

Universidade dos Açores
Departamento de Ciências Agrárias



**Avaliação da “necessidade em cal” em Andossolos da
ilha Terceira – Açores**

Mestrado em Engenharia Agronómica

Mónica Cristina Mendonça Ferreira

Angra do Heroísmo
2014

Universidade dos Açores
Departamento de Ciências Agrárias



**Avaliação da “necessidade em cal” em Andossolos da
ilha Terceira – Açores**

Dissertação para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Agronómica

Mónica Cristina Mendonça Ferreira

Orientadores: Professor Doutor João Madruga
Professor Doutor Jorge Pinheiro

Angra do Heroísmo
2014

Dedicatória

Este trabalho de tese é dedicado a minha maravilhosa filha, Madalena, tu és a minha inspiração e a minha vida. Lembra-te sempre que tu podes fazer qualquer coisa que metas na tua mente e que tens a força suficiente para aguentar qualquer coisa que surja na tua vida. Estou verdadeiramente grata por te ter em minha vida. Este trabalho é também dedicado aos meus pais, Joaquim e Belmira Ferreira, que sempre me amaram incondicionalmente e cujos bons exemplos me ensinaram a trabalhar duro para as coisas que eu aspiro alcançar. Obrigada pelo tudo e pelo nada...

Agradecimentos

Foram várias as etapas ao longo deste percurso. Etapas em que houve momentos para sorrir, momentos para chorar, momentos de alento, momentos de desânimo...

No entanto, a força de querer ir mais longe, de poder enriquecer a minha formação pessoal, de crescer, de vencer, fizeram com que esteja, aqui e agora, a escrever este agradecimento que poderá parecer vago porque, como se costuma dizer, não há palavras para agradecer, no entanto evidencio:

A Deus pelo dom da vida, e pela perseverança que me fez alcançar este objetivo;

Às minhas 3 brilhantes estrelinhas lá no céu, que sempre me guiam arduamente;

Ao Professor Doutor Jorge Pinheiro fonte de sabedoria, pela ajuda, apoio, dedicação e confiança em mim depositados ao longo deste trabalho;

Ao Professor Doutor João Madruga pelas suas palavras, ensinamentos e confiança em mim depositados;

Eu acredito que nunca teria concluído este trabalho e chegar até aqui se não tivesse a oportunidade de ter iniciado a trabalhar no laboratório de Solos e Plantas da Universidade dos Açores através da Direção Regional da Ciência e Tecnologia como bolsista de investigação e estou certa de que um simples obrigado nunca será suficiente para transmitir minha gratidão por suas críticas, elogios e ensinamentos para todos os que me abraçaram e abraço no laboratório. Cada membro, Engenheira Lourdes Matos, Paulo Fagundes, Merilda Araújo e Cecília Amaral que me inspiram em sua própria maneira de amar e perseguir os meus desejos académicos;

Ao Professor Doutor Alfredo Borba e seus técnicos bem como à Professora Doutora Teresa Lima pela autorização e confiança no uso do aparelho de Azotos;

Ao Professor Doutor João Coutinho pela amizade e interajuda bem como seus conselhos;

Aos meus pais Joaquim e Belmira pelos mais importantes ensinamentos da minha vida;

À minha rica irmã Débora e meu afilhado Diogo pelo amor, companheirismo, tolerância e alegria;

À minha filha Madalena Coelho por quem devo lutar, menina dos meus olhos, aquele amor diferente de qualquer outra coisa no mundo, que não obedece a lei ou piedade, te devo a minha alegria e vontade de viver a cada segundo;

À minha amiga Rita, por todo o apoio, amizade e ajuda tanto física, psicológica e intelectual, que sempre demonstrou ao longo da realização deste trabalho, e durante toda a minha formação académica;

Ao Bruno pelo auxílio, amizade e compreensão que revelou na realização deste trabalho;

Ao colega Marco Rosa por toda ajuda, amizade e compreensão;

À Professora Doutora Maria de Lurdes Dapkevicius pela ajuda;

A todos que passaram em minha vida agradeço ...

“Hoje tantos anos depois, de tudo ficaram três coisas: a certeza de que estava sempre começando, a certeza de que era preciso continuar e a certeza de que seria interrompido antes de terminar. Fazer da interrupção um caminho novo, fazer da queda, um passo de dança, do medo, uma escada, do sonho uma ponte, da procura, um encontro.”

Fernando Pessoa

Resumo

O solo é o principal fornecedor de nutrientes e de água às plantas, dependendo o seu nível de fertilidade da interação entre características físicas, químicas e biológicas.

Em solos muito ácidos as plantas apresentam, frequentemente, sintomas de toxicidade ou de carência em elementos nutritivos. A correção do excesso de acidez dos solos é efetuada através da calagem, ou seja, da aplicação de um corretivo que permita a subida dos valores do pH do solo. A calagem é uma prática agrícola recomendada, na maioria das situações, proporcionando benefícios económicos e até ambientais. O presente estudo baseou-se, inicialmente, na caracterização analítica de 30 amostras selecionadas em locais representativos na Ilha Terceira. Posteriormente, foram selecionadas 4 amostras que se submeteram a incubação durante 10 semanas, com quatro níveis de carbonato de cálcio (CaCO_3) (0; 3.33; 6.66 e 9.99 g).

Os valores da necessidade em cal foram calculados tendo por base as curvas de neutralização individuais obtidas para se atingir o valor de pH em água desejado, 6,5.

Foram avaliados dois dos testes laboratoriais mais comuns baseados em soluções tamponizadas: Shoemaker-McLean-Pratt (SMP) e Adams e Evens (AE), por comparação com o método das curvas de neutralização o qual tem sido utilizado por muitos autores para calibrar diferentes métodos baseados em soluções tampão para atingir determinados valores de pH próximos da neutralidade.

A comparação dos resultados obtidos com os 4 solos sujeitos a incubação mostra que enquanto o método SMP dá resultados excessivos quando comparados com os obtidos por incubação no final das 10 semanas o método AE apresenta valores bastante mais próximos, indicando-o claramente como o método laboratorial de solução tamponizada mais adequado para o cálculo da “necessidade em cal”, no contexto do sistema produtivo estudado.

O risco de toxicidade alumínica nos Andossolos de natureza alofânica, poderá ser reduzido ou nulo, pois os valores de alumínio de troca, encontrados em todos os solos analisados são, sem exceção, muito baixos ou mesmo residuais.

Abstract

Soil is the main provider of nutrients and water for plants and its fertility level depends on the interaction between its physical, chemical and biological characteristics. In very acidic soils, plants frequently display symptoms of nutrient elements toxicity or deficiency.

Excessive acidity in soils is carried out by liming, i.e. by applying a corrective that allows for a raise in the pH values of the soil. Liming is a recommended agricultural practice in most situations, affording economical and even environmental benefits. The present study was initially based on the analytical characterization of 30 selected samples from representative locations in Terceira Island. Later on, four samples were selected and submitted to incubation for 10 weeks, at four levels of calcium carbonate (CaCO_3) (0, 3.33, 6.66, and 9.99 g).

Calcium requirements' values were calculated on the basis of the individual neutralization curves obtained to attain the desired pH value in water, 6.5.

Two of the most common laboratory tests, based on buffered solutions, were evaluated, the Shoemaker-McLean-Pratt (SMP) and Adams e Evens (AE) tests, by comparison with the neutralization curve method, which has been used by many authors to calibrate different methods based on buffered solutions to attain certain pH values around neutrality.

The comparison of the obtained results with those of the 4 soils that were subjected to incubation shows that, whereas the SMP method yields excessive results when compared with those obtained by incubation at the end of 10 weeks, the AE method displays much closer results, clearly indicating the latter as the most suitable buffered solution laboratory method for calculating the "lime" requirements, within the context of the studied production system.

The aluminum toxicity risk in Andosols of allophanic nature may be low or absent, since the exchange aluminum values found in all of the analyzed soils were, without exception, very low or even residual.

Índice geral

| | |
|---|-------------------------------------|
| Dedicatória..... | i |
| Agradecimentos..... | iii |
| Resumo..... | Erro! Marcador não definido. |
| Abstract..... | Erro! Marcador não definido. |
| Índice geral..... | viii |
| Índice de figuras..... | Erro! Marcador não definido. |
| Índice de tabelas..... | Erro! Marcador não definido. |
| Lista de abreviaturas..... | xii |
| Introdução..... | Erro! Marcador não definido. |
| PARTE I – Revisão bibliográfica..... | 6 |
| 1 – Caracterização dos Andossolos da ilha Terceira..... | 6 |
| 2 – O solo como recurso natural não renovável..... | Erro! Marcador não definido. |
| 3 – A Natureza dos solos ácidos..... | viii |
| 3.1 – Fatores que afetam acidez do solo..... | Erro! Marcador não definido. |
| 3.2 – Necessidade de calcário como correção da acidez do solo..... | Erro! Marcador não definido. |
| 4 – Efeitos da calagem no solo..... | 22 |
| 4.1 – Corretivos - Efeitos de aplicação de corretivos no solo..... | Erro! Marcador não definido. |
| 4.2 – Natureza química dos corretivos..... | Erro! Marcador não definido. |
| 4.3 – Métodos para determinar a necessidade em cal com base em soluções tamponizadas..... | viii |
| 4.3.1 – Determinação da acidez potencial pelo método SMP..... | Erro! Marcador não definido. |
| 4.3.2 – Determinação da acidez potencial pelo método de AE..... | Erro! Marcador não definido. |
| PARTE II – Trabalho experimental..... | 30 |
| 5 – Material e métodos..... | 30 |
| 5.1 – Escolha dos locais para amostragem dos solos..... | Erro! Marcador não definido. |
| 5.2 – Solos estudados..... | Erro! Marcador não definido. |

| | |
|--|-------------------------------------|
| 5.3 – Colheita e preparação dos solos para incubação | viii |
| 5.4 – Determinações analíticas de acidez ativa e potencial do solo | Erro! Marcador não definido. |
| 5.4.1 – Determinação da acidez ativa pelo método de CaCl_2 0,01 mol/L | Erro! Marcador não definido. |
| 5.4.2 – Determinação de pH pelo método da solução tampão SMP | Erro! Marcador não definido. |
| 5.4.3 – Determinação de pH em água | Erro! Marcador não definido. |
| 5.4.4 – Determinação de pH pelo método da solução tampão AE | Erro! Marcador não definido. |
| 6 – Análise dos resultados | 41 |
| 7 – Discussão, conclusões | Erro! Marcador não definido. |
| Referências bibliográficas | Erro! Marcador não definido. |
| Anexos | Erro! Marcador não definido. |

Índice de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Amostras colhidas na ilha Terceira | 30 |
| Figura 2 – Identificação das amostras submetidas à experiência | 32 |
| Figura 3 – Subamostras na incubação | 33 |

Índice de Tabelas

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Calibração para necessidade em cal pelo método SMP..... | 38 |
| Tabela 2 – Calibração para necessidade em cal pelo método AE | 40 |
| Tabela 3 – Caracterização dos solos submetidos a incubação | 42 |
| Tabela 4 – Variação do pH em H ₂ O dos solos incubados (A, B, C, D) em função da dose de CaCO ₃ (T0, T1, T2, T3) e do tempo de incubação (Sm1, Sm3, Sm10) | 43 |
| Tabela 5 – Cálculo da “necessidade em cal” para atingir o pH 6,5 (CaCO ₃ - t.ha ⁻¹) dos solos incubados, por comparação com os métodos SMP e AE (tabelas). | 44 |
| Tabela 6 – Variação dos teores em nutrientes extraíveis dos solos incubados com CaCO ₃ no final da 10 ^a semana de incubação | 55 |
| Tabela 7 – Caracterização dos restantes solos | 57 |
| Tabela 8 – Cálculo da “necessidade em cal” para atingir o pH 6,5 (CaCO ₃ - t.ha ⁻¹) dos 30 solos, por comparação com os métodos SMP e AE (tabelas). | 47 |

