de 2017, o tratamento T e SO apresentam valores muito semelhantes para todas as variáveis em análise. O pH encontra-se próximo da neutralidade, e sem diferenças entre tratamentos.

No Quadro 4.38, apresenta-se os resultados relativos às constantes de humidade e à condutividade elétrica.

Quadro 4.38 - Constantes de humidade e condutividade elétrica

| Tratamento | Humidade (%) | | | CE (dS/m) |
|------------|-----------------|------------------|----------------|--------------|
| | H ₁₅ | H _{1/3} | A _u | |
| T | 13,88 ± 0,06 | 33,18 ± 0,88 | 19,30 ± 0,82 | 0,30 ± 0,05 |
| SO | 14,08 ± 0,86 | 33,20 ± 0,77 | 19,11 ± 0,55 | 0,31 ± 0,14 |

Da análise dos dados, verifica-se que relativamente às constantes de humidade, água utilizável e CE os tratamentos não se diferenciam.

4.4.4 Avaliação Agronómica e Ambiental

Os resultados analíticos do solo, imediatamente após a adição de SO, revelam que este elevou de forma significativa o teor em Ct e de todos os outros nutrientes, sem aumentar significativamente o pH [≈6] e mantendo a razão C/N em muito bom equilíbrio [≈10].

A TVA_n do tratamento T foi cerca de 2,5 vezes menor do a do tratamento SO, ou seja, a MO pré-existente no solo é muito mais resistente à decomposição microbiana e/ou arrastamento por erosão hídrica que o SO incorporado. A probabilidade do mecanismo da erosão hídrica, no enquadramento paisagístico do terreno do ensaio, atuar com alguma intensidade é elevada. Consequentemente, admitiu-se que a perda de partículas finas minerais e orgânicas ser grande. O ambiente pedoclimático e topográfico das parcelas de estudo, combinado com as técnicas culturais de mobilização do solo associadas às sementeiras, proporcionam o aumento da erosão hídrica e a aceleração da decomposição da MO.

Conclui-se que este sistema agrícola é regressivo na medida em que perdeu, num só ciclo cultural de ferrejo, praticamente todo o C do SO incorporado.

Devido à imprevista antecipação da colheita, não foi possível obter resultados quantitativos acerca do rendimento da cultura. Apenas pode-se afirmar que a avaliação visual da cultura do milho, nas fases de milho joalheiro e à floração, revelou ser o tratamento SO superior ao tratamento T.

4.5 Cultura do Ananaseiro: Estufa nº1

Objetivo principal: Avaliação do efeito SO-MUSAMI, ao longo de 3 ciclos culturais, no enriquecimento e na taxa de variação em carbono do solo.

Objetivo secundário: Avaliação do efeito SO na produção de ananás ao longo de 3 ciclos culturais.

4.5.1 Introdução

A fileira do ananás na ilha de São Miguel tem mais de 150 anos de história. O ananás dos Açores, como é conhecido, é um fruto de denominação de origem protegida (DOP). No processo produtivo são utilizados materiais orgânicos e terrosos com elevado teor em MO. No passado recente a leiva (camada superficial dos solos de montanha muito ácida e rica em húmus e microelementos) era o material de eleição mas, na década de 70, foi interdita a sua extração por razões ambientais.

Os estudos realizados pelo Instituto de Inovação Tecnológica dos Açores (INOVA) provaram que o SO é uma alternativa à leiva e a outros produtos orgânicos de produção local como a lenha verde triturada (LVT) ou vermicompostos tendo por base produtos orgânicos de origem animal obtidos por digestão anaeróbia.

Ao longo de 3 ciclos culturais e perfil do solo composto de SO à mistura com terra desenvolveu-se a cultura do ananás. A par da variação temporal do carbono no perfil do solo estuda-se o rendimento da cultura.

No Quadro 4.39, apresenta-se a localização, área, duração e classificação científica da planta.

Quadro 4.39 – Informação geral do caso de estudo nº5

| Localização | Área | Nº de talhões experimentais | Planta | Duração |
|--|-----------------------|-----------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Complexo de estufa INOVA - Ribeira grande | 200 m ² | 16 | Ananas comosus “Smooth Cayenne” | Abril de 2013 a janeiro de 2018 |

4.5.2 Materiais e Métodos

4.5.2.1 Caracterização do Solo

No Quadro 4.40 apresenta-se a granulometria e elementos grosseiros do solo.

Quadro 4.40 - Granulometria e elementos grosseiros

| | Areia total (%) | Limo (%) | Argila (%) | EG (%) |
|-----------------|-----------------|----------|------------|--------|
| 0-10 cm | 61,6 | 23,5 | 14,9 | 21,6 |
| 10-20 cm | 59,3 | 26,5 | 14,2 | 23,2 |

Classe Textural: Franco

4.5.2.2 Materiais

Na formação dos talhões experimentais, utilizou-se os seguintes materiais orgânicos e terrosos:

- Substrato orgânico acidificado (SOac);
- Substrato orgânico alcalino (SOalc);
- Lenha verde triturada (LVT);
- Terra crivada $\varnothing < 10$ mm (Tc)

4.5.2.3 Delineamento Experimental

1º Ciclo cultural: 30/04/2013

Quadro 4.41 - Perfil cultural do 1º ciclo

| Profundidade (cm) | Material |
|-------------------|--------------------|
| 0-20 | Tc + LVT 1:1 (v/v) |
| 20-30 | Tc + SO 1:1 (v/v) |
| 30-35 | Bagacina |

2º Ciclo cultural: 20/11/2014

Foram implementados 4 tratamentos, identificados pelas sequências de materiais S1, S2, S3 e S4:

Quadro 4.42 - Perfil cultural do 2º ciclo

| Profundidade (cm) | S1 | S2 | S3 | S4 |
|-------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 0-5 | Tc | Tc | Tc | Tc |
| 5-15 | Tc + SOac 1:1,5 (v/v) | Tc + SOalc 1:1,5 (v/v) | Tc + LVT 1:1 (v/v) | Tc + LVT 1:1 (v/v) |
| 15-30 | | | Tc + SOac 1:1,5 (v/v) | Tc + SOalc 1:1,5 (v/v) |
| 30-35 | Terra do 1º Ciclo cultural | Terra do 1º Ciclo cultural | Terra do 1º Ciclo cultural | Terra do 1º Ciclo cultural |

3º Ciclo cultural: 21/09/2016:

Quadro 4.43 - Perfil cultural do 3º ciclo

| Profundidade (cm) | S1 e S3 | S2 e S4 |
|-------------------|---|--|
| 0-45 | Cava com reviramento do perfil cultural do 2º ciclo | Cava com reviramento do perfil cultural do 2º ciclo + adição de NP |

4.5.2.4 Amostragem do Solo e Determinações Analíticas

- **Julho de 2015**

Nos tratamentos S2 e S4, procedeu-se a recolhas das amostras nas camadas 0-10 cm e 10-20 cm.

- **Setembro de 2016** (após preparação da estufa) e **Janeiro de 2018** (colheita)

Para cada um dos 16 cômodos, camadas 0-10cm e 10-20cm, foi amostrado um perfil do solo. Em todos os casos, rejeitou-se os primeiros 2 a 3 cm superficiais de terra de cobertura antes de proceder à recolha das amostras.

Em todas as amostras do solo determinou-se o Ct pelo método da da combustão por via seca. Para as variáveis Ct , Ch e Cp, pH, Nt, P₂O₅, K₂O, CaO e MgO, utilizou-se amostras médias.

4.5.3 Resultados e Discussão

Na Figura 4.6, apresenta-se a correlação entre o Ct determinado pelo método da combustão por via seca e o Ct determinado por via húmida. Os valores de Ct apresentados nos Quadros 4.44 e 4.45 são os relativos à via húmida.

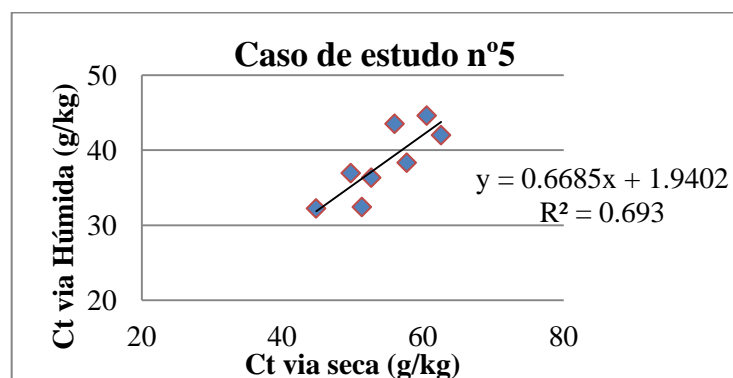


Figura 4.5 - Regressão linear do caso de estudo nº5

No Quadro 4.44, apresenta-se os valores do carbono total relativos à data de julho de 2015.

Quadro 4.44 - Resultados analíticos do carbono total

| Profundidade (cm) | Tratamento | Ct (g/kg) |
|-------------------|------------|-----------|
| 0-10 | S2 | 38,83 |
| | S4 | 37,51 |
| 10-20 | S2 | 42,4 |
| | S4 | 40,24 |

Com o intuito de saber se os resultados analíticos do Ct determinado em julho de 2015, ou seja, 8 meses após a preparação do perfil cultural, caem ou não dentro do intervalo teórico relativo à composição dos materiais terrosos e orgânicos adicionados, realizou-se o exercício abaixo com os seguintes pressupostos:

Numa mistura de SO + Tc + LVT (1,5:1:1 v/v), com v = 40 L; SO com $\rho=700 \text{ kg/m}^3$ e H=40%; Tc com $\rho=900 \text{ kg/m}^3$ e 3% de MO; LVT com $\rho=200 \text{ kg/m}^3$, H=90% e MO=80%, estima-se que o C/kg da mistura seja:

$$60 \text{ L de SO} \times 0,7 \text{ kg/dm}^3 \times 0,6 / 1,72 = 4,4 \text{ kg de C};$$

$$40 \text{ L de Tc} \times 0,9 \text{ kg/dm}^3 \times 0,03 / 1,72 = 0,64 \text{ kg de C};$$

$$40 \text{ L de LVT} \times 0,2 \text{ kg/dm}^3 \times 0,1 \times 0,8 / 1,72 = 0,37 \text{ kg de C};$$

$$4,4 \text{ kg} + 0,64 + 0,37 = 5,41 \text{ kg de C}$$

$$42 \text{ kg} + 36 \text{ kg} + 8 \text{ kg} = 86 \text{ kg de mistura}$$

$$5,41 \text{ kg} / 86 \text{ kg} = 62,9 \text{ g de C / kg de mistura}$$

Considerando a camada 0-5 cm constituída por Tc e a camada 5-10 cm pela mistura SO+LVT + Tc, estima-se que a quantidade de carbono incorporado na camada 0-10 cm seja de 40,34 g/kg, média das duas camadas.

Este valor, muito semelhante aos resultados de julho de 2015, indica que a TVA_n , na camada 0-10 cm, é de 7%. Na camada 10-20 cm, a TVA_n é de 54%, correspondente a uma variação na ordem dos 20 g/kg.

No Quadro 4.45, apresenta-se os resultados do Ct nas datas de setembro de 2016 e janeiro de 2018.

Quadro 4.45 - Resultados analíticos do carbono total

| Camada (cm) | Tratamento | Set-16 | | | Jan-18 | | |
|-------------|------------|--------|-------------------------|-----------|--------|-------------------------|-----------|
| | | n | $\mu \pm \sigma$ (g/kg) | C_v (%) | n | $\mu \pm \sigma$ (g/kg) | C_v (%) |
| 0-10 | S1 | 4 | 37,11 \pm 3,08 | 8,3 | 4 | 31,87 \pm 4,57 | 14,3 |
| | S2 | 4 | 40,48 \pm 2,71 | 6,7 | 4 | 42,38 \pm 6,97 | 16,4 |
| | S3 | 2 | 37,01 \pm 3,56 | 9,6 | 2 | 30,55 \pm 4,62 | 15,1 |
| | S4 | 2 | 35,86 \pm 0,16 | 0,4 | 2 | 32,74 \pm 2,85 | 8,7 |
| 10-20 | S1 | 4 | 36,22 \pm 6,39 | 17,6 | 4 | 35,16 \pm 8,56 | 24,3 |
| | S2 | 4 | 39,33 \pm 4,64 | 11,8 | 4 | 43,74 \pm 8,41 | 19,2 |
| | S3 | 2 | 38,07 \pm 1,37 | 3,6 | 2 | 34,67 \pm 5,55 | 16 |
| | S4 | 2 | 36,41 \pm 0,63 | 1,7 | 2 | 31,73 \pm 1,12 | 3,5 |

Regista-se que os resultados do Ct não apresentam grandes variações entre si, relativamente ao tipo de tratamento utilizado ou à data de amostragem, sendo as diferenças (negativas ou positivas) muito ligeiras e pouco relevantes. O tratamento S2 apresenta um acréscimo, não muito elevado, de Ct de Setembro de 2016 para Janeiro 2018.

No Quadro 4.46, apresenta-se os resultados do carbono total, carbono humificado e do carbono particulado.

Quadro 4.46 - Resultados analíticos do carbono total via húmida, carbono humificado e carbono particulado

| Camada | Tratamento | Set-16 | | | | | Jan-18 | | | | |
|----------|------------|-----------|-------|------|-------|-------|-----------|-------|------|-------|------|
| | | Ct (g/kg) | Ch | | Cp | | Ct (g/kg) | Ch | | Cp | |
| | | | g/kg | % | g/kg | % | | g/kg | % | g/kg | % |
| 0-10 cm | S1 | 36,35 | 13,69 | 37,7 | 22,66 | 62,34 | 32,25 | 8,43 | 26,2 | 23,81 | 73,8 |
| | S2 | 38,34 | 12,73 | 33,2 | 25,61 | 66,79 | 44,62 | 12,95 | 29 | 31,67 | 71 |
| 10-20 cm | S1 | 32,44 | 12,76 | 39,3 | 19,68 | 60,66 | 36,95 | 10,56 | 28,6 | 26,39 | 71,4 |
| | S2 | 43,53 | 13,84 | 31,8 | 29,69 | 68,2 | 42,02 | 9,07 | 21,6 | 32,94 | 78,4 |

De Setembro de 2016 a Janeiro 2018, ocorreu uma variação significativa entre as proporções de Ch e Cp, com o Cp a aumentar e o Ch a diminuir cerca de 10% da sua percentagem inicial.

Entre tratamentos não se nota grandes diferenças, exceto que o S2 apresenta uma maior quantidade de carbono particulado quando comparado com o S1.

No Quadro 4.47, apresenta-se os resultados analíticos do complexo de troca e bases de troca.

Quadro 4.47 - Resultados analíticos do complexo de troca e bases de troca

| Data | Profundidade (cm) | Tratamento | Ca | Mg | Na | K | BT | CTC | V |
|--------|-------------------|------------|-----------------------|------|------|------|-----------------------|-------|-------|
| | | | cmol _c /kg | | | | cmol _c /kg | | (%) |
| Set-16 | 0-10 | S1 | 17,88 | 6,76 | 0,71 | 2,51 | 27,87 | 28,98 | 96,2 |
| | | S2 | 20,45 | 6,84 | 0,63 | 2,53 | 30,45 | 30,68 | 99,2 |
| | 10-20 | S1 | 17,70 | 6,18 | 1,32 | 2,55 | 27,76 | 27,76 | 100,0 |
| | | S2 | 20,75 | 6,82 | 0,89 | 2,69 | 31,16 | 31,22 | 99,8 |
| Jan-18 | 0-10 | S1 | 18,86 | 6,82 | 0,94 | 2,28 | 28,91 | 29,96 | 96,5 |
| | | S2 | 24,38 | 7,08 | 0,74 | 2,55 | 34,74 | 34,86 | 99,6 |
| | 10-20 | S1 | 22,23 | 5,67 | 0,80 | 2,27 | 30,97 | 31,41 | 98,6 |
| | | S2 | 24,34 | 6,46 | 0,38 | 2,61 | 33,80 | 33,91 | 99,7 |

Verifica-se que todos os resultados de CTC se situam no intervalo entre 28 a 35 cmol_c/kg. O Ca representa aproximadamente 2/3 das bases de troca e a saturação em bases encontra-se muito próximo dos ou igual a 100%.

No Quadro 4.48, apresenta-se os resultados relativos às constantes de humidade e à condutividade elétrica.

Quadro 4.48 - Resultados das constantes de humidade e da condutividade elétrica

| Data | Profundidade (cm) | Tratamento | Humidade (%) | | | CE (dS/m) |
|--------|-------------------|------------|-----------------|------------------|----------------|-----------|
| | | | H ₁₅ | H _{1/3} | A _u | |
| Set-16 | 0-10 | S1 | 16,39 | 35,56 | 19,16 | 1,38 |
| | | S2 | 17,46 | 36,73 | 19,27 | 0,63 |
| | 10-20 | S1 | 15,39 | 34,09 | 18,69 | 0,5 |
| | | S2 | 16,77 | 35,35 | 18,58 | 0,5 |
| Jan-18 | 0-10 | S1 | 17,72 | 36,41 | 18,69 | 0,32 |
| | | S2 | 19,34 | 37,23 | 17,89 | 0,34 |
| | 10-20 | S1 | 17,58 | 36,35 | 18,77 | 0,18 |
| | | S2 | 18,79 | 37,77 | 18,97 | 0,18 |

Os resultados relativos às constantes de humidade e à CE dos tratamentos S2 e S1 são muito semelhantes entre si.

Nos Quadros 4.49 apresenta-se os resultados do azoto total e da razão C/N.