Lista de abreviaturas

| | |
|-------------------|-------------------------------------|
| Al | Alumínio |
| AE | Método Adams e Evans |
| B | Boro |
| C | Carbono |
| Ca | Cálcio |
| CaCl ₂ | Cloreto de cálcio |
| Cal | Calcário |
| CTC | Capacidade de troca catiónica |
| EG% | Percentagem de elementos grosseiros |
| Fe | Ferro |
| HCl | Ácido Clorídrico |
| K | Potássio |
| M.O. | Matéria Orgânica |
| Mg | Magnésio |
| Mn | Manganés |
| N | Azoto |
| Na | Sódio |
| NaOH | Hidróxido de sódio |
| P | Fósforo |

| | |
|------|--|
| SAU | Superfície agrícola útil |
| SMP | Método de Shoemaker, McLean e Pratt |
| SRAF | Secretaria Regional da Agricultura e Florestas |
| Zn | Zinco |

Introdução

Atualmente 78 % da superfície total e 87 % da superfície agrícola útil dos Açores está coberta por pastagens permanentes e temporárias de média duração. As pastagens permanentes têm geralmente mais de 20 anos e as pastagens temporárias são semeadas regularmente e mantidas durante vários anos, até que o lavrador as considere demasiado infestadas ou pouco produtivas e decida renová-las. As pastagens semeadas geralmente estão integradas numa rotação com o milho híbrido destinado a silagem, raramente são ressemeadas imediatamente após a destruição da pastagem existente (Gomes, 2010).

A política agrícola seguida nos últimos anos pela Comunidade, ao definir como objetivos o aumento das produções, o aumento da produtividade da terra e do trabalho, bem como o incentivo que empreendeu à competitividade das explorações agrícolas, conduziu a uma maior pressão sobre o uso do solo e da água que em termos ambientais, e, especialmente em zonas mais sensíveis, nos evidenciam sinais menos positivos da sua utilização.

A preocupação ambiental no presente, traduzida pelo atual modelo agrícola europeu saído das recentes reformas, é um sinal esclarecedor de que a Agricultura, no âmbito das suas atividades deve cada vez mais respeitar a utilização de recursos tão importantes, mas simultaneamente escassos, como são o solo e a água, afirmando ao mesmo tempo como prioridade da sua política agrícola, o desenvolvimento rural.

As ameaças de uma agricultura menos respeitadora do ambiente, aliada a uma intensificação desmedida da exploração do solo, tem contribuído para evidenciar, no presente, situações ambientalmente negativas, como sejam: a poluição das águas superficiais e subterrâneas; a degradação da paisagem devida à intensificação cultural;

uma maior disposição dos solos à erosão; a destruição de “habitats” da fauna; a desproteção da biodiversidade; e, o abandono de terras marginais menos produtivas.

Nos Açores, onde predomina uma agricultura extensiva, estes problemas não se assumem graves, no entanto, é fundamental dedicarmos cada vez mais atenção, em especial, às práticas agrícolas desenvolvidas no dia-a-dia pelos nossos agricultores, no sentido de evitarmos situações agressivas, lesivas do ponto de vista ambiental para com a natureza dos nossos recursos agrários, bem como, promovermos práticas conducentes ao correto ordenamento do território rural, como elementos imprescindíveis na procura de equilíbrio entre a produção de bens e à preservação do meio ambiente.

Atender às necessidades corretas de fertilidade do solo é uma outra prática de primeiríssima importância, uma vez que o solo é o principal fornecedor de nutrientes e de água às plantas, por isso a sua manutenção e o seu enriquecimento atempado, quer pela utilização e gestão de adubos simples ou compostos, quer ainda pela correta aplicação de corretivos orgânicos, devem sempre ser de acordo com as suas reais necessidades, bem como as opções de exploração devem, tecnicamente, ser corretas de acordo com as boas práticas as quais o agricultor deve ter sempre presente no seu dia-a-dia.

O solo é o principal fornecedor de nutrientes e de água às plantas, dependendo o seu nível de fertilidade das características físicas, químicas e biológicas. Para preservar e melhorar a fertilidade do solo é preciso usar técnicas culturais que tenham efeito direto sobre as suas características. É fundamental, nas nossas condições, conservar e em alguns casos aumentar o seu teor em matéria orgânica, fertilizar racionalmente as culturas e corrigir a acidez do solo.

Em solos muito ácidos é frequente as plantas apresentarem sintomas de toxicidade ou de carência em elementos nutritivos. Nestes solos existe um elevado risco

das culturas absorverem em excesso os metais pesados incorporados através de adubos ou de corretivos orgânicos, originando problemas de toxicidade. A correção do excesso de acidez da terra é efetuada através da calagem, ou seja, da aplicação de um corretivo que permita a subida dos valores do pH do solo. A calagem é uma prática agrícola recomendada, na maioria das situações, proporciona benefícios económicos e até ambientais.

Além da calagem ser prática consagrada para correção da acidez dos solos, esta estimula a atividade microbiana e torna a maioria dos nutrientes mais disponíveis para as culturas, sendo esta também prática fundamental para a melhoria do ambiente radicular das plantas.

Quando praticada de forma correta, a calagem permite a exploração racional de uma área, uma vez que reduz os efeitos nocivos da acidez, diminuindo a concentração, na solução do solo, de elementos como ferro (Fe), alumínio (Al) e manganês (Mn).

A recomendação de calagem baseia-se na estimativa da acidez potencial do solo, a qual pode variar de acordo com a metodologia empregue para sua quantificação.

A quantidade de calcário a aplicar pode ser estimada por vários métodos. Um dos mais usados é o método de Shoemaker, Mc Lean e Pratt (SMP), (Shoemaker *et al.*, 1961). Em diversos países, a solução-tampão SMP (Shoemaker *et al.*, 1961) é o método mais utilizado na avaliação a acidez potencial, o qual está excluído ou sem importância nos laboratórios de análises químicas de solo de Portugal, o que se torna lamentável principalmente, pela simplicidade, rapidez, baixo custo e eficiência desse método. O método baseia-se na diminuição do pH de uma solução tampão a pH 7,5 quando em contato com o solo. Tal diminuição do pH é proporcional à acidez potencial do solo, que é fator determinante da quantidade de corretivo necessária para neutralizar a acidez. Para ser usado, o SMP é calibrado com um método padrão. O padrão normalmente

usado para este fim é a incubação de amostras de solo de uma região com níveis crescentes de carbonato de cálcio (CaCO_3) puro, durante o tempo necessário para sua reação completa e estabilização dos níveis do pH.

No presente trabalho pretendeu-se avaliar as “necessidades em cal” em Andossolos da ilha Terceira, por dois métodos de solução tamponizada: SMP e o Adams e Evens (AE) (1962) usando como referência as curvas de neutralização obtidas para os 4 solos tratados com CaCO_3 em diferentes dosagens, conforme descrito na secção de métodos e materiais. A determinação experimental das curvas de neutralização de solos ácidos e respetivas equações constitui a forma mais conveniente de calibrar métodos laboratoriais mais rápidos de determinação de acidez do solo, tais como SMP e AE, conforme é referido insistentemente na literatura.

Por outro lado, é frequentemente ressaltada a necessidade de regionalização dos estudos, em virtude das variações na tipologia geral dos solos e em particular do poder-tampão entre solos de diferentes composições, com destaque para o efeito da granulometria (teor e qualidade da argila), tipo e quantidade de matéria orgânica no pH e no poder tamponizante o qual é o parâmetro que, afetando a maior ou menos resistência à variação do pH, governa em última análise a “necessidade em cal” de um solo (Pavan *et al.* 1996; Quaggio e Raji, 2001; Escosteguy e Bisaani 1999),

Os solos da ilha Terceira (Açores) foram objeto de um estudo apresentado por Pinheiro (1990), o qual levou à sua separação em três tipos principais que se designaram por Andossolos Típicos, Andossolos Ferruginosos e Solos Pardos. Dentro da categoria dos Andossolos Típicos foram, por sua vez, identificados três tipos distintos: os de perfil pouco diferenciado, vítricos, e os de perfil bem diferenciado com horizonte Bw, tanto os insaturados como os de tendência êutrica, que em geral correspondem respetivamente a Vitrandepts, Dystrandeps e Eutrandeps na primeira versão de Soil

Taxonomy (Soil Survey Staff, 1975). Os Andossolos Ferruginosos, por seu lado, correspondem, no âmbito desta mesma classificação taxonómica, aos Placandepts.

Se por um lado a diversidade, geologia e solos representam a grande riqueza da ilha Terceira, por outro lado é necessário conhecer esse potencial e identificar as áreas com características de solo adequadas para cada espécie vegetal, para que o potencial produtivo possa ser maximizado. A avaliação da acidez do solo e a recomendação das doses necessárias de calcário à sua correção com base em critérios adequados e de base científica torna-se indispensável para a obtenção de maior rentabilidade do sistema produtivo através de produções mais elevadas com menor risco, sem que hajam aumento nos seus custos de produção.

Em função disso, o objetivo deste trabalho foi o de dar um primeiro contributo para a calibração laboratorial de um método para a determinação da “necessidade em cal” para alguns solos agrícolas representativos da ilha Terceira.

Parte I – Revisão bibliográfica

1 - Caracterização dos Andossolos da ilha Terceira

As ilhas açorianas são essencialmente constituídas por materiais de origem vulcânica de composição química muito variável, apresentando dimensões e aspetos distintos de acordo com os mecanismos eruptivos responsáveis pela sua génese, tectónica e idade de formação.

O clima do arquipélago dos Açores é estabelecido pela sua localização geográfica, pela influência da massa oceânica da qual emerge, pelas características topográficas das ilhas e por fatores de ordem fisiográfica (altitude e exposição), natureza e revestimento do solo, e pela sua proximidade do mar. Situado a norte da influência dos ventos alísios, em pleno cinturão subtropical de altas pressões, o macroclima regional é condicionado pela evolução do anticiclone dos Açores, uma das principais células subtropicais de altas pressões do hemisfério Norte, e pelo conflito de massas de ar tropical com as massas de ar mais frio, temperado ou mesmo polar. Apresenta baixas amplitudes térmicas diárias e anuais, precipitação e humidade relativa do ar elevadas. Deste modo, pode ser classificado como clima temperado, oceânico, húmido e chuvoso, ou moderadamente chuvoso (Bettencourt, 1979; Dias, 1996; Fontes, 1999).

As condições edafo-climáticas do arquipélago proporcionam excelentes condições para a produção pecuária, permitindo o pastoreio do gado praticamente durante todo o ano, pois o clima temperado húmido com elevada influência marítima aliado a solos férteis, proporciona excelentes condições naturais para produção de pastagem. Contudo, durante algumas épocas do ano a produção é insuficiente para cobrir as necessidades alimentares do efetivo bovino, justificando-se nestes casos o

recurso a forragens conservadas e a rações como complemento alimentar ao pastoreio (Ferreira, 2011).