Quadro 4.49 - Resultados analíticos do azoto total e razão C/N

| Camada (cm) | Tratamento | Jul-15 | | Nt (g/kg) | | | Jan-18 | | |
|-------------|------------|--------|------|------------------|--------|------|------------------|--------|------|
| | | g/kg | C/N | $\mu \pm \sigma$ | Cv (%) | C/N | $\mu \pm \sigma$ | Cv (%) | C/N |
| 0-10 | S1 | - | - | 2,41 ± 0,46 | 19,0 | 15,4 | 1,98 ± 0,37 | 18,5 | 16,1 |
| | S2 | 2,82 | 13,8 | 3,12 ± 0,45 | 14,5 | 13,0 | 2,41 ± 0,25 | 10,5 | 17,6 |
| | S3 | - | - | 2,56 ± 0,19 | 7,5 | 14,5 | 2,35 ± 0,40 | 16,9 | 13,0 |
| | S4 | 2,54 | 14,8 | 2,48 ± 0,61 | 24,5 | 14,5 | 1,64 ± 0,16 | 9,5 | 20,0 |
| 10-20 | S1 | - | - | 2,98 ± 0,74 | 24,8 | 12,2 | 2,10 ± 0,47 | 22,4 | 16,7 |
| | S2 | 3,32 | 12,8 | 3,78 ± 0,65 | 17,1 | 10,4 | 2,63 ± 0,37 | 14,1 | 16,6 |
| | S3 | - | - | 2,80 ± 0,62 | 22,2 | 13,6 | 2,37 ± 0,35 | 14,7 | 14,6 |
| | S4 | 2,90 | 13,9 | 3,00 ± 1,05 | 34,9 | 12,1 | 1,60 ± 0,10 | 6,2 | 19,8 |

Da análise dos dados, verifica-se que os teores em N são muito elevados nas datas de 15 de julho (a meio do 1º ciclo cultural) e de 16 de setembro (início do 2º ciclo cultural) e continuam elevados no final do 3º ciclo cultural (janeiro de 2018). Os tratamentos S2 e S4, quando comparados com os tratamentos S1 e S3, apresentam teores em N ligeiramente mais altos, refletindo a dição de N à plantação naqueles.

A razão C/N mantém-se abaixo de 15 nas duas primeiras datas e ligeiramente acima na última data. Tratando-se de mistura muito rica em C, razões C/N na ordem dos 15, são consideradas normais e adequadas à decomposição microbiana dos fragmentos orgânicos grosseiros juntos com o SO e a LVT.

Nos Quadros 4.50 a 4.52, apresenta-se os resultados do pH, do fósforo, do potássio, do cálcio e do magnésio, para as datas de julho de 2015, setembro de 2016 e janeiro de 2018, respetivamente.

Quadro 4.50 - Resultados analíticos do pH, fósforo, potássio, cálcio e magnésio

| Camada (cm) | Tratamento | pH | pH | P ₂ O ₅ | K ₂ O | CaO | MgO |
|--------------|------------|--------------------|-------|-------------------------------|------------------|---------|---------|
| | | (H ₂ O) | (KCl) | (mg/kg) | (mg/kg) | (mg/kg) | (mg/kg) |
| 0-10 | S2 | 6,76 | 6,08 | 875,84 | 815,6 | 3672,2 | 669,5 |
| | S4 | 6,87 | 6,17 | 714,11 | 718,7 | 2850,3 | 545,6 |
| 10-20 | S2 | 7,11 | 6,46 | 1637,6 | 1165,5 | 4760,9 | 883,0 |
| | S4 | 7,31 | 6,49 | 904,09 | 1143,8 | 3812,6 | 845,2 |
| Média (0-20) | S2 | 6,94 | 6,24 | 1256,6 | 990,6 | 4216,6 | 776,3 |
| | S4 | 7,09 | 6,33 | 809,1 | 931,0 | 3331,5 | 695,4 |

Quadro 4.51- Resultados analíticos do pH, fósforo, potássio, cálcio e magnésio

| Camada (cm) | Tratamento | pH | pH | P ₂ O ₅ | K ₂ O | CaO | MgO |
|-----------------|------------|--------------------|-------|-------------------------------|------------------|---------|---------|
| | | (H ₂ O) | (KCl) | (mg/kg) | (mg/kg) | (mg/kg) | (mg/kg) |
| 0-10 | S1 | 6,39 | 5,72 | 495,4 | 716,9 | 2658,3 | 658 |
| | S2 | 6,79 | 6,29 | 587,7 | 723 | 3437,4 | 567,7 |
| | S3 | 6,78 | 5,96 | 496,5 | 729 | 2548,2 | 618,3 |
| | S4 | 6,84 | 6,27 | 692,8 | 876 | 3432,4 | 745,4 |
| 10-20 | S1 | 6,52 | 5,9 | 661,3 | 743 | 2937 | 656,6 |
| | S2 | 6,63 | 6,15 | 782,1 | 850,8 | 3575,4 | 684,9 |
| | S3 | 6,73 | 5,86 | 679,2 | 625,5 | 2696,4 | 592,3 |
| | S4 | 6,64 | 6,01 | 768,5 | 853,9 | 3173 | 660,2 |
| Média (0-20) | S1 | 6,46 | 5,81 | 578,3 | 729,9 | 2797,6 | 657,3 |
| | S2 | 6,71 | 6,22 | 684,9 | 786,9 | 3506,4 | 626,3 |
| | S3 | 6,76 | 5,91 | 587,8 | 677,2 | 2622,3 | 605,3 |
| | S4 | 6,74 | 6,14 | 730,6 | 864,9 | 3302,7 | 702,8 |

Quadro 4.52 - Resultados analíticos do pH, fósforo, potássio, cálcio e magnésio

| Camada (cm) | Tratamento | pH | pH | P ₂ O ₅ | K ₂ O | CaO | MgO |
|-----------------|------------|--------------------|-------|-------------------------------|------------------|---------|---------|
| | | (H ₂ O) | (KCl) | (mg/kg) | (mg/kg) | (mg/kg) | (mg/kg) |
| 0-10 | S1 | 6,35 | 5,65 | 637,7 | 881,7 | 2918,6 | 737,8 |
| | S2 | 6,63 | 6,09 | 1027,5 | 1185,6 | 4423,8 | 857,2 |
| | S3 | 6,42 | 5,73 | 496 | 894,6 | 2644,5 | 700,4 |
| | S4 | 6,68 | 6,05 | 981,3 | 812,4 | 2994,2 | 664,7 |
| 10-20 | S1 | 6,58 | 5,67 | 663,5 | 820,5 | 2995,9 | 646,9 |
| | S2 | 6,77 | 5,96 | 999,9 | 834,9 | 3316,7 | 585,2 |
| | S3 | 6,61 | 5,67 | 774,5 | 871,5 | 3056,2 | 672,4 |
| | S4 | 6,87 | 5,96 | 888,4 | 655,6 | 3045,4 | 541,2 |
| Média (0-20) | S1 | 6,465 | 5,66 | 650,6 | 851,1 | 2957,25 | 692,35 |
| | S2 | 6,7 | 6,025 | 1013,7 | 1010,25 | 3870,25 | 721,2 |
| | S3 | 6,515 | 5,7 | 635,25 | 883,05 | 2850,35 | 686,4 |
| | S4 | 6,775 | 6,005 | 934,85 | 734 | 3019,8 | 602,95 |

Da análise dos dados dos Quadros 4.50 a 4.52, verifica-se que os valores do pH estão próximos da neutralidade em todas as datas e que os teores em fósforo, potássio, cálcio e magnésio, são muito elevados em todas as datas e tratamentos. Porque no final do 2º ciclo o perfil do solo foi cavado, logo com mistura de camadas, o valor médio das camadas 0-10 cm e 10-20 cm só pode ser comparado à média dos valores das camadas equivalentes em setembro de 2016. As diferenças encontradas são pequenas e negligenciáveis atendendo aos altos valores em nutrientes em comparação. Entre o início e o final do 3º ciclo registou-se que os valores em nutrientes são mais elevados no final do que no princípio, explicáveis pelo balanço positivo entre a libertação de nutrientes e os exportados pela planta.

Os tratamentos S2 e S4, em janeiro de 2018, apresentam quase o dobro dos teores em P_2O_5 , quando comparados com os tratamentos S1 e S3, refletindo aqueles o P adicionado.

No Quadro 4.53 apresenta-se os resultados do rendimento para os 3 ciclos culturais.

Quadro 4.53 - Resultados do rendimento nos 3 ciclos culturais

| Ciclo cultural | Tratamento | Peso médio dos frutos | | Peso médio das plantas | |
|----------------|------------|-----------------------|----------------------|------------------------|----------------------|
| | | n | $\mu \pm \sigma$ (g) | n | $\mu \pm \sigma$ (g) |
| 1º | - | 74 | 1637 ± 310 | 73 | 2972 ± 642 |
| | P1 | 59 | 1527 ± 409 | 59 | 2116 ± 672 |
| 2º | P2 | 58 | 1254 ± 410 | 59 | 2051 ± 569 |
| | P3 | 58 | 1549 ± 403 | 27 | 2019 ± 673 |
| | P4 | 57 | 1573 ± 424 | 59 | 1994 ± 651 |
| 3º | P1 | 79 | 1142 ± 389 | 304 | 1851 ± 793 |
| | P2 | 66 | 1167 ± 375 | 268 | 1773 ± 785 |
| | P3 | 62 | 1151 ± 365 | 228 | 1820 ± 777 |
| | P4 | 50 | 1162 ± 374 | 189 | 1735 ± 762 |

Da análise dos dados, verifica-se que o peso médio dos frutos e das plantas decresceu ligeiramente do 1º ciclo para o 2º ciclo, e bastante deste para o 3º ciclo. Os valores representados podem ser considerados muito superiores ao padrão da fileira nos 2 primeiros ciclos, e equivalentes no 3º ciclo.