A Geomorfologia do arquipélago determina algumas das marcas predominantes da paisagem das ilhas, como as crateras de vulcões já extintos que deram origem a lagoas, mantos de lava de antigos vulcões e alguns fenómenos de vulcanismo como os geiser, sulfataras, fumarolas e nascentes hidrotermais. As características naturais do arquipélago dos Açores determinam a existência de uma grande diversidade de condições agroecologias. Atualmente o uso do solo da região Açores, segundo SRAF (2007), divide-se em quatro grandes classes de uso, áreas agrícolas com culturas anuais, permanentes e pastagens semeadas; zonas com vegetação arbustiva ou herbácea; territórios artificializados e florestas, sendo 65%, 1%, 5% e 29%, respetivamente. A mesma fonte indica que cerca de 95% da SAU é ocupada por pastagens, prados e forragens.

A ilha Terceira, localizada no Grupo Central ocupa uma posição central no arquipélago entre os paralelos 38° 38' 10" N e 38° 47' 40" N e os meridianos 27° 03' 00" W e 27° 24' 00" W. Apresenta uma área de aproximadamente 382 km², em que cerca de 55% da sua superfície se localiza abaixo dos 300 m de altitude, 42,5% entre os 300 e os 800 m e 1,9 % acima de 800 m de altitude. É uma ilha vulcânica jovem, formada essencialmente por rochas ígneas e por materiais de projeção que recobrem praticamente toda a sua superfície que variam da composição basáltica à traquítica. Apresenta uma forma ligeiramente oval (28 Km por 17 Km). A sua estrutura assenta em quatro grandes cones vulcânicos: Cinco Picos, Caldeira Guilherme Moniz, Pico Alto e Serra de Santa Bárbara. A “zona de fissura” aliada ao vulcanismo de natureza basáltica e desenvolvendo-se no sentido Este-Oeste, constitui um facto importante na definição da génese da ilha.

Deste modo, o clima da ilha Terceira caracteriza-se por uma fraca amplitude térmica e por uma precipitação e humidade do ar elevadas, e por um regime de ventos persistentes, evidenciando uma forte influência oceânica. Bettencourt (1979) classificou o clima das zonas baixas da ilha da seguinte forma: temperatura do ar - temperado oceânico (temperatura média anual entre 10 a 20°C e amplitude média da variação inferior a 10%); humidade do ar - húmido (humidade relativa média anual do ar, às 9 horas, entre 75 a 90%) e a precipitação - chuvoso (precipitação média anual entre 1000 a 2000mm).

Para a ilha Terceira, as temperaturas amenas variam em média entre os 12°C no Inverno e os 22°C no Verão, chegando a atingir os 29°C de temperatura máxima. No Inverno registam-se em média três a quatro horas de sol descoberto por dia, enquanto no Verão esse período varia entre sete a oito horas.

Tal como nas restantes ilhas dos Açores, o coberto vegetal dominante da ilha Terceira é a pastagem, ocupando cerca de 50% da sua área total, sendo que uma parcela significativa é utilizada para a produção de fruteiras (aproximadamente 480 ha) (Mendes e Dias, 2007). Contudo, ainda é possível encontrar vastas áreas de vegetação com elevado grau de pureza, como a Serra de Santa Bárbara e o complexo do Pico Alto, ocupando uma área total de cerca de 17.5 km², onde se alberga a quase totalidade dos ecossistemas açorianos na sua inter-relação original (Dias, 2007).

A origem vulcânica do Arquipélago dos Açores, associada às características climáticas, determina o aparecimento de uma categoria de solos designada por Andossolos.

Os Andossolos são solos jovens na medida em que, os seus materiais originários são provenientes de erupções que ocorreram no Quaternário. Resultam de materiais vulcânicos, sobretudo do tipo piroclástico vítricos, cuja alteração leva à formação de

constituintes secundários não cristalinos responsáveis por um conjunto de propriedades específicas. Esta categoria de solos apresenta características muito distintas relativamente a outros solos minerais, nomeadamente, baixa densidade aparente, dificuldade de dispersão, elevada capacidade de retenção de água, grande poder de fixação de fosfato, valor elevado de pH em NaF, porosidade elevada, formação de micro-agregados estáveis nos horizontes superficiais, entre outras, que regra geral são atribuídas à presença dos seus constituintes, quer minerais quer minero-orgânicos (Pinheiro, 1990).

Uma das características importantes dos Andossolos é a sua riqueza em matéria orgânica (Madruga, 1995), que na maior parte das vezes se liga a substâncias minerais amorfas formando complexos muito estáveis e resistentes, isto porque, segundo Pinheiro (1990), o desenvolvimento dos Andossolos caracteriza-se pela formação de materiais argilosos de fraca ordenação estrutural tais como, a alofana e a imogolite, e pela acumulação de complexo Al (Fe) -húmus nos horizontes superficiais. A alofana é considerada o constituinte coloidal mais importante nestes solos, embora a imogolite, a sílica opalina e a ferrihidrite, desempenhem igualmente funções importantes no desenvolvimento das características típicas destes solos. Os perfis dos Andossolos podem apresentar-se relativamente pouco diferenciados de tipo A-C, no caso dos Andossolos Víttricos, ou mais evoluídos com um perfil de tipo A-Bw-C.

Segundo Pinheiro (1990), os solos do arquipélago Açoriano podem subdividir-se em três tipos principais: Andossolos Típicos - localizam-se desde o nível do mar até cerca de 500-600 metros de altitude. São solos profundos, geralmente estratificados devido ao resultado de acumulações periódicas, com horizontes superficiais escurecidos devido à presença de matéria orgânica e horizontes superficiais pardo-amarelados a Pardo avermelhados. Apresentam uma textura franca, podendo vir a aparecer a maiores

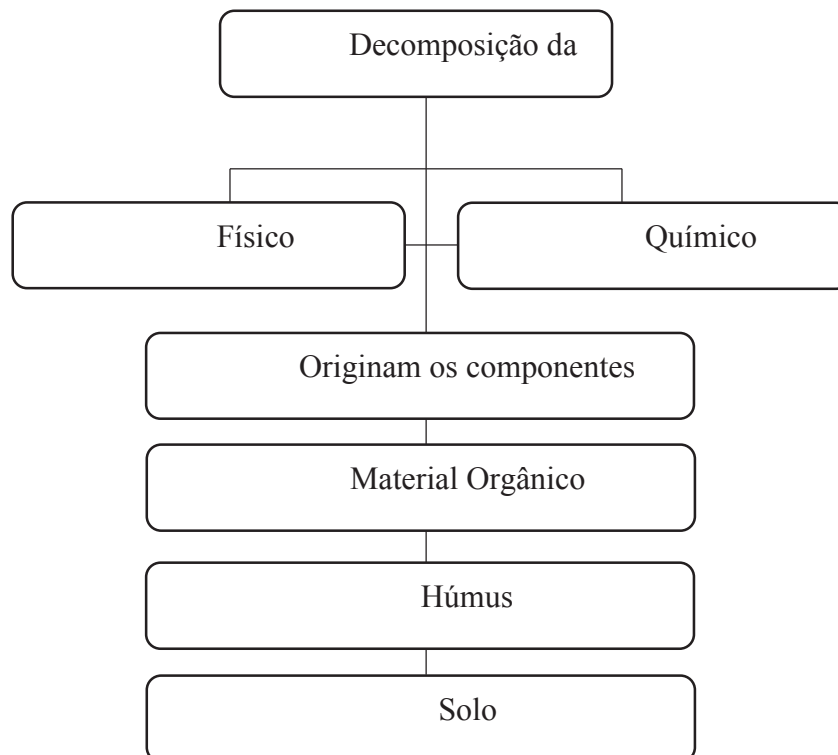
altitudes horizontes superficiais mais evoluídos de consistência friável, conferindo ao tato uma sensação “gordurosa”. Na superfície, apresentam estrutura granulosa e/ou grumosa, atenuando-se em profundidade devido à presença de material pouco alterado, em geral de natureza ácida ou, mais raramente, basáltica; Andossolos Ferruginosos - situam-se a altitudes superiores a 500 e 600 metros nas vertentes Norte e Sul, respetivamente. Apesar de os materiais de origem serem comuns aos do grupo anterior, a elevada precipitação e a menor evapotranspiração, associadas a condições de drenagem insuficiente originam uma mudança significativa do tipo de vegetação, levando a que o processo andossolização se sobreponham fenómenos de podzolização e hidromorfia; Solos Pardos - localizam-se nas zonas mais baixas (até aos 100-150 metros de altitude). Este tipo de solos diferenciam-se dos grupos anteriores devido à ausência de propriedades ândicas e pelas suas características minerais, com predomínio de halosite bem cristalizada na fração argilosa. A origem destes solos está associada ao clima, à idade e ao material originário. Uma vez que estes solos estão localizados a baixa altitude, são os que estão mais sujeitos às atividades agrícolas, designadamente ao uso arável.

Mendes (1989) descreve outra tipologia de solos muito frequentes nas ilhas Açorianas, os solos litólicos. Estes solos podem ser divididos em solos húmicos e não húmicos e caracterizam-se por não apresentarem horizontes pedológicos diferenciados. Os solos húmicos são de natureza orgânica, e normalmente associados às zonas de turfeiras, enquanto, os solos não húmicos caracterizam-se por assentar na rocha mãe pouco ou nada meteorizada.

2 – O solo como recurso natural não renovável

O solo é a camada superficial da crosta terrestre formada por partículas minerais e orgânicas, água, ar e organismos vivos específicos. É um recurso finito, limitado e não renovável, face às suas taxas de degradação potencialmente rápidas. Constitui um recurso natural primordial à vida, estendendo-se até uma profundidade muito reduzida da superfície do planeta sendo considerado um recurso não renovável, pois os processos de pedogénese requerem em média mais de um século para formar um único centímetro de espessura de solo. A formação de uma camada de solo de 30 cm leva 1000 a 10000 anos (Haberli, *et al*; 1991).

A formação do solo ocorre da seguinte forma:



O solo desempenha uma grande variedade de funções vitais, de carácter ambiental, ecológico, social e económico, constituindo um importante elemento

paisagístico, patrimonial e físico para o desenvolvimento de infraestruturas e atividades humanas (Gliessman, 2001).

O solo é um meio vivo e dinâmico, constituindo um habitat de biodiversidade, com padrões genéticos únicos, onde se encontra a maior quantidade e variedade de organismos vivos, que servem de reservatório de nutrientes. Um grama de solo em boas condições pode conter 600 milhões de bactérias pertencentes a 15000 ou 20000 espécies diferentes. Nos solos desérticos, estes valores diminuem para 1 milhão e 5000 a 8000 espécies.

A atividade biológica, dependente da quantidade de matéria orgânica presente no solo, elimina agentes patogênicos, decompõe a matéria orgânica e outros poluentes em componentes mais simples (frequentemente menos nocivos) e contribui para a manutenção das propriedades físicas e bioquímicas necessárias para a fertilidade e estrutura dos solos DR (2013).

Os processos de degradação do solo constituem um grave problema a nível mundial, com consequências ambientais, sociais e económicas significativas. À medida que a população mundial aumenta, a necessidade de proteger o solo como recurso vital, sobretudo para produção alimentar, também aumenta (Gliessman, 1998). Também, as alterações climáticas aumentam a sua vulnerabilidade, especialmente no tocante à erosão e contaminação acidental (Wiki, 2010).

A sustentabilidade implica a busca contínua dos melhores resultados produtivos, em termos agrícolas e ambientais, no presente e no tempo futuro. Frequentemente, nos países em desenvolvimento é muito problemática a situação vivida pelas populações dramaticamente carentes de alimentos, o que impõe pertinentes desafios de sustentabilidade à Agricultura moderna (Altieri, 1994). O teor de matéria orgânica do

solo foi considerado o fator chave da fertilidade do solo a médio e longo prazo (Swift e Woomeer, 1993).

Um fator importante que influencia a produtividade dos vários solos de ecossistemas do nosso planeta é a natureza dos mesmos. O solo é muito complexo, não é apenas constituído de uma combinação de partículas minerais finas, mas também contém ar, água, matéria orgânica e vários tipos de organismos vivos. A formação de um solo é influenciada por um conjunto de fatores: organismos, clima, topografia, matéria de origem e tempo, referidos como fatores pedogenéticos (Jenny, 1941).

3 – A Natureza dos Solos Ácidos

A acidez é uma das principais propriedades químicas relacionadas com o desenvolvimento das plantas, pois determina a existência ou não de elementos tóxicos e afeta a disponibilidade de quase todos os nutrientes no solo. Existem dois tipos de acidez no solo: acidez ativa que é representada pela atividade de H^+ na solução. É ela que afeta quase a totalidade das reações que ocorrem no solo relacionadas com a disponibilidade de nutrientes. A acidez ativa é representada pelo valor de pH, o qual expressa a atividade dos íons hidrogénio na solução do solo, e está relacionado com a disponibilidade, deficiência ou toxicidade dos elementos (Tisdale, *et al.*, 1985 e Mehlich, *et al.*, 1952); e acidez potencial que é constituída pelo somatório de todas as fontes de H^+ que existem nos componentes sólidos do solo, principalmente o alumínio trocável e os grupos funcionais orgânicos e inorgânicos. Esta acidez é proporcional aos teores de alumínio, de argila e de matéria orgânica existentes no solo, determinando assim a necessidade e quantificação de corretivo a ser aplicado. A acidez potencial afeta unicamente a atividade de H^+ na solução do solo quando o pH for alterado e, portanto, funciona como “tampão” da acidez ativa. A acidez potencial é representada analiticamente pelos valores de $H + Al$.

Os solos podem ser naturalmente ácidos devido à própria pobreza em bases do material de origem, ou a processos de formação que favorecem a remoção de elementos básicos como K, Ca, Mg e Na e além disso, os solos podem ter elevada acidez por cultivos e adubações que levam a tal processo. Em condições de acidez elevada podem ocorrer teores de Al e Mn em níveis tóxicos, associados às deficiências de Ca, Mg, K e P, e como consequência, tem-se a baixa produtividade das plantas cultivadas, pois, a presença de Al inibe o crescimento radicular e interfere no processo de absorção nutritiva pelas plantas (Santos, 2002).

Os solos ácidos são aqueles com o pH abaixo de 7,0. Quanto mais baixo for o pH, mais ácido é o solo. Sendo o pH definido numa escala logarítmica, cada unidade de pH indica uma concentração hidrogeniônica 10 vezes superior. Por exemplo, um pH de 5,0 é 10 vezes mais do que a acidez de pH 6,0 e 100 vezes mais do que a acidez de pH 7,0.

O equilíbrio ácido-base está presente em quase todos os processos que ocorrem nos solos, reage diretamente nas propriedades físicas e químicas com influências e consequências fortes sobre os aspetos biológicos do ambiente (Luchese *et al*, 2001).

O pH é uma forma simples de expressar a acidez, através de números inteiros variando no intervalo de 0 a 14, que correspondem aos expoentes dados à base 10, tomados com sinal negativo, equivalentes aos respetivos valores da acidez. A presença dos iões Al^{3+} e H^+ na fração da carga negativa permanente das argilas em solos ácidos está intimamente relacionado com a acidez destes solos, constituindo o que geralmente se denomina acidez de troca. A dualidade do papel do catião alumínio hexa-hidratado ($\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) como trocador de protão (dependente do pH) e ao mesmo tempo o poder de troca em KCl, fez com que houvesse uma história na nomenclatura entre o “H trocável” e o “Al trocável” como causas da acidez dos solos.

O pH é uma medida da atividade dos iões H^+ na solução do solo, sendo normalmente medido numa suspensão solo-água por causa de dificuldades na obtenção da solução verdadeira do solo.

O pH do solo é um dos principais indicadores de fertilidade, isto é, a capacidade de nutrir as plantas que nele crescem, variável com a cultura.

A causa mais importante da acidez do solo é a perda de bases que são arrastadas pelas águas de infiltração. Por outro lado, a alcalinidade do solo, geralmente desenvolve-se quando não há arrastamento das bases por águas de infiltração e há um

elevado grau de saturação do complexo de troca (Costa, 1995). Os terrenos ácidos costumam apresentar deficiências em Ca, Mg, P, Mo, B, e se o pH for mesmo muito baixo, inferior a 5,5, toxicidade por Mn, Zn, Al e Fe.

Para aumentar e corrigir o pH do solo ácido há que fazer a aplicação de substâncias alcalinizantes, tais como o calcário (CaCO_3). Por outro lado, em solos de pH alcalino existem mais problemas e mais frequentes, estes terrenos tendem em apresentar deficiência em Fe, Mg, Zn, Cu, P e B. É necessário fornecer adubos em forma de quelatos que contenham estes nutrientes em falta para suprir as necessidades nutritivas e corrigir o pH do solo pela adição de substâncias acidificantes. Por último, nos solos em que o pH é próximo da neutralidade existe uma solubilidade e biodisponibilidade nutritiva equilibrada para as plantas desde que esses nutrientes existam em quantidades suficientes.

Em solos muito ácidos é frequente as plantas apresentarem sintomas de toxicidade ou de carência em elementos nutritivos. Nestes solos existe um elevado risco das culturas absorverem em excesso os metais pesados incorporados através de adubos ou de corretivos orgânicos, originando problemas de toxicidade. A correção do excesso de acidez do solo é efetuada através da calagem, ou seja, da aplicação de um corretivo que permita a subida dos valores do pH do solo.

3.1 – Fatores que afetam acidez do solo:

A acidez do solo em sistemas de produção de cultivo é influenciada por vários fatores, tais como:

- Uso de fertilizantes comerciais, especialmente de origem amoniacal que produzem iões H^+ durante a nitrificação;
- Remoção/lixiviação de bases de troca, incluindo os catiões de cálcio, magnésio, potássio e sódio, sendo substituído primeiro por H^+ e em seguida por Al^{3+} .
- Decomposição de resíduos orgânicos (Samuell, *et al.*, 1985).

Alguns fertilizantes apresentam uma “reação fisiológica” no solo, que se caracteriza por um resíduo ácido ou alcalino deixado no solo, alterando o seu pH. Os resultados de várias experiências demonstram que, entre os nutrientes de plantas N, P, e K, os transportadores de N tem o maior efeito sobre o pH do solo, bem como a perda de catiões por lixiviação.

O ácido fosfórico libertado da dissolução fertilizantes fosfatados, como superfosfato triplo e fosfato de amónio podem temporariamente acidificar zonas localizadas no solo junto aos grânulos de adubo.

3.2 – Necessidade de calcário como correção da acidez do solo

Coleman *et al.*, (1952) define a calagem como a técnica de incorporar ao solo carbonatos, hidróxidos e óxidos de cálcio e magnésio para lograr o suprimento de cálcio e magnésio à planta e a correção dos efeitos nocivos da acidez elevada. O valor agrícola de certos tipos de cal já era conhecido há 2.000 anos atrás segundo Escobar citado por Laroche (1966).

Wright (1912) refere que o uso intensivo da calagem na Inglaterra iniciou-se na segunda metade do século XIX. Truog em 1938 assinala que nos Estados Unidos o uso do calcário de modo intensivo desenvolveu-se apenas em algumas localidades e até não estava generalizado por falta de métodos satisfatórios.

Breland (1964) refere que a calagem é praticada em menos da metade dos solos cultivados da Flórida que a necessitam.

Nos EUA, a calagem teve início entre 1825 a 1845 na região leste, no estado de Virgínia, por Edmund Ruffin (Tisdale, *et al.*, 1993), e gradualmente foi sendo adotada à medida que a colonização ocorreu na direção oeste do país (Mc Cool e Millar, 1918). Segundo Mc Lean e Brown (1984) o rápido desenvolvimento da indústria de calcário agrícola, nos EUA, antes de 1950 foi uma consequência de inúmeros fatores. Houve um esgotamento da fertilidade do solo pela remoção de colheitas, erosão e lixiviação do solo. Muitos agricultores, que receberam formação na agricultura vocacional, adquiriram informações de métodos para manter altos os níveis de fertilidade do solo. Os subsídios para aplicação de calcário, no interesse da conservação do solo, encorajaram o uso de calcário.

Em Portugal, não se constam registos plausíveis.

Em suma, quanto à história e ao seu uso atual, a literatura informa que a calagem, apesar de ser conhecida desde o início da Era Cristã, somente a partir da

segunda metade do século XIX é que foi praticada intensivamente na Europa e América do Norte. Nos trópicos, o uso é recente e está pouco generalizado, apenas alguns países empregam ou experimentam a calagem em algumas das suas áreas agrícolas.

A calagem é considerada uma das práticas agrícolas mais antigas, tendo sido usada pelos romanos há mais de três mil anos (Mc Cool e Millar, 1918; Kelley, 1948). Os gregos aplicavam marga (depósito de argila mesclada com calcário) ao solo e os romanos aprenderam essa prática dos gregos. Plínio, que viveu entre os anos 62-113 d.C., dizia que o calcário deveria ser distribuído em uma fina camada e que uma aplicação seria “suficiente para muitos anos, mas não para 50” (Tisdale *et al.*, 1993).

O calcário é o corretivo de acidez mais usado. Na sua aplicação deve-se ter em conta os seguintes aspetos: a quantidade e tipo de calcário a aplicar isso dependendo dos resultados das análises de terra e faz parte da recomendação de fertilização indicada pelo laboratório. Se a quantidade de calcário recomendada for superior a 7 toneladas por hectare, a sua aplicação deve ser fracionada ao longo de dois ou três anos, nunca excedendo em cada um aquele valor; analisar a terra antes de cada aplicação e deve ser realizada de preferência no Outono, antecedendo a cultura da rotação mais sensível à acidez do terreno. O calcário deve ser uniformemente espalhado por toda a área a corrigir e bem misturado com a terra através de mobilização adequada. Pomares, olivais e vinhas: fazer a distribuição antes da instalação da cultura (metade da quantidade é incorporada com a mobilização profunda e a restante com a regularização do terreno); os adubos amoniacais e os superfosfatos, bem como os estrumes, não devem ser misturados com o calcário, os estrumes devem ser espalhados no terreno após a aplicação do calcário. O efeito da calagem prolonga-se, geralmente, por três ou quatro anos, ao fim dos quais se deve pedir nova análise de terra que indicará a necessidade, ou não, de efetuar nova correção da acidez. Se aplicar outro tipo de corretivo de acidez, por

exemplo, cal viva ou cal apagada, deve-se ter em atenção que são muito mais ativos, devendo adaptar as doses a utilizar. O termo calagem é usado na agricultura, e indica adição ao solo de qualquer composto contendo Ca ou Mg para que seja capaz de reduzir a acidez. As substâncias mais importantes são carbonatos, óxidos e hidróxidos de Ca e de Mg. Sulfatos e cloretos de Ca e de Mg não resultam como corretivo da acidez. O calcário agrícola é extraído de minas e a maioria é submetido apenas ao processo físico de moagem (Wietholter, 2000). A calagem tem como objetivo elevar o pH do solo até determinado valor, visando a neutralizar ou reduzir os efeitos tóxicos do alumínio e/ou do manganês do solo, bem como melhorar o ambiente radicular para as plantas absorverem os nutrientes.