4.5.4 Avaliação Agronómica e Ambiental

A explicação para TVA tão díspares nas camadas 0-10 cm e 10-20 cm, residem essencialmente na composição mineral e orgânica das camadas. A 1ª camada é essencialmente constituída por terra com cerca de 3% de MO. A 2ª camada, para além da terra, contém materiais orgânicos. Sendo o SO um produto maduro a taxa de decomposição é baixa quando comparada com a LVT, que é um produto verde composto por uma fração lábil e outra resistente. A combinação destes dois materiais orgânicos com terra explica a TVA 7,2 vezes superior.

A razão porque a camada 0-10 cm é apenas constituída por terra reside no facto que o sistema radicular do ananaseiro não coloniza aquela, devido à técnica de preparação do plantio e à profundidade de plantação e também porque o humedecimento do perfil do solo por rega gota a gota é mais uniforme e homogéneo quando comparado com uma camada rica em MO.

Os teores em N e em P_2O_5 apresentados são muito elevados tanto no início como no final dos ciclos, e muito acima dos teores em N e P exportados pela cultura. Em nenhum momento foi

detetada qualquer disfunção entre o desenvolvimento da planta e/ou dos frutos e o elevado teor em nutrientes na solução do solo. Em todo o caso, constata-se que não só a planta do ananás não responde ao excesso em azoto e fósforo, como os compostos orgânicos SO e LVT, por si só, libertam para a solução do solo quantidades daqueles nutrientes muito acima das necessidades de desenvolvimento da planta e dos frutos.

O peso médio dos frutos está associado ao peso médio das plantas no momento da indução floral e este dependente do peso médio do plantio e da data de plantação. Ao longo dos 3 ciclos culturais o rendimento decresceu do 1º para o último. Os valores alcançados no 1º ciclo são considerados de excelente para o padrão local e os do 3º ciclo normais.

Embora a riqueza nutricional tenha decrescido do 1º para o 3º ciclos, o rendimento é também influenciado por outros fatores, nomeadamente pela época de colheita, os frutos de novembro-dezembro são muito maiores e mais densos do que os frutos de maio-junho, pela qualidade do plantio, a qual pode alongar ou encurtar o ciclo produtivo.

O excesso em azoto e fósforo revelado pelas análises do solo não têm impacto negativo no ambiente, porque a produção em estufa processa-se quase em circuito fechado. As águas de drenagem para fora da rizosfera, devidas às regas excessivas, são pouco frequentes devido ao ananás consumir muito pouca água (0,5mm/dia), o meio é muito poroso, logo mesmo havendo excesso de água não há lugar a anaerobiose, processo este que favorece a produção de gases com efeito estufa.

4.6 Cultura do Ananaseiro: Estufa nº2

Objetivo principal: Avaliação do efeito SO-MUSAMI, ao longo de 2 ciclos culturais, no enriquecimento e na taxa de variação em carbono do solo.

Objetivo secundário: Avaliação do efeito SO na produção de ananás ao longo de 2 ciclos culturais.

4.6.1 Introdução

O rendimento e a qualidade dos frutos da cultura do ananás em estufa dependem de muitos fatores, nomeadamente: ambiente físico, nutricional e biológico proporcionado pelos substratos que compõem o perfil do solo, qualidade do plantio, época de plantação e de colheita e da condução da cultura ao longo de todo o ciclo. Ao longo de 2 ciclos culturais e perfil do solo à base do substrato SO à mistura com terra, desenvolveu-se a cultura do ananás em estufa do tipo industrial e estudou-se a variação temporal do carbono no perfil do solo, bem como o rendimento.

No Quadro 4.54, apresenta-se a localização, área, duração e classificação científica da planta.

Quadro 4.54 - Informação geral do caso de estudo nº6

| Localização | Área | Nº de talhões experimentais | Planta | Duração |
|---|--------------------|-----------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|
| Complexo de estufa INOVA - Ribeira grande | 200 m ² | 20 | Ananas comosus "Smooth Cayenne" | Setembro de 2014 a setembro de 2018 |

4.6.2 Materiais e Métodos

4.6.2.1 Caracterização do solo

No Quadro 4.55 apresenta-se a granulometria das terras utilizadas.

Quadro 4.55 - Granulometria

| Camada (cm) | Tratamento | AT (%) | L (%) | A (%) |
|-------------|------------|--------|-------|-------|
| 0-10 | S1 | 59,6 | 25,3 | 15,1 |
| | S2 | 61,3 | 24,3 | 14,4 |
| 10-30 | S1 | 62,7 | 23,4 | 13,9 |
| | S2 | 56,7 | 30,7 | 12,6 |

Classe textural: Franco

4.6.2.2 Materiais

Na formação dos talhões experimentais, utilizou-se os seguintes materiais orgânicos e terrosos:

- Lenha verde triturada (LVT)
- Substrato orgânico acidificado com o enxofre elementar (SOac)
- Substrato orgânico alcalino (SOalc)
- Terra grosseira $\varnothing < 20$ mm (Tg)
- Terra fina $\varnothing < 10$ mm (T)
- Terra nova (Tn)
- Corbigran (CaMgCO_3): 160 g/m^2

4.6.2.3 Delineamento Experimental

1º Ciclo cultural: 09/09/2014

Foram implementados 4 tratamentos identificados pelas sequências verticais S1, S2, S3 e S4:

Quadro 4.56 - Perfil cultural do 1º ciclo

| Profundidade (cm) | S1 | S2 | S3 | S4 |
|-------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|
| 0-5 | T + Corbigran | T + Corbigran | T + Corbigran | T + Corbigran |
| 5-15 | SOac + terra 1,5:1 (v/v) | SOalc + terra 1,5:1 (v/v) | LVT + terra 1:1 (v/v) | LVT + terra 1:1 (v/v) |
| 15-30 | | | SOac + terra 1,5:1 (v/v) | SOalc + terra 1,5:1 (v/v) |
| 30-35 | Tg | Tg | Tg | Tg |

2º Ciclo cultural: 08/01/2016

Quadro 4.57 - Perfil cultural do 2º ciclo

| Profundidade (cm) | Material |
|-------------------|---|
| 0-5 | Tn |
| 5-30 | Cava e reviramento do perfil cultural dos tratamentos S1, S2, S3 e S4 |
| 30-35 | Tg + material sobrejacente |

4.6.2.5 Amostragem do Solo e Determinações Analíticas

- **Dezembro 2015** (após colheita da produção do 1º ciclo cultural)

Recolheu-se amostras nos tratamentos S1 e S2, e na camada T + LVT dos tratamentos S3 e S4. Para efeitos analíticos considerou-se os seguintes materiais e camadas:

- Terra + Corbigran (0-5 cm): 2 amostras compostas
- Terra + LVT (5-15 cm): 2 amostras compostas
- Terra + SOac (15-30 cm): 2 amostras compostas
- Terra + SOalc (15-30 cm): 2 amostras compostas

Os parâmetros analisados foram os seguintes: Ct, Nt, pH, P₂O₅, K₂O, CaO e MgO. O Ct por via húmida, Ch e Cp foi determinado nos tratamentos S1 e SP2 e na camada T+LV. No caso da camada Terra + Corbigran, acresce a determinação do teor em CaCO₃.

- **Setembro de 2017** (após colheita da produção do 2º ciclo cultural)

Amostrado o perfil do solo em todos os talhões nas seguintes profundidades:

- Camada superficial (0-10 cm)
- Camada intermédia (10-30 cm)
- Camada do fundo (30-35 cm)

Para efeitos de análise, as camadas intermédia e superficial constituem 3 amostras por tratamento, num total de 24. No caso da camada do fundo criou-se uma amostra média por tratamento, num total de 4.

Todas as amostras foram analisadas quanto ao Ct e Nt. Para as variáveis P₂O₅, K₂O, pH, CaO, MgO, CTC e BT, Ct, Ch e Cp, H₁₅ e H_{1/3}, CE e Fe, utilizou-se amostras compostas para cada tipo de tratamento, tanto para as camadas superficiais como para as intermédias.

4.6.3 Resultados e Discussão

Na Figura 4.6, apresenta-se a correlação entre o Ct determinado pelo método da combustão por via seca e o Ct determinado por via húmida. Os valores de Ct apresentados nos Quadros 4.58 e 4.59 são os relativos à via húmida.

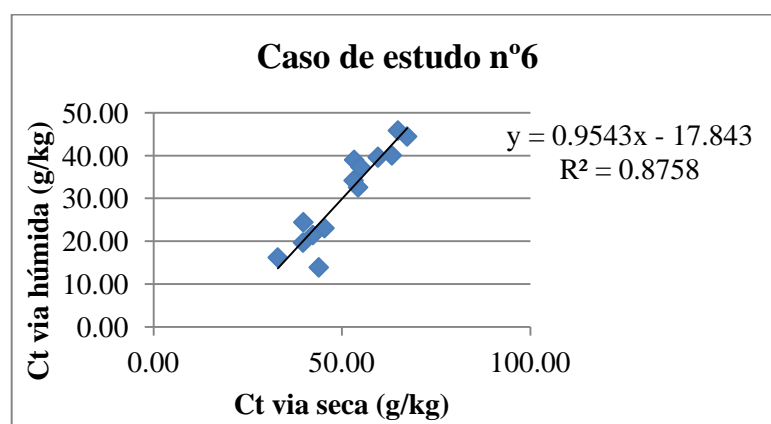


Figura 4.6 - Regressão linear do caso de estudo nº6

Na camada de Terra + Corbigran a determinação do carbono total pelo método da combustão por via seca é sobreavaliado em função do teor em Fe na terra e subavaliado pela presença de CaCO_3 .

No Quadro 4.58, apresenta-se os resultados analíticos do Ct das amostras de Terra+Corbigran, Terra+LVT, Terra+SOalc e Terra+SOac, recolhidas em Dezembro de 2015.

Quadro 4.58 – Resultados analíticos da componente química do solo

| Camada | Ct (g/kg) |
|----------------------------|-----------------|
| Terra + Corbigran (0-5 cm) | $14,9 \pm 0,7$ |
| S3 (5-15 cm) | $36,7 \pm 4,1$ |
| S1 (15-30 cm) | $32,9 \pm 6,2$ |
| S2 (15-30 cm) | $35,5 \pm 15,2$ |

Regista-se que a camada T + Corbigran é a mais pobre em Ct, em todo o caso é um valor muito alto para uma terra, quando comparada com a camada T + LVT, esta a mais rica entre todas. As camadas com T + SOac e T + SOalc apresentam valores semelhantes e próximos dos 30 g/kg. Estas diferenças resultam da riqueza orgânica dos materiais em discussão e do efeito de mistura.

O cálculo do Ct teórico incorporado no solo pela adição de SO na camada 15-30 cm foi na ordem dos 64 g/kg. Comparando este valor com os resultados de dezembro de 2015, regista-se que, em média, o teor em Ct decresceu cerca de 30 g/kg, o que corresponde a uma TVA_n de 47%.

O cálculo do Ct teórico incorporado na camada 5-15 cm pela T + LVT foi na ordem dos 24 g/kg, o que indica um acréscimo de Ct, desde a data de incorporação até dezembro de 2015, na ordem dos 12,8 g/kg, só explicado por erro no registo de LVT adicionada.

No Quadro 4.59, apresenta-se os resultados do teor em Ct da amostragem de setembro de 2017.

Quadro 4.59 - Resultados analíticos do carbono total

| Camada (cm) | Tratamento | Ct | | |
|-------------|------------|----|------------------|--------------------|
| | | n | $\mu \pm \sigma$ | C _v (%) |
| 0-10 | S1 | 3 | 34,59 ± 5,21 | 15,1 |
| | S2 | 3 | 44,09 ± 7,01 | 15,9 |
| | S3 | 3 | 39,03 ± 1,48 | 3,8 |
| | S4 | 3 | 42,56 ± 5,03 | 11,8 |
| 10-30 | S1 | 3 | 24,04 ± 5,04 | 21,0 |
| | S2 | 3 | 33,00 ± 3,39 | 10,3 |
| | S3 | 3 | 20,13 ± 1,33 | 6,6 |
| | S4 | 3 | 34,00 ± 3,61 | 10,6 |
| 30-35 | S1 | 1 | 20,05 | - |
| | S2 | 1 | 22,53 | - |
| | S3 | 1 | 13,65 | - |
| | S4 | 1 | 25,49 | - |

A TVA_n média, entre dezembro de 2015 e setembro de 2017, para os tratamentos S1 e S2 foram de 38% e 28%, respetivamente.

Os tratamentos S2 e S4 registam valores superiores de Ct em comparação com os tratamentos S1 e S3 em ambas as datas de amostragem. A quantidade de Ct diminui à medida que se desce na profundidade do perfil, sendo a camada superficial a mais próxima dos valores atingidos em 2015.

Nos Quadros 4.60 e 4.61, apresenta-se os resultados analíticos do Ct, Ch e Cp nas datas de dezembro de 2015 e setembro de 2017.

Quadro 4.60 - Resultados analíticos do carbono total, carbono humificado e carbono particulado

| Profundidade (cm) | Tratamento | Ct (g/kg) | Ch | | Cp | |
|-------------------|------------|-----------|-------|------|-------|------|
| | | | g/kg | % | g/kg | % |
| 15-30 | S1 | 39.54 | 20.54 | 51.9 | 19.00 | 48.1 |
| 15-30 | S2 | 44.46 | 21.04 | 47.3 | 23.43 | 52.7 |
| 5-15 | S3 | 34.18 | 20.42 | 59.7 | 13.76 | 40.3 |

Verifica-se que, na camada 15-30 cm, as percentagens de Ch e de Cp estão próximas dos 50%, enquanto na camada 5-15cm a percentagem de Ch é muito superior à do Cp.

Quadro 4.61 - Resultados analíticos do carbono total, carbono humificado e carbono particulado

| Camada (cm) | Tratamento | Ct (g/kg) | Ch | | Cp | |
|----------------|------------|--------------|-------|------|-------|------|
| | | | g/kg | % | g/kg | % |
| 0-10 | S1 | 37,35 | 23,88 | 63,9 | 13,47 | 36,1 |
| | S2 | 45,85 | 29,76 | 64,9 | 16,10 | 35,1 |
| | S3 | 39,71 | 22,38 | 56,3 | 17,34 | 43,7 |
| | S4 | 40,06 | 25,95 | 64,8 | 14,11 | 35,2 |
| 10-30 | S1 | 13,89 | 8,03 | 57,8 | 5,86 | 42,2 |
| | S2 | 39,01 | 24,26 | 62,2 | 14,75 | 37,8 |
| | S3 | 24,44 | 18,76 | 76,8 | 5,67 | 23,2 |
| | S4 | 32,59 | 23,41 | 71,8 | 9,18 | 28,2 |
| 30-35 | S1 | 19,69 | 16,39 | 83,3 | 3,30 | 16,7 |
| | S2 | 21,45 | 15,49 | 72,2 | 5,96 | 27,8 |
| | S3 | 16,20 | 13,18 | 81,3 | 3,02 | 18,7 |
| | S4 | 23,06 | 17,17 | 74,4 | 5,89 | 25,6 |

A camada do fundo apresenta uma maior proporção de Ch em relação ao Cp quando comparado com as restantes camadas. No caso dos tratamentos utilizados, não se identificam grandes diferenças entre estes.

Nos Quadros 4.62 e 4.63, apresenta-se os resultados analíticos do complexo de troca e bases de troca, relativos às datas de dezembro de 2015 e setembro de 2017, respetivamente.

Quadro 4.62 - Resultados analíticos do complexo de troca e das bases de troca

| Profundidade (cm) | Tratamento | Ca | Mg | Na | K | BT | CTC | V (%) |
|----------------------|------------|---------|------|------|------|-------|-------|----------|
| | | cmol/kg | | | | | | |
| 15-30 | S1 | 12,90 | 1,70 | 0,17 | 2,62 | 17,39 | 22,80 | 76,3 |
| 15-30 | S2 | 20,97 | 4,80 | 0,50 | 2,32 | 28,59 | 30,29 | 94,4 |
| 5-15 | S3 | 11,00 | 2,47 | 0,29 | 2,13 | 15,89 | 21,87 | 72,7 |

Verifica-se que a CTC e a soma das BT são superiores nos tratamentos S2 quando comparado com os tratamentos S1 e S3.