A aplicação e incorporação dos calcários minerais agrícolas no solo têm benefícios pois promovem maior crescimento das raízes, melhora o aproveitamento da água do solo, aumenta a eficiência da adubação, fornece Cálcio e Magnésio para a nutrição das plantas, conserva o solo e protege o meio ambiente.

A correção dos solos através de compostos com características básicas, leva a uma melhoria nas condições da fertilidade dos mesmos traduzida pela melhoria nas propriedades físicas, pela melhoria estrutural dos solos, melhores condições de aeração e movimento da água; variação dos efeitos benéficos nas propriedades químicas, incremento a CTC, a retenção de cátions e suas quantidades, pois são na maioria das vezes agregados juntamente com os corretivos; ação nas propriedades biológicas, ao aumentar a atividade biológica e, por isso, provocando uma mineralização mais intensa da matéria orgânica. Respostas positivas pela correção da acidez de um solo podem ser encontradas facilmente em trabalhos especializados.

A aplicação de calcário a solos ácidos, aliado a outras práticas de melhoria da fertilidade e do manejo do solo, tem a função de elevar a capacidade produtiva do solo,

mediante o aumento da capacidade de troca de catiónica, aumento da disponibilidade de nutrientes e insolubilização de elementos tóxicos às plantas, que, no conjunto, se traduz em aumento de rendimento das culturas, um requisito básico para viabilizar economicamente a questão atual de produção de alimentos e melhorar a sustentabilidade económica da atividade agrícola.

Muitos solos da Ilha Terceira apresentam um pH de tendência ácida entre 5 e 5,8 (Pinheiro, 1990) e a calagem é uma prática atualmente relativamente vulgarizada na ilha Terceira-Açores, no entanto é levada a cabo de forma muito pouco fundamentada quanto a critérios analíticos de diagnóstico e de cálculo da “necessidade em cal”.

Embora a acidez dos solos constitua, normalmente, um fator adverso ao desenvolvimento das plantas, o estabelecimento de doses adequadas de calagem, bem como o pH a ser alcançado, é tarefa difícil de estabelecer com precisão, tendo em vista que várias espécies vegetais tem níveis diferenciados de tolerância a acidez e portanto podem reagir também de forma diferenciada à calagem.

Muitos métodos têm sido propostos para avaliar a exigência de calcário dos solos a nível mundial, poucos deles tendo sido testados nas nossas condições. Dentre os mais utilizados nos EUA e Brasil destacam-se o método do tampão SMP (Shoemaker *et al.*, 1961) e o método Adams & Evans (Adams e Evans, 1962).

Em diversos países, a solução-tampão SMP é o método mais utilizado na avaliação da acidez potencial. Apesar de ter sido inicialmente desenvolvido para determinar a necessidade de calagem, quantificar a dose e estar amplamente difundida para este fim (Raij *et al.*, 1979; Sousa *et al.*, 1980; Ernani & Almeida, 1986) potencial, devendo-se isso principalmente, à simplicidade, rapidez, baixo custo, sendo considerado por diversos autores eficiente e sensível a baixas variações de pH.

A solução tampão de Adams-Evans foi desenvolvida para baixas variações de

pH e para solos de textura grosseira que são dominados por caulinite e sesquióxidos (Adams e Evans, 1962). Estes solos têm baixa capacidade de troca catiónica, inferior a $13 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, e geralmente precisam de menos de 5 toneladas de calcário por hectare.

4 – Efeitos da calagem no solo

Podem distinguir-se dois tipos de efeitos da calagem no solo: um direto, sobre o complexo de troca, e outro indireto, devido à elevação do pH na solução. Portanto, é possível separar os fatores de relação direta e os fatores de relação indireta. Entre os primeiros devem-se considerar: a capacidade de troca de catiões; a natureza do coloide; o índice de saturação do complexo de troca em catiões e a natureza dos catiões.

A capacidade de troca de catiões, ou carga negativa do coloide de cuja neutralização depende a reação do solo, é característica para os diversos minerais de argila e matéria orgânica. No entanto, segundo diminua ou aumente o pH, a capacidade de troca de catiões diminui ou aumenta dentro de certos limites, devido à menor ou maior ionização dos grupos ácidos fracos, componentes do complexo. O poder de variar a carga negativa ou a necessidade de bases para a neutralização, segundo o pH, é chamado de poder tamponizante.

4.1 - Corretivos – Efeitos de aplicação de corretivos no solo

Corretivos são produtos que atuam na melhoria da nutrição das plantas de modo essencialmente indireto, através da melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos, modificando a reação do solo (pH), o teor de matéria orgânica, as suas características físicas, químicas e biológicas. Embora as substâncias utilizadas como corretivos tenham quase sempre elementos nutritivos que podem ter algum efeito direto sobre a nutrição das plantas, a sua principal ação é exercida na melhoria da

fertilidade dos solos. (Santos, 1996).

Corretivos da acidez dos solos são produtos capazes de neutralizar (diminuir ou eliminar) a acidez dos solos e ainda repor nutrientes vegetais ao solo, principalmente cálcio e magnésio. Os corretivos de alcalinidade são produtos que promovem a redução da alcalinidade do solo e corretivos de sodicidade, produtos que promovem a redução da saturação de sódio. Os produtos considerados corretivos da acidez dos solos são os que contêm como constituinte neutralizante carbonatos, óxidos, hidróxidos ou silicatos de cálcio e/ou de magnésio. Os corretivos de acidez são de natureza física sólida, na forma de pó (Santos, 1991).

A classificação dos corretivos é feita de acordo com a sua origem e com os principais objetivos na sua aplicação, considerando os seguintes tipos de corretivos agrícolas: os corretivos minerais destinam-se a corrigir a reação (pH) dos solos. Os corretivos minerais dividem-se em corretivos minerais alcalinizantes quando tem como objetivo fazer subir o pH dos solos ácidos (exemplos: calcário moído com ou sem magnésio, cal viva, cal apagada) e corretivos minerais acidificantes quando visam fazer descer o pH dos solos alcalinos como solos calcários, solos salinos, solos alcalinizados ou solos alcalinizados-salinos (exemplos: enxofre e gesso); corretivos orgânicos, estes corretivos, de origem orgânica, animal e/ou vegetal, são utilizados com o objetivo de aumentar, ou pelo menos manter, o teor de matéria orgânica dos solos, a qual desempenha uma função muito importante em todos os aspetos (físicos, químicos e biológicos) da fertilidade dos solos e ou corretivos condicionadores destinam-se a melhorar a estrutura do solo. São produtos muito caros e o seu uso é muito restrito, apenas se verificando em estufas, jardins e relvados. (exemplos: "Krilium", silicatos coloidais-Agrosil LR, "Stiromull", "Higromull", etc.)

Os fertilizantes não se podem identificar exclusivamente com os adubos. Em certas condições, a adubação pode até não ser a prática mais importante da fertilização. No caso de solos com acidez elevada, para muitas culturas, o efeito da aplicação dos adubos pode estar bastante comprometido, se não se efetuar previamente uma adequada correção da acidez desses solos com um corretivo calcário.

A utilização dos fertilizantes, como um dos meios mais eficazes para aumentar as produções, deve ter em conta, não só esse aumento da produção, mas também a qualidade dos produtos agrícolas e do meio ambiente, a fertilidade dos solos e a rentabilidade económica das culturas.

Praticamente, só os solos com pH abaixo de 5,5 e superior a 7,0 apresentam problemas relacionados com a disponibilidade de alguns nutrientes, com a toxicidade de outros, com a estrutura do solo, com a vida microbiana e simplificação da matéria orgânica, fixação de nitrogênio e enxofre.

Os efeitos da calagem estão relacionados com efeitos físicos melhoria da estrutura pela granulação das partículas (estrutura, porosidade, permeabilidade, aeração); efeitos químicos controlo de pH (controlo da acidez), eliminação do alumínio trivalente, aumento da disponibilidade e assimilação do cálcio, magnésio, fósforo e molibdénio; diminuição da solubilidade do alumínio, ferro e manganês (esses elementos, além de dificultarem o aproveitamento de alguns nutrientes pela planta, ainda podem se tornar tóxicos) e efeitos biológicos estímulo ao desenvolvimento da vida microbiana.

4.2 – Natureza química dos corretivos

Os materiais corretivos usados na calagem são óxidos, hidróxidos e carbonatos ou silicatos de cálcio e/ou magnésio. É a união do útil ao agradável, uma vez que tanto o

cálcio quanto o magnésio são essenciais para as plantas e, normalmente, apresentam-se em baixa disponibilidade nos solos ácidos. Por outro lado, são compostos químicos que diminuem a atividade dos íons H^+ e Al^{+3} na solução do solo, o que é desejável para as plantas e microrganismos.

A acidez do solo e as condições fisiológicas que a acompanham resultam de uma deficiência de catiões metálicos adsorvidos (denominados bases) em relação ao hidrogénio. Para diminuir a acidez, o hidrogénio e o alumínio deverão ser substituídos por catiões metálicos, muitas vezes conseguido pela adição de óxidos, hidróxidos ou carbonatos de cálcio e de magnésio.

4.3 – Métodos para determinar a necessidade em cal com base em soluções tamponizadas

A calagem permite manter o equilíbrio nutricional das plantas ao longo de seu desenvolvimento convergindo para uma maior eficiência do fertilizante aplicado e conseqüentemente para um melhor rendimento das culturas. Dessa forma, a recomendação para correção ou manutenção da fertilidade do solo exige conhecimentos tanto das exigências nutricionais da planta quanto do potencial produtivo do solo, considerando as suas características químicas, físicas e biológicas.

O pH do solo é usado para determinar os limites de acidez de crescimento da cultura, mas não permite estimar diretamente a necessidade em cal. Por isso, vários métodos analíticos foram desenvolvidos para esta determinação os quais incluem a incubação do solo, a titulação, e a utilização de soluções tampão.

A necessidade em cal de um solo pode ser determinada por vários métodos. Os métodos mais utilizados baseiam-se na variação do pH de uma solução tampão. Quando

a uma amostra de solo ácido é adicionada uma quantidade da solução, o valor do pH sofre uma redução em proporção com o pH do solo original e o seu poder tamponizante.

Os métodos que usam solução tampão (*buffer*) são numerosos e têm sido desenvolvidos ao longo dos anos por vários laboratórios de análise de solos. O método de Shoemaker, McLean, e Pratt (SMP) é de rápida determinação para calcular a calagem. A solução tampão é uma mistura diluída de trietanolamina, paranitrophenol, cromato de potássio e acetato de cálcio.

Resultados uniformes e aceitáveis têm sido obtidos com o método SMP para solos com grandes diferenças na necessidade de calcário, sendo especialmente adequado para solos que possuem valores elevados de necessidade em cal. Em áreas tropicais a necessidade em cal pode ser baseada simplesmente sobre os montantes necessários para diminuir a solubilidade do alumínio, recomendando-se em média 1 tonelada de calcário a ser aplicada para cada milliequivalente de Al^{3+} por 100 g de solo. A relação a seguir é usada para determinar a quantidade de calcário necessário para neutralizar o alumínio de troca:

$$\text{meq CaCO}_3 / 100\text{g} = 2 \times \text{meq Al trocável} / 100\text{g}$$

Kamprath (1970) relatado que as quantidades de calcário necessário para reduzir a solubilidade de alumínio é da ordem de 1,5-3,3 toneladas / meq de alumínio por 100 g de solo.

4.3.1 – Determinação da acidez potencial pelo método SMP

O valor de $H^+ + Al^{3+}$, também chamado de acidez potencial é constituído de duas partes distintas da acidez dos solos: acidez de troca (Al^{3+}) e acidez não trocável (H^+). O método de referência para extração da acidez potencial dos solos é o da solução

de acetato de cálcio 1N a pH 7,0. Este método apresenta alguns problemas relacionados com a formação de fungos na solução.

O pH é uma medida de atividade dos iões H^+ na solução do solo. Normalmente é medido numa suspensão solo/água por causa de dificuldades práticas na obtenção da solução verdadeira do solo.

A concentração de sais na solução do solo ou na água afeta o pH. Conforme Maas and Hoffman, (1977), quanto maior a concentração de sais no solo menor será o seu pH em água, porque os sais deslocam o H^+ , principalmente o trocável, aumentando a concentração desse ião na solução do solo. Além disso, aumentam a hidrólise de compostos de Fe e Al, o que também contribui para aumentar a concentração de H^+ na solução.

O método baseia-se na variação do pH numa solução tampão pH 7,5, em contato com os ácidos do solo. O pH da suspensão solo/água/SMP é um valor entre o pH do solo em água e o pH da solução SMP.

O método da solução tampão SMP tem sido utilizado em substituição ao do acetato pois apresenta grande vantagem analítica, ou seja, usa-se a mesma solução de $CaCl_2$ da determinação da acidez ativa. Além disso, também mostra estreita correlação com o método do acetato (Pavan *et al.*, 1992).

Segundo Tomé (1997), o método SMP baseia-se na correlação existente entre o índice SMP e a acidez potencial do solo ($H + Al$). Quanto mais baixo o índice SMP, maior a quantidade de $H + Al$ do solo e, portanto, maior a quantidade de calcário a ser aplicada para atingir um pH adequado no solo.

O método SMP tem sido mais usado em regiões com solos de maior CTC e maiores teores de Al trocável, seguindo uma tabela de recomendação que relaciona pH SMP e pH em água a atingir. A Tabela 2, demonstra os quantitativos em ton/ha de

corretivo a usar de acordo com o índice do pH SMP correlacionando a acidez potencial que se pretende.

Este método baseia-se na elevação do pH do solo para um valor desejado, a partir da suspensão do solo com uma solução tampão. A solução mais usada em todo o mundo é a SMP.

SMP em homenagem aos autores de método, Shoemaker, Mclean e Pratt (1961). No laboratório, o solo é misturado com solução SMP e, após agitação, determina-se o pH do sobrenadante, que nada mais é do que o pH SMP ou índice SMP. Quanto menor o pH SMP maior é a transferência de acidez do solo para a solução tampão, ou seja, mais ácido é o solo.

Durante muitos anos, o pH ótimo para as plantas foi considerado como aquele próximo a neutralidade, mas especificamente na faixa de 6,5 a 7,0. Todavia, a calagem para elevar o pH para 5,6 ou 5,7 e reduzir a percentagem de saturação em alumínio abaixo de 10 % pode ser mais do que suficiente para a maioria das espécies vegetais (Tisdale *et al.*, 1993).

4.3.2 – Determinação da acidez potencial pelo método de Adams e Evans

O método de Adams-Evans foi desenvolvido para solos com baixas sensibilidades de acidez (Adams e Evans, 1962) que apresentam baixa capacidade de troca catiónica ($<13 \text{ cmol}_{(c)} \text{ kg}^{-1}$) e que geralmente precisam de menos de 5 toneladas de calcário por hectare. O método baseia-se na reação de acidez do solo com uma solução tamponada, resultando em alterações no pH do tampão. O método de Adams e Evans é um dos mais populares testes para determinação de necessidades de calagem utilizados para estimar a acidez de troca incluindo aquela associada com Al trocável. Este método pode detetar pequenas diferenças na necessidade de calcário, sempre que tais diferenças

possam provocar grandes variações de pH. O procedimento é geralmente reprodutível em 0,10 unidades de pH. Este método foi desenvolvido para solos com baixo teor de matéria orgânica e relativamente baixas necessidades em cal. A necessidade de calagem de um solo ácido é definida por este procedimento como a quantidade de cal ou de outra base necessária para alterar uma condição ácida a uma condição menos ácida (pH máximo de 6,5).

O método tampão Adams-Evans é considerado fiável para solos com quantidades relativamente pequenas de acidez de troca (8 meq / 100 g). O procedimento prevê um grau bastante elevado de precisão para estimar as necessidades de cal para atingir pH 6,5 ou menos. O método tampão Adams-Evans assume que calcário agrícola tem uma eficácia de cerca de $2/3$ na neutralização de acidez até um pH do solo de cerca de 6,5.

Solos secos ao ar podem ser armazenados vários meses em recipientes fechados, sem afetar a determinação.

Parte II – Trabalho experimental

5 – Material e métodos

5.1 – Escolha dos locais para amostragem dos solos

Para este estudo foram colhidas 30 amostras, em várias zonas da ilha Terceira conforme figura 3, em função da sua importância económica e ambiental. Assim, consideraram-se 3 zonas: alta (1021 m – Serra de Santa Bárbara), média (600 m – Planalto da Achada) e zonas baixa (100 m – Fontinhas – Porto Martins).

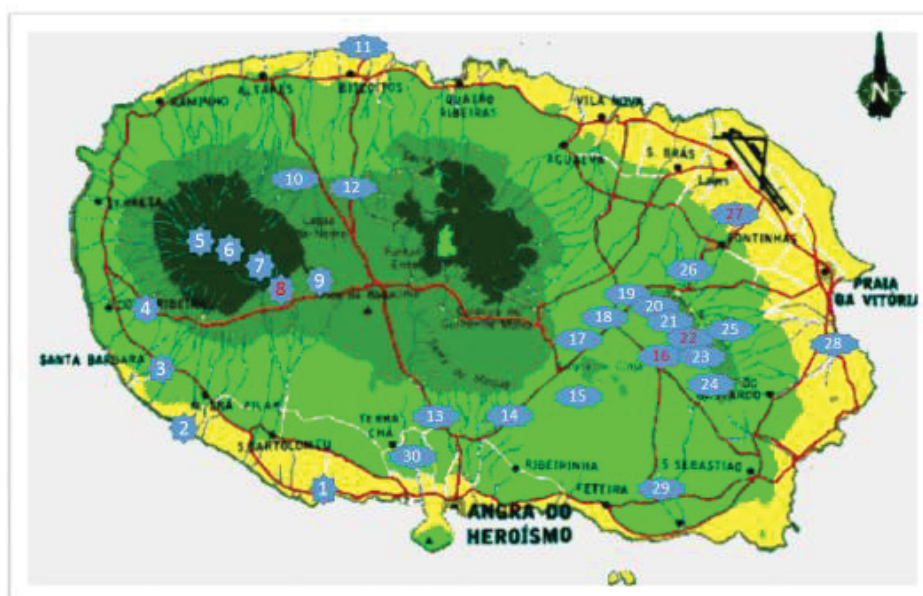


Figura 1 - Amostras colhidas na Ilha Terceira

5.2 – Solos estudados

Destas 30 amostras, foram escolhidas 4 amostras (pH 5.1; 4.9; 5.0; 5.8 - Figura 3 representadas a vermelho), em função do valor do pH, amostras estas que foram sujeitas a ensaios experimentais.

Solo A – 8 Serra de Santa Bárbara, localizada a 26 S 47199.26 m E e 428 4889.73 m N, a uma cota de 497 m. Ocupação do solo: pastagem.

Solos B – 16 Cinco Picos, à direita, perto palheiro (cone), localizada a 26 S 488693.86 m E e 4281869.54 m N, a uma cota de 297 m. Ocupação do solo: pastagem de trevo e *Lolium*.

Solo C – 22 A subir a serra do Cume, localizada a 26 S 4899188.14 m E e 4284878.09 m N, a uma cota de 477 m. Ocupação do solo: pastagem de trevo e *Lolium*.

Solo D – 27 Zona Baixa da Praia da Vitória (pH alto), Fontinhas, localizada a 26 S 492761.45 m E e 4287788.91 m N, a uma cota de 71 m. Ocupação do solo: pastagem de trevo e *Lolium*.

As amostras, colhidas a uma profundidade de (0 a 20 cm) ao longo de toda a ilha, encontram-se identificadas no Anexo 2 (resultados das 30 amostras – tabela 7).

Procurou-se efetuar a colheita das amostras em locais onde os solos estavam ocupados com pastagem.

Foram colhidos cerca de 15 kg por cada amostra das amostras submetidas às experiências laboratoriais com as incubações (N.ºs 8, 16, 22 e 27)

5.3 – Colheita e preparação dos solos para incubação

As amostras dos solos foram colhidas em profundidade de 0-20 cm em locais com pastagem permanente, sendo transportadas para o Laboratório de Análises de Solos e Plantas da Universidade dos Açores. Procedeu-se à sua secagem à temperatura ambiente, durante 10 dias, para perderem o excesso de água. Posteriormente formam crivadas com um crivo de malha 2 mm. Cada amostra foi subdividida em 12 subamostras, tendo-se aplicado a cada subamostra (com cerca de 1 kg) cal sob a forma de Carbonato de Cálcio (CaCO_3) crescente de 0; 3.33; 6.66 e 9.99 g, em triplicado cada tratamento, colocando-se, de seguida a incubar (segundo diversos autores como Vettori, 1966, constitui a forma mais conveniente de calibrar o método do pH SMP, e tem sido usado como padrão para calibrar métodos mais rápidos de determinação de acidez do solo) em sacos plásticos de polietileno de cor escura, com arejamento, a uma temperatura de 20°C, devidamente identificados (Figura 4). Adicionou-se, a cada saco, água destilada para compensar possíveis perdas de humidade por evaporação.

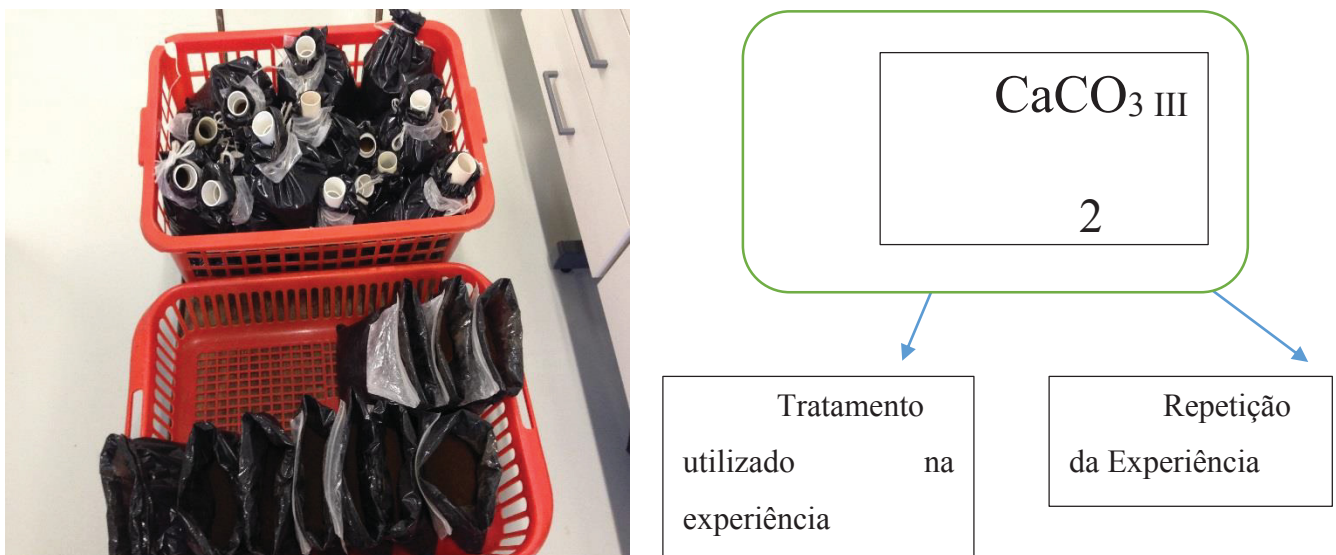


Figura 2 - Identificação das Amostras submetidas à experiência

De cada subamostra foram retiradas 50gr após 1, 3 e 10 semanas de incubação para as determinações da necessidade em cal pelos métodos SMP e de Adams e Evans.