Quadro 4.63 - Resultados analíticos do complexo de troca e das bases de troca

| Camada (cm) | Tratamento | Ca | Mg | Na | K | BT | CTC | V |
|-------------|------------|-----------------------|------|------|------|-------|-------|-------|
| | | cmol _c /kg | | | | % | | |
| 0-10 | S1 | 21,42 | 3,80 | 0,19 | 1,28 | 26,69 | 27,26 | 97,9 |
| | S2 | 23,19 | 4,36 | 0,27 | 1,53 | 29,35 | 31,19 | 94,1 |
| | S3 | 22,80 | 4,31 | 0,22 | 1,39 | 28,72 | 29,68 | 96,8 |
| | S4 | 23,39 | 4,57 | 0,24 | 1,32 | 29,51 | 30,60 | 96,4 |
| 10-30 | S1 | 15,61 | 2,69 | 0,29 | 1,32 | 19,92 | 22,54 | 88,4 |
| | S2 | 24,19 | 3,59 | 0,12 | 1,74 | 29,64 | 29,64 | 100,0 |
| | S3 | 13,67 | 2,43 | 0,39 | 1,14 | 17,63 | 21,70 | 81,2 |
| | S4 | 21,17 | 3,83 | 0,24 | 1,54 | 26,77 | 26,77 | 100,0 |
| 30-35 | S1 | 8,11 | 1,32 | 0,19 | 1,48 | 11,11 | 19,19 | 57,9 |
| | S2 | 13,39 | 2,49 | 0,24 | 1,96 | 18,08 | 20,77 | 87,0 |
| | S3 | 10,49 | 2,01 | 0,42 | 1,52 | 14,44 | 17,29 | 83,5 |
| | S4 | 13,13 | 2,23 | 0,38 | 1,66 | 17,40 | 22,18 | 78,5 |

Os tratamentos S2 e S4 apresentam uma maior soma de bases em relação aos tratamentos S1 e S3, exceto na camada superficial onde os valores das bases são todos muito próximos. Isto deve-se à acumulação de sais na superfície do solo devidos à rega gota à gota e à cobertura do solo com filme plástico preto.

Nos Quadros 4.64 e 4.65 apresenta-se os resultados do azoto total e da razão C/N nas datas de dezembro de 2015 e setembro de 2017, respetivamente.

Quadro 4.64 - Resultados analíticos do azoto total e da razão C/N

| Profundidade (cm) | Tratamento | Nt (g/kg) | C/N |
|-------------------|-------------------|-----------|-----|
| 15-30 | S1 | 3,5 ± 0,6 | 9,5 |
| 15-30 | S2 | 4,4 ± 2,1 | 8,1 |
| 5-15 | S3 | 3,9 ± 0,2 | 9,3 |
| 5-0 | Terra + Corbigran | 2,8 ± 0,2 | 5,1 |

Da análise dos dados do Quadro 4.64, verifica-se que o teor em Nt é muito elevado e que a razão C/N se encontra dentro do intervalo recomendado, isto é, C/N < 10.

Quadro 4.65 - Resultados analíticos do azoto total e da razão C/N

| Camada (cm) | Tratamento | Nt | | |
|-------------|------------|----|------------------|------|
| | | n | $\mu \pm \sigma$ | C/N |
| 0-10 | S1 | 1 | 2,13 \pm 0,19 | 16,2 |
| | S2 | 1 | 2,96 \pm 0,11 | 14,9 |
| | S3 | 1 | 2,40 \pm 0,28 | 16,3 |
| | S4 | 1 | 2,43 \pm 0,44 | 17,5 |
| 10-30 | S1 | 3 | 1,92 \pm 0,07 | 12,5 |
| | S2 | 3 | 1,78 \pm 0,48 | 18,5 |
| | S3 | 3 | 1,75 \pm 0,11 | 11,5 |
| | S4 | 3 | 2,14 \pm 0,67 | 15,9 |
| 30-35 | S1 | 1 | 1,62 | 12,4 |
| | S2 | 1 | 1,30 | 17,3 |
| | S3 | 1 | 1,22 | 11,2 |
| | S4 | 1 | 1,78 | 14,3 |

Da análise dos dados do Quadro 4.65, camada 0-10 cm, verifica-se que o teor em Nt é elevado e a razão C/N > 15. Na camada 10-30 cm, a qual corresponde à espessura rizosférica por excelência, verifica-se que os teores em Nt mantêm-se altos, mas significativamente mais baixos do que na camada 0-10 cm.

Sendo os lotes de SO relativamente aos tratamentos S1 e S3 iguais entre si, mas diferentes dos tratamentos S2 e S4, estes igualmente iguais entre si, a justificação para diferentes razões C/N poderá estar nos teores em carbono dos respetivos lotes.

Nos Quadros 4.66 e 4.67, apresenta-se os dados relativos ao pH, P₂O₅, K₂O, CaO e MgO nas datas de dezembro de 2015 e setembro de 2017, respetivamente.

Quadro 4.66 – Resultados analíticos do pH, fósforo, potássio, cálcio e magnésio

| Profundidade (cm) | Tratamento | pH | pH | P ₂ O ₅ | K ₂ O | CaO | MgO |
|-------------------|-------------------|--------------------|-------|-------------------------------|------------------|---------|---------|
| | | (H ₂ O) | (KCl) | (mg/kg) | (mg/kg) | (mg/kg) | (mg/kg) |
| 15-30 | S1 | 5,6 | 5,1 | 163,85 | 1019,80 | 1773,60 | 389,90 |
| 15-30 | S2 | 6,6 | 6,0 | 523,56 | 1131,10 | 3500,10 | 577,40 |
| 5-15 | S3 | 6,1 | 5,6 | 3,50 | 827,30 | 1800,70 | 283,90 |
| 0-5 | Terra + Corbigran | 5,7 | - | - | - | - | - |

Da análise dos dados, verifica-se que o pH da camada T + Corbigran é próximo do pH das camadas com material orgânico. A ineficiência do Corbigran na correção da acidez da terra, um ano após da sua distribuição à superfície, é explicada pela deficiente dissolução do CaCO₃. O valor de pH nos tratamentos S1 e S2 está em correspondência com os substratos dos tratamentos S1 e S2.

Os teores em P_2O_5 nos tratamentos S1 e S2 são muito distintos, normal no S1 e muito alto no S2. Relativamente à camada 5-15 cm, tratamento S3, constituído por terra + LVT, verifica-se que o valor de P_2O_5 é muito baixo, explicado pela natureza do material orgânico LVT. Quanto aos valores de K_2O , CaO e MgO, verifica-se que são muito altos, refletindo a riqueza do SO e a elevada taxa de decomposição anual.

Quadro 4.67 - Resultados analíticos do pH, fósforo, potássio, cálcio e magnésio

| Camada | Tratamento | pH (H_2O) | pH | P_2O_5 | K_2O | CaO | MgO |
|--------|------------|---------------|-------|----------|---------|---------|---------|
| | | | (KCl) | (mg/kg) | (mg/kg) | (mg/kg) | (mg/kg) |
| 0-10 | S1 | 6,85 | 6,55 | 793,3 | 622,4 | 5663,6 | 626,5 |
| | S2 | 7,08 | 6,75 | 1063,4 | 766 | 6825,8 | 798,1 |
| | S3 | 6,8 | 6,39 | 645,2 | 647,5 | 6006,4 | 682,1 |
| | S4 | 6,99 | 6,78 | 1042,7 | 662,4 | 6408,6 | 739,8 |
| 10-30 | S1 | 6,45 | 5,88 | 164 | 453,7 | 3119,5 | 307,9 |
| | S2 | 6,82 | 6,27 | 393,5 | 674 | 4310,4 | 454,3 |
| | S3 | 6,41 | 5,74 | - | 385,2 | 2842,8 | 259,6 |
| | S4 | 6,66 | 6,09 | 441,6 | 572,9 | 3503,3 | 401,8 |

Da análise dos dados do Quadro 4.67, verifica-se que a camada 0-10 cm apresenta pH neutro e teores em P_2O_5 , K_2O , CaO e MgO muito elevados, reflexo dos materiais orgânicos adicionados à superfície após a cava do perfil na transição do 1º ciclo para o 2º ciclo cultural.

Relativamente à camada rizosférica por excelência (10-30 cm), verifica-se que os valores de pH estão ligeiramente abaixo da neutralidade e que os teores em P_2O_5 dos tratamentos S2 e S4 são muito elevados e cerca de 2,5 mais do que no tratamento S1. A explicação para tão grande diferença em P_2O_5 poderá residir no maior bloqueamento deste elemento em pH mais ácido, uma vez que as exportações planta/fruto são aproximadamente iguais.

Quanto aos teores em K_2O , CaO e MgO os valores registados são todos muito elevados, e estando a um nível tão elevado, agronomicamente pouco importa que as diferenças entre tratamentos sejam da ordem das centenas ou mesmo milhares de unidades.

No Quadro 4.68, apresenta-se os resultados do $CaCO_3$ resultantes da aplicação de Corbigran na camada superficial em 2015.

Quadro 4.68 - Resultados analíticos do CaCO₃ nas amostras T + Corbigran

| Amostra | CaCO ₃ (%) | pH (H ₂ O) | pH (KCl) |
|---------|-----------------------|-----------------------|----------|
| 1 | 4,65 | 6,66 | 6,30 |
| 2 | 3,90 | 6,42 | 5,90 |
| 3 | 3,44 | 6,57 | 6,05 |

Os resultados mostram que a percentagem de CaCO₃ ativo ainda é muito significativa.

No Quadro 4.69, apresenta-se os resultados das constantes de humidade e da condutividade elétrica.

Quadro 4.69 - Resultados analíticos das constantes de humidade e condutividade elétrica

| Camada (cm) | Tratamento | Humidade (%) | | | CE (dS/m) |
|-------------|------------|-----------------|------------------|----------------|-------------|
| | | H ₁₅ | H _{1/3} | A _u | |
| 0-10 | S1 | 16,1 | 35,2 | 19,1 | 1,46 ± 0,3 |
| | S2 | 17,7 | 37,0 | 19,3 | |
| 10-30 | S1 | 14,8 | 31,9 | 17,1 | 0,47 ± 0,08 |
| | S2 | 16,9 | 34,9 | 18,0 | |

Verifica-se que as diferenças entre os tratamentos S1 e S2 são muito pequenas, as quais caem dentro do erro analítico. Quanto à CE verifica-se que efetivamente a camada 0-10cm apresenta uma CE maior, devido à presença do COBIGRAN, a qual se distingue das de maior profundidade.

No Quadro 4.70, apresenta-se os resultados do rendimento no 1º e 2º ciclo.

Quadro 4.70 - Resultados do rendimento do 1º ciclo e 2º ciclo

| Tratamento | 1º ciclo | | 2º ciclo | |
|----------------------------|----------|---------------|----------|-------------|
| | n | μ ± σ (g) | n | μ ± σ (g) |
| Peso médio dos frutos (g) | S1 | 40 3096± 628 | - | - |
| | S2 | 40 2977± 612 | - | - |
| | S3 | 39 3110 ± 741 | - | - |
| | S4 | 40 3116 ± 613 | - | - |
| Peso médio das plantas (g) | S1 | 40 2908± 764 | 30 | 2008± 940 |
| | S2 | 40 2619 ± 650 | 40 | 1523± 655 |
| | S3 | 39 2894 ± 899 | 40 | 2152 ± 1102 |
| | S4 | 40 3115 ± 734 | 30 | 2478± 1015 |

O rendimento obtido na produção do 1º ciclo cultural está muito para além do excelente para o padrão local. Os tratamentos não se distinguem entre si. Só na ilha de Tenerife (CANÁRIAS), com a cultivar MD2 e produção em estufa, se obtêm rendimentos semelhantes.

No 2º ciclo de produção só são apresentados os dados relativos ao peso das plantas. Os pesos médios são elevados mas inferiores aos do 1º ciclo.

4.6.4 Avaliação Agronómica e Ambiental

A taxa de variação anual do carbono no solo varia com os tratamentos e é muito maior no 1º ciclo cultural do que no 2º, respetivamente de 50% e de 25%.

Com taxas de decomposição da MO tão elevadas a riqueza em nutrientes no solo também é muito alta. Apesar do SO dosear teores percentuais em azoto e fósforo muito baixos, a verdade é que com os quantitativos aplicados por volume de solo, os teores em nutrientes libertados ao longo do ciclo estão muito para além dos teores exportados pela cultura.

Quanto à produção, registaram-se frutos e plantas com peso médio na ordem dos 3,1 kg e 2,8 kg, respetivamente, valores esses de exceção quando comparados com a produção da fileira.

Nenhuma disfunção nutricional foi registada, embora a qualidade dos frutos seja, para a mesma época de colheita, afetada pela maior dimensão dos frutos.

Conclui-se que a cultura do ananaseiro em estufa responde positivamente à riqueza nutricional dos substratos orgânicos incorporados no solo.

Por tratar-se de uma produção de ciclo médio da ordem dos 15 meses, em que as perdas por lixiviação de azoto, se as regas forem bem conduzidas, são quase inexistentes, os efeitos positivos do SO podem prolongar-se por dois ou mais ciclos culturais.

5 CONCLUSÕES

Dos seis casos de estudo, cinco revelaram que a adição de SO, todos em sistemas agrícolas conservativos, aumenta significativamente o teor em carbono do solo. A permanência do SO no solo prolonga-se por três ou mais anos. Em sistema agrícola regressivo, como é o da cultura do milho forrageiro com excesso de mobilizações, o teor em SO, ao fim de um ano cultural, é negligenciável.

A TVA registada no conjunto dos ensaios do solo variou entre 15% a 50% no primeiro ciclo cultural, decrescendo nos anos subsequentes.

O SO proporcionou ao solo um acréscimo em carbono particulado e humificado, com a proporção do primeiro a decrescer com o tempo e a do segundo a crescer. Estes compostos influenciam positivamente as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Como indicadores dessa influência, salienta-se os aumentos da capacidade de troca catiónica, do grau de saturação em bases, dos teores em água a 1/3 e a 15 atmosferas, dos teores em macronutrientes e a grande atividade biológica, esta medida pela abundância de anelídios e de fungos filamentosos decompositores do SO. Outro indicador revelador da boa atividade biológica é a razão C/N, a qual se mantém num intervalo ótimo (8-12). O pH dos solos ácidos também é melhorado.

A cultura da bananeira, em regime de sequeiro, apresentou, nos tratamentos com SO, desenvolvimentos vegetativos excepcionais e muito superiores ao tratamento testemunha, este com fertilização orgânica e mineral recomendada em modo de produção biológica. Em regime de regadio, plantação nova e aplicação maciça de SO, cerca de 80kg/m², a avaliação da resposta vegetativa e produtiva da planta foi considerada de excelente para o padrão edafológico e cultural local.

Na cultura do ananás em estufa registaram-se, durante 2 e 3 ciclos culturais e sem novas adições de SO, excelente desenvolvimento das plantas e frutos com peso médio muito superior à média das boas produções locais.

Na cultura do maracujá os rendimentos dos tratamentos com SO foram semelhantes aos obtidos no tratamento testemunha. A técnica utilizada na plantação impediu o desenvolvimento radicular para fora da cova de plantação e, conseqüentemente, anulou parcialmente o efeito do SO.

A presença na rizosfera de teores elevados em azoto, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e outros elementos nutricionais não originaram disfunções no desenvolvimento vegetativo e reprodutivo das culturas em estudo.

Como em todos os tratamentos com SO não foram adicionados fertilizantes minerais e o comportamento das culturas foi superior nestes quando comparado com o tratamento testemunha, conclui-se que o substrato orgânico SO pode substituir com vantagens agronómicas e ambientais os fertilizantes minerais.

A não inclusão nesta dissertação de informação mais detalhada sobre os casos de estudo apresentados limita a apreensão expedita das metodologias utilizadas e da eficácia do SO no rendimento das culturas e, conseqüentemente, na reprodutibilidade dos ensaios realizados. Para mais informações, poderão ser solicitados ao INOVA os relatórios detalhados sobre os casos de estudo apresentados.

A avaliação da incorporação da matéria orgânica no solo é um processo complexo que contém inúmeros fatores e variáveis que afetam o comportamento daquela. No âmbito desta dissertação, não foi possível quantificar muitas destas variáveis com a profundidade e clareza desejável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brito, L. M. (2017). *Compostagem, Fertilização do Solo e Substratos*. Publindústria, Edições Técnicas.
- Carpenter-Boggs, Kennedy, & Reganold. (2000). *Organic and biodynamic management: Effects on soil biology*. Soil Science Society of America Journal, Vol. 64, Issue 5, pp. 1651-1659.
- Clark, M. S., Horwarth, W. R., Shennan, C., & Scow, K. M. (1998). *Changes in soil chemical properties resulting from organic and low-input farming practices*. Agronomy Journal, Vol. 90, Issue 5, pp. 662-671.
- Costa, J. B. (1995). *Caracterização e Constituição do Solo*. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa.
- Cruz, C. (2013). *Caracterização do SO - MUSAMI*. Faculdade de Ciências - Universidade de Lisboa.
- Day, J. (2015). *Pros and Cons of Organic vs. Chemical Fertilizers*. Today's Homeowner (página internet). <https://www.todayshomeowner.com/debate-over-organic-chemical-fertilizers/>.
- Fernandes, A. C., Guerra, M. D., Ribeiro, R., Rodrigues, S. (2018). *Relatório do Estado do Ambiente 2018*. Agência Portuguesa do Ambiente, pp. 53-56.
- GPP - Gabinete de Planeamento, Políticas e Administração Geral (2016). *Agricultura, Silvicultura e Pesca - Indicadores 2016*. Praça do Comércio, Lisboa.
- Hénin, S., & Dupuis, M. (1945). *Essai de bilan de la matière organique du sol*. Annales Agronomiques, Vol. 15, pp. 17-29.
- Jenkinson, D. (1990). *The turnover of organic-carbon and nitrogen in soil*. Philosophical Transactions of the Royal Society B, Vol. 329, Issue 1255, pp. 361-368.
- Lou, X. F., & Nair, J. (2009). *The impact of landfilling and composting on greenhouse gas emissions - A review*. Bioresource Technology, Vol. 100, Issue 16, pp. 3792-3798.