Quando os sacos foram abertos para a colheita de subamostras permaneceram abertos aproximadamente 20 minutos para facilitar o arejamento do solo (Figura 5).

Ao fim da 10ª semana repetiu-se, para efeitos de comparação, nas 48 subamostras, a determinação da % humidade da amostra, a % de M. O., o C e o N Total, assim como o Ca, Mg, K, Na, Fe, Al Mn, Zn e Cu por Absorção Atômica, o P por espectrometria, como o objetivo de verificar a existência, ou não, de alterações na composição do solo em resultado da adição de cal.



Figura 3 - Subamostras na incubação

Com os resultados de pH obtidos traçou-se a curva de neutralização dos solos, relacionando-se as doses de CaCO_3 aplicadas aos valores de pH obtidos.

Com tais curvas, estimou-se a necessidade de calagem para elevar o pH de cada solo até 6,5.

Para a elaboração da curva de neutralização foram utilizados os dados da 10.^a semana onde se verificou a estabilização da acidez dos solos incubados.

As necessidades de calagem dos cinco solos estudados foram estimadas através das curvas de neutralização e correlacionadas aos valores de pH SMP bem como pH Adams e Evans.

5.4 – Determinações analíticas de acidez ativa e potencial do solo

Neste trabalho, observou-se, que dentre os modelos matemáticos utilizados para relacionar os valores de $H + Al$, o pH SMP e o pH Adams e Evans, predominam os que usam regressão exponencial e polinomial de segunda ordem.

As diferentes equações de correlação obtidas nesses trabalhos evidenciam a influência de algumas características dos solos na relação entre estas variáveis.

Neste contexto, Escosteguy e Bissani (1999) ressaltam a necessidade de regionalização dos estudos, em virtude da variação do poder-tampão entre solos de diferentes composições, com destaque para o teor e tipo de matéria orgânica, textura, tipo e quantidade de minerais da fração argila e pH.

Ainda, de acordo com Pavan *et al.* (1996) e Quaggio e Raij (2001), o uso deste método deve ser precedido de uma regionalização edafológica prévia, para obter curvas de calibração específicas.

As determinações para este estudo foram efetuadas no Laboratório de Solos e Plantas), do Departamento de Ciências Agrárias da Universidade dos Açores, em 2014.

Os métodos de análise de acidez ativa e potencial dos solos estudados seguiram metodologia descrita por Pavan *et al.* (1992).

O pH foi determinado potenciométricamente, utilizando-se um pH/mV de marca Inolab WTW – pH 720.

Em todas as amostras e tratamentos, foram feitas determinações nos solos medindo o pH antes de incubar e depois de serem incubados na 1, 3 e 10 semana, pelos métodos de pH em água (acidez ativa), pH SMP (acidez potencial), e em CaCl_2 0,01 M (acidez potencial), na relação solo/água ou solo/ CaCl_2 de 1:2,5 e pH Adams e Evans (acidez potencial). Sendo essa determinação repetida em intervalos iguais até que se verificou a estabilização da acidez, a qual ocorreu na 10 semana do final da incubação.

5.4.1 – Determinação da acidez ativa pelo método de CaCl_2 0,01 mol/L

As análises químicas efetuadas são descritas e comentadas abaixo, e têm como base a metodologia descrita por Pavan *et al.* (1992) e Page *et al.* (1982).

A determinação do pH foi efetuada pesando 10 gr da subamostra de cada um dos tratamentos, para frasco plástico de 50 ml devidamente numerados, e adicionou-se 25 ml de CaCl_2 0,01 mol/L, em uma relação 1:2,5 (proporção de Terra e CaCl_2).

Estas subamostras foram submetidas a agitador circular por um período 15 min, a 220 rpm, e deixadas em repouso durante 30 minutos.

Foi efetuada leitura após calibração do potenciômetro com solução padrão de pH 7,0 e pH 4,0 (+ ou - 0,01 temperatura de referência 25°C).

Para a preparação da solução de cloreto de cálcio 0,01 mol/L foi dissolvido 2,94 g de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ em água destilada e completado o volume para 2 litro (pH da solução ajustado para 5,5 com ácido acético).

5.4.2 – Determinação de pH pelo método da solução tampão SMP

Na mesma amostra em que foi feito o pH CaCl_2 , adicionou-se 5 ml de solução SMP, imediatamente após a leitura do pH CaCl_2 , agitando-se em agitador circular por 15 minutos, a 220 rpm, e deixando-se em repouso por no mínimo 10 horas.

No dia seguinte, procedeu-se à leitura do pH de equilíbrio da suspensão de solo com solução-tampão, sendo que antes da leitura de cada subamostra, agitou-se novamente com bastão de vidro.

Para a preparação da solução tamponada SMP, colocou-se em balão volumétrico de 1 litro, nesta ordem: 106,2 g de cloreto de cálcio ($\text{CaCl}_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$), 6,0 g de dicromato de potássio (K_2CrO_4), 4,0 g de acetato de cálcio ($\text{Ca}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_2$) e 5,0 ml de trietanolamina. Acrescenta-se água. Separadamente, dissolve-se 3,6 g de nitrofenol em cerca de 200 ml de água quente, filtrando, se houver impurezas. Acrescenta-se esta solução ao balão volumétrico, completa-se o volume e agita. No dia seguinte, ajusta-se o pH a 7,5 com NaOH 40% ou HCl 1+1. Verificando-se ocasionalmente o pH, foi corrigindo quando necessário segundo Raij e Quaggio (1983).

A solução SMP (Shoemaker, Mclean & Pratt) consiste numa mistura de sais neutros com vários tampões, com o objetivo de se obter um decréscimo linear do pH, quando titulada potenciométricamente com ácido forte. A solução-tampão SMP foi desenvolvida inicialmente para ser utilizada em um método rápido de determinação de calagem, por Shoemaker et al. (1961), obtendo-se um índice SMP baseado na mudança de pH da solução tamponada em face da acidez potencial do solo, e este é correlacionado com a quantidade de calcário necessária para atingir valores de pH compatíveis com as diversas culturas. O índice SMP apresenta alta correlação com o valor de $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ (acidez potencial dos solos).

Observação:

Os teores de $H^+ + Al^{3+}$ são obtidos pela resolução de equações de regressão especificamente calibradas para cada região, para valores de pH em SMP espaçados de 0,05 unidade.

Leitura direta no aparelho para a obtenção do índice ou do pH SMP. Depois de obtido esse valor, dois tipos básicos de cálculos podem ser utilizados a partir do índice SMR. O teor de $H^+ + Al^{3+}$ do solo pode ser calculado, usando-se uma equação previamente ajustada para cada região, ou pode-se estimar diretamente a necessidade de calcário tendo em conta a tabela 1, específica do próprio método.

Tabela 1 - Calibração para necessidade em cal pelo método SMP

| pH (<i>buffer</i> SMP) | pH estimado (t / ha) | | |
|----------------------------|----------------------|------|------|
| | 7.0 | 6.5 | 6.0 |
| | Calcário Agrícola | | |
| 6.8 | 3.2 | 2.7 | 2.3 |
| 6.7 | 5.3 | 4.7 | 3.8 |
| 6.6 | 7.6 | 6.5 | 5.3 |
| 6.5 | 10.1 | 8.5 | 7.0 |
| 6.4 | 12.3 | 10.5 | 8.5 |
| 6.3 | 14.6 | 12.3 | 10.1 |
| 6.2 | 16.8 | 14.3 | 11.6 |
| 6.1 | 19.2 | 16.1 | 13.2 |
| 6 | 21.5 | 18.1 | 14.8 |
| 5.9 | 23.8 | 20.1 | 16.3 |
| 5.8 | 26.2 | 21.9 | 17.9 |
| 5.7 | 28.5 | 23.9 | 19.5 |
| 5.6 | 30.6 | 26.0 | 21.0 |
| 5.5 | 33.2 | 28.0 | 22.8 |
| 5.4 | 35.4 | 30.0 | 24.4 |
| 5.3 | 37.8 | 31.8 | 26.0 |
| 5.2 | 40.1 | 33.8 | 27.6 |
| 5.1 | 42.5 | 35.8 | 29.1 |
| 5.0 | 44.8 | 37.8 | 30.6 |
| 4.9 | 47.2 | 39.9 | 32.3 |
| 4.8 | 49.5 | 41.6 | 33.8 |

5.4.3 – Determinação de pH em água

A determinação do pH foi efetuada pesando de 10 gr de cada subamostra de cada um dos tratamentos, para um copo plástico de 50 ml devidamente numerados, e adicionou-se 25 ml de água destilada.

Tais subamostras foram submetidas a agitador circular por período de 15 minutos, a 220rpm, e deixadas em repouso por mais meia hora.

Foi usado soluções padrão pH 4,00 e pH 7,00 (+ ou - 0,01, temperatura de referência de 25°C).

A determinação analítica está baseada na medição potencial eletronicamente por meio de elétrico combinado imerso em suspensão solo/líquido, na proporção de 1:2,5.

5.4.4 – Determinação de pH pelo método da solução tampão Adams e Evans

O método Adams e Evans foi projetado para ser um procedimento rápido com um grau relativamente elevado de precisão para estimar as necessidades de calcário de solos com baixa CTC (Adams e Evans, 1962).

Começa-se por pesar 20 g de solo para um copo 50 ml, adicione 20 ml de água destilada, agitar com vareta de vidro, repousa durante 1 hora, de seguida ler pH da água no solo no medidor de pH. Para cada copo, adicionar 20 ml de solução tampão Adams e Evans. Agita-se cuidadosamente, repetindo duas vezes em intervalos de 10 min. Enquanto se agitava com um agitador automático. Escolher a necessidade em cal para pH 6,5 a partir da tabela 2.

O método de Adams e Evans descobre extraordinariamente pequenas diferenças de valores de necessidade em cal de solos em que tais diferenças podem ter efeito relativamente com grandes alterações no pH do solo devido a muito baixa CTC (capacidade tampão) dos solos.