-
- Lourencetii, C., Spadotto, C., Santiago-Silva, M., & Ribeiro, M. (2005). *Assessment of groundwater contamination potential by pesticides: comparison among methods of leaching prediction*. *Pesticidas: R. ecotoxicol. e meio ambiente*, Vol. 15, pp. 1-14.
- Martins, J. C., & Fernandes, R. (2017). *Processos de degradação do solo – medidas de prevenção*. *Vida Rural*, Vol. Maio 2017, pp. 34-36.
- Pacheco, C. A., & Teixeira, F. M. (2016). *Avaliação do potencial produtivo do composto orgânico FO-MUSAMI nas fileiras da horticultura, fruticultura, floricultura e agricultura - MUSAMI*, Operações Municipais do Ambiente E.I.M., S.A.
- Parton, W., Schimel, D., Cole, C., & Ojima, D. (1987). *Analysis of factors controlling soil organic matter levels in Great Plains grasslands*. *Soil Science Society of America Journal*, Vol. 51, Issue 5, pp. 1173-1179.
- Sánchez, F. I., & Delgado, J. L. (2007). *Compostaje. 13. Efecto de la aplicación del compost sobre las propiedades físicas y químicas del suelo*. pp. 307-325.
- Santos, J. Q. (2001). *Fertilização e Ambiente: Reciclagem Agro-Florestal de Resíduos e Efluentes*. Europa-América, Lda., pp.15-30.
- Senesi, N. (1989). *Composted materials as organic fertilizers*. *Science of The Total Environment*, Vol. 81-82, pp. 521-542.
- Snyder, C., Bruulsema, T., Jensen, T., & Fixen, P. (2009). *Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects*. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Vol. 133, Issues 3-4, pp. 247-266.
- Sorensen, J. (1999). *Nitrogen effects on vegetable crop production and chemical composition*. *Acta Horticulturae*, Vol. 506, pp. 41-50.
- TaskEasy (2015). *Organic Fertilizers vs. Chemical Fertilizers*. TaskEasy (página de internet). <https://www.taskeasy.com/blog/2015/04/10/organic-fertilizers-vs-chemical-fertilizers/>.
- Wild, A. (1993). *Soils and the Environment: An Introduction*. (pp. 1-12; 107-135; 211-232;249-275).

ANEXO A - LEGISLAÇÃO

Diretiva 2008/98/CE

A diretiva estabelece o enquadramento legal para o tratamento dos resíduos na União Europeia (UE). Destina-se a proteger o ambiente e a saúde humana, sublinhando a importância da utilização de técnicas adequadas de gestão, valorização e reciclagem dos resíduos a fim de reduzir as pressões exercidas sobre os recursos e melhorar a sua utilização.

O Decreto-Lei n.º 73/2011, de 17 de junho

Procede à terceira alteração ao Decreto-Lei n.º 178/2006, de 5 de Setembro, transpõe a Diretiva n.º 2008/98/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Novembro de 2008, relativa aos resíduos, e procede à alteração de diversos regimes jurídicos na área dos resíduos.

O Decreto-Lei n.º 73/2011, de 17 de junho procede, ainda, à alteração dos seguintes diplomas: Decreto-Lei n.º 366-A/97, de 20 de dezembro, Decreto-Lei n.º 111/2001, de 6 de abril, Decreto-Lei n.º 153/2003, de 11 de julho, Decreto-Lei n.º 196/2003, de 23 de agosto, Decreto-Lei n.º 3/2004, de 3 de janeiro, Decreto-Lei n.º 190/2004, de 17 de agosto, Decreto-Lei n.º 46/2008, de 12 de março e Decreto-Lei n.º 210/2009, de 3 de setembro.

O Decreto Legislativo Regional n.º 29/2011/A, de 16 de novembro

Estabelece o regime geral aplicável à prevenção, produção e gestão de resíduos e aprova o regime jurídico do licenciamento e concessão das operações de gestão de resíduos.

As especificações dos compostos regem-se pelas orientações estipuladas nas seguintes normas e propostas:

- Decreto – Lei n.º 103/2015 de 15 de junho: *estabelece as regras a que deve obedecer a colocação no mercado de matérias fertilizantes;*
- Decisão da Comissão n.º 2001/688/CE de 20 de agosto: *estabelece os critérios ecológicos para atribuição do rótulo ecológico comunitário aos corretivos de solos e aos suportes de cultura;*
- Regulamento (CE) n.º 834/2007 do Conselho, de 28 de junho: *estabelece os princípios do modo de produção biológico de produtos agrícolas, conjugando com o Regulamento (CE) n.º 889/2008 da Comissão, de 5 de setembro, que estabelece as normas de execução do Regulamento (CE) n.º 834/2007*

ANEXO B – CARACTERIZAÇÃO DO SO-MUSAMI

| PARÂMETROS FÍSICOS | PARÂMETROS QUÍMICOS | |
|---|--|---|
| | SO-MUSAMI (Neutro) | SO-MUSAMI (Alcalino) |
| Massa volúmica seca: 0,4 kg/dm ³ = 400 kg/m ³ ; Massa volúmica húmida: 0,75 kg/dm ³ = 750 m ³ ; Teor em água: <40% (M/M); Porosidade: 78% (V/V); Condutividade elétrica: 1,18 mS/cm; Granulometria: 1%>20mm; 8% entre 10-20mm; 33% entre 5-10mm; 58% <5mm; Materiais inertes antropogênicos: 0,24% | MO = 33%; Azoto total = 0,96%; C/N = 19; pH = 7,1; Fósforo total (P₂O₅) = 0,40%; Potássio total (K₂O) = 1,6%; Cálcio total (CaO) = 2,05%; Magnésio total (MgO) = 1,05%; Boro total = <1,67 mg/kg; Capacidade de troca catiônica: Muito elevada (=40 cmol/kg), com Ca/Mg troca =2,5 e K de troca muito alto; Zinco extraível = 153 mg/kg. Teores totais em metais pesados, expressos em mg/kg: Cádmi= 0,16; Crómio= <33,3; Cobre= 41; Mercúrio= 0,07; (CLASSE I) Níquel= <33,3; Chumbo= <33,3; Zinco = 153 | MO = 31,47%; Azoto total = 1,18%; C/N = 14; pH = 8,4; Fósforo total (P₂O₅) = 0,48%; Potássio total (K₂O) = 1,49%; Cálcio total (CaO) = 2,06%; Magnésio total (MgO) = 1,15%; Boro total = <16,8 mg/kg; Capacidade de troca catiônica: Muito elevada (=40 cmol/kg), com Ca/Mg troca =2,5 e K de troca muito alto; Zinco extraível = 125 mg/kg. Teores totais em metais pesados, expressos em mg/kg: Cádmi= 0,18; Crómio= <21; Cobre= 37,33; Mercúrio= 0,06; (CLASSE I) Níquel= <25,6; Chumbo= <21,06; Zinco = 125 |

| | | |
|------------------------|---------------------|---|
| Características | Morfológicas | Material orgânico de cor muito escura; granulometria menor que 25mm com 70% inferior a 5mm; percentagem de inertes menor que 1%; ao tato pouco húmido e pouco aderente; quando muito húmido e pressionado molda-se em bola e suja as mãos. |
| | Físicas | Massa volúmica húmida: 0,6 a 0,7 Kg/dm ³ ; humidade de 30 a 50%; máxima retenção de água de 70% a 80% em volume; elevada capacidade de retenção de iões (CTC > 35 cmol +/Kg); |
| | Químicas | Teor em matéria orgânica (MO) > 30%; pH neutro a alcalino; C/N < 15; teor em metais pesados muito baixo, classificado como classe I; muito rico em cálcio, magnésio, potássio, enxofre, ferro, boro. |
| | Biológicas* | Isento de organismos patogénicos (E. coli e outros) e de sementes e propágulos viáveis; decomposição lenta com libertação progressiva dos nutrientes; propriedades estimulantes do enraizamento das plantas e depressivas quanto a agentes patogénicos (e.g. fusarium); apresenta microrganismos sintetizadores do azoto atmosférico e solubilizadores do fósforo orgânico. |

*Fonte: Cristina Cruz, 2013 – *Caracterização do SO - MUSAMI*

ANEXO C – MÉTODOS DE ANÁLISE DE SOLOS

| Parâmetro | Método de análise |
|-----------------------------------|---|
| Análise granulométrica | Escala de Attenberg; método de crivagem (areia grossa); método da sedimentação e decantação (areia fina); método da pipetagem (limo e argila); lei de Stokes. |
| Constantes de humidade | Método das placas de porcelana de Richards |
| pH | Método eletrométrico |
| Carbono orgânico total | Método de combustão por via seca - Aparelho de Strohlein; Método de combustão por via húmida - Springer & Klee |
| Azoto total | Método de Kjeldahl - Sistema Kjeltec |
| Fósforo e Potássio "assimiláveis" | Método de Egner-Riehm |
| Troca catiónica | Método do acetato de amónio a pH 7 |
| Carbonatos totais | Método do calcímetro |
| Ferro "livre" | Método de Mehra & Jackson |
| Magnésio e Cálcio | Absorção atómica |
| Condutividade | Pasta de saturação e eletrometria |
| Carbono particulado | Densimetria e combustão por via húmida |

Métodos de Análise de Solos

Ministério do Planeamento e da Administração do Território
Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia
Lisboa -1992

Adaptados e descritos por:

Iolanda Póvoas
Maria Fernanda Barral