Tabela 2 - Calibração para necessidade em cal pelo método AE

| pH (H ₂ O) | pH do solo <i>buffer</i> AE (t / ha) | | | | |
|--------------------------|--------------------------------------|------|------|------|-------|
| | 7.8 | 7.6 | 7.4 | 7.2 | 7.0 |
| 6.3 | 0.49 | 0.98 | 1.48 | 1.97 | 2.46 |
| 6.1 | 0.87 | 1.74 | 2.61 | 3.48 | 4.35 |
| 5.9 | 1.17 | 2.34 | 3.52 | 4.69 | 5.86 |
| 5.7 | 1.42 | 2.84 | 4.26 | 5.68 | 7.1 |
| 5.5 | 1.63 | 3.26 | 4.88 | 6.51 | 8.14 |
| 5.3 | 1.81 | 3.61 | 5.42 | 7.23 | 9.03 |
| 5.1 | 1.97 | 3.93 | 5.9 | 7.86 | 9.83 |
| 4.9 | 2.11 | 4.22 | 6.33 | 8.44 | 10.54 |
| 4.7 | 2.25 | 4.49 | 6.74 | 8.99 | 11.23 |
| 4.5 | 2.4 | 4.79 | 7.19 | 9.58 | 11.98 |

6 – Análise dos Resultados

Após a caracterização analítica preliminar das 30 amostras inicialmente colhidas selecionaram-se 4 das quais se recolheram depois as quantidades de solo necessárias para o estudo de incubação, cujos parâmetros de caracterização se apresentam na Tabela 3. Destes, os solos A, B e C classificam-se (Soil Taxonomy, 2014) como *Typic Hapludands* enquanto o solo D, pertence à ordem dos *Inceptisols* revelando um carácter ândico fracamente expresso, por se encontrar localizado na zona baixa da ilha e geologicamente a mais antiga, onde prevalecem condições de défice hídrico no período estival que condicionam a génese mineralógica do solo e que explicam a evolução tipológica verificada (Pinheiro, 1990; 1995).

Os parâmetros de caracterização dos solos submetidos a incubação apresentam-se na **Tabela 3**. Estes solos apresentam, todos eles, texturas ligeiras do tipo franco-arenoso, conforme determinado pelo método do densímetro de Boyocos. Os valores iniciais de pH variam entre 5,1 e 5,7. De forma inversa com o pH variam os teores de C e N, de modo concordante com a pluviometria e a temperatura média dos locais, uma vez que estes parâmetros climáticos, em interação com o tipo de coberto vegetal, refletem as condições de acumulação e de estabilização dos teores de matéria orgânica no solo os quais se correlacionam igualmente com a altitude dos respetivos locais, uma vez que esta é determinante dos fatores climáticos em causa.

O complexo de troca destes solos é caracterizado por uma soma de catiões bastante baixa nos Andossolos típicos, com valores de 2,26, 2,79 e 3,19 cmol. kg⁻¹ respetivamente para os solos A, B e C. A natureza da carga eletrostática predominantemente variável nos Andossolos (Pinheiro, 1990) poderá indiciar uma baixa CTC explicando pois os baixos teores de catiões de troca encontrados nos solos A,B e C, admitindo que o pH dos solos possa estar situado próximo do respetivo valor

PZC (ponto de carga zero). A fração do Al de troca é pouco expressiva nestes solos, sendo inferior a $0,02 \text{ cmol.kg}^{-1}$, o que indica portanto um risco nulo de fitotoxicidade alumínica.

Tabela 3 - Caracterização dos solos submetidos a incubação

| Parâmetros | Solos | | | |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | A | B | C | D |
| pH | 5,1 | 4,9 | 5,0 | 5,8 |
| C (%) | 10,1 | 6,0 | 7,1 | 2,6 |
| N (g.kg^{-1}) | 9,1 | 5,7 | 5,3 | 2,9 |
| C/N (%) | 11,1 | 10,5 | 13,4 | 9,0 |
| P (mg.kg^{-1}) | 27,0 | 32,9 | 44,4 | 43,0 |
| Al ($\text{cmol}_{(c)}.\text{kg}^{-1}$) | 0,15 | 0,06 | 0,03 | 0,03 |
| Ca ($\text{cmol}_{(c)}.\text{kg}^{-1}$) | 0,88 | 1,58 | 1,10 | 4,57 |
| Mg ($\text{cmol}_{(c)}.\text{kg}^{-1}$) | 0,44 | 0,68 | 1,09 | 2,76 |
| K ($\text{cmol}_{(c)}.\text{kg}^{-1}$) | 0,36 | 0,10 | 0,58 | 1,19 |
| Na ($\text{cmol}_{(c)}.\text{kg}^{-1}$) | 0,43 | 0,37 | 0,39 | 0,24 |
| Soma ($\text{cmol}_{(c)}.\text{kg}^{-1}$) | 2,26 | 2,79 | 3,19 | 8,79 |
| Fe (mg.kg^{-1}) | 199,5 | 196,2 | 190,0 | 200,4 |
| Mn (mg.kg^{-1}) | 69,4 | 78,3 | 76,8 | 113,5 |
| Cu (mg.kg^{-1}) | 2,2 | 1,6 | 0,5 | 1,4 |
| Zn (mg.kg^{-1}) | 7,3 | 7,6 | 5,1 | 13,4 |
| Textura | Fr-ar | Fr-ar | Fr-ar | Fr-ar |
| El. Grosseiros (%) | 26,8 | 8,3 | 5,4 | 42,4 |

O solo D apresenta, por seu turno, uma soma de bases bastante mais significativa, da ordem dos $8,79 \text{ cmol.kg}^{-1}$, sendo a fração do Al igualmente inexpressiva, tanto mais que para o valor 5,7 de pH que este solo apresenta a solubilização do Al praticamente já não tem lugar. Contrariamente aos Andossolos típicos, o complexo coloidal do solo D estará dominado por uma carga eletrostática de carácter permanente, apresentando o Ca e Mg teores significativos em consequência de um maior grau de desenvolvimento do solo e de uma pluviometria anual 2 a 3 vezes

mais moderada do que nas zonas mais altas onde se localizam os Andossolos, levando a que a lixiviação das bases seja muito mais atenuada.

Os teores em micronutrientes catiões extraíveis (Fe, Mn, Cu e Zn) dos quatro solos aqui considerados apresentam valores considerados médios, sendo a variação entre solos pouco expressiva.

Na **Tabela 4**, apresentam-se os valores da variação do pH dos solos incubados em função das doses de carbonato de cálcio aplicadas (tratamentos T0, T1, T2 e T3) respetivamente de 0; 3,33; 6,66; e 9,99 g.kg⁻¹ (solo seco ao ar) com determinação dos valores de pH em todos os tratamentos no final das semanas 1, 3 e 10. Se considerarmos uma espessura de solo de 20 cm com uma densidade aparente média da ordem de 0,75, os tratamentos reportados a doses de aplicação de carbonato de cálcio expressas em toneladas por hectare apresentam os seguintes valores: T1:5 t/ha; T2:10 t/ha; T3:15 t/ha.

Tabela 4 - Variação do pH em H₂O dos solos incubados (A, B, C, D) em função da dose de CaCO₃ (T0, T1, T2, T3) e do tempo de incubação (Sm1, Sm3, Sm10)

| | T0 | T1 | T2 | T3 |
|------------------------|-----|-----|-----|-----|
| Solo A - pH 5,1 | | | | |
| Sm1 | 5,0 | 5,7 | 6,2 | 6,6 |
| Sm3 | 4,6 | 5,2 | 5,9 | 6,3 |
| Sm10 | 4,2 | 4,9 | 5,7 | 6,0 |
| Solo B - pH 4,9 | | | | |
| Sm1 | 4,8 | 5,4 | 6,6 | 7,0 |
| Sm3 | 4,6 | 5,4 | 6,5 | 7,0 |
| Sm10 | 4,5 | 5,3 | 6,3 | 6,8 |
| Solo C - pH 5,0 | | | | |
| Sm1 | 5,2 | 5,8 | 6,5 | 6,9 |
| Sm3 | 5,1 | 5,7 | 6,4 | 7,0 |
| Sm10 | 5,1 | 5,6 | 6,2 | 6,8 |
| Solo D - pH 5,8 | | | | |
| Sm1 | 5,4 | 6,9 | 7,3 | 7,5 |
| Sm3 | 5,1 | 6,8 | 7,3 | 7,6 |
| Sm10 | 4,9 | 6,3 | 7,1 | 7,5 |

Os dados de pH obtidos mostram uma tendência de abaixamento do pH nos tratamentos T0 ao longo do período de incubação e com reflexo logo ao fim da primeira semana em todos solos, facto este que sugere o papel da atividade microbiana nos processos de mineralização/oxidação de compostos azotados (nitrificação) e sulfurosos, que em ambos os casos são percursos da produção hidrogeniônica.

Por outro lado, o efeito da calagem na subida dos valores de pH é bem patente em todos os solos, verificando-se um acréscimo consistente do pH em função das doses crescentes de carbonato de cálcio aplicadas, para cada um dos tratamentos (T1; T2; T3) e períodos de incubação considerados (Sm1; Sm3; Sm10).

Na **Tabela 5** apresenta-se o cálculo da “necessidade em cal” para atingir o pH 6,5 estimado em função dos resultados da incubação, bem como os valores obtidos pelos métodos SMP e AE por aplicação direta das tabelas de cálculo de cada um destes métodos conforme consta da literatura respetiva.

Tabela 5 - Cálculo da “necessidade em cal” para atingir o pH 6,5 (CaCO_3 - t.ha^{-1}) dos solos incubados, por comparação com os métodos SMP e AE (tabelas).

| Solo | pH (H_2O) | pH (CaCl_2) | CaCO_3 - t.ha^{-1} | | |
|------|--------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| | | | SMP pH (CaCl_2) | AE pH (H_2O) | Incubação* (pH6,5) |
| A | 5,1 | 4,6 | 41,6 | 16,7 | 18,0 |
| B | 4,9 | 4,6 | 35,8 | 12,6 | 12,4 |
| C | 5,0 | 4,5 | 41,6 | 18,3 | 12,5 |
| D | 5,8 | 5,4 | 20,1 | 5,3 | 6,1 |

*Equações de regressão (Sm 10; $y=6,5$):

| | | |
|---------|--------------------------------|----------------|
| Solo A: | $y = 0,124x + 4,27$ | $R^2 = 0,9707$ |
| Solo B: | $y = 0,158x + 4,54$ | $R^2 = 0,9852$ |
| Solo C: | $y = 0,114x + 5,07$ | $R^2 = 0,9982$ |
| Solo D: | $y = -0,01x^2 + 0,322x + 4,91$ | $R^2 = 0,9995$ |

As equações de regressão para cálculo da "necessidade em cal" com base no estudo de incubação, que se apresentam associadas à Tabela 5, foram deduzidas a partir dos valores de pH no final das 10 semanas obtidos para os diferentes tratamentos de calcário em cada um dos solos, apresentados na Tabela 4.

Da comparação das metodologias utilizadas para o cálculo da "necessidade em cal" - incubação vs. métodos SMP e AE (Tabela 5) - verifica-se que as quantidades de calcário estimadas pelo método SMP são 2 a 3 vezes superiores aos da incubação. Por outro lado, a comparação da mesma estimativa entre o método AE e incubação mostra que as diferenças são bem menores, variando entre um mínimo de 15% para o solo C até um máximo de 46% para o solo D, apresentando-se estas diferenças nuns casos por excesso e noutros por diferença.

Na **Tabela 6 (Anexo 1)**, apresentam-se os teores em nutrientes extraíveis determinados antes do período de incubação dos 4 solos bem como a sua evolução para cada um dos tratamentos com calcário desses mesmos teores após as 10 semanas em que decorreu a experiência. Da apreciação destes dados constata-se que apenas o Ca apresenta uma evolução constante e progressiva, consentânea com as doses crescentes de calcário aplicado. Por outro lado, a variação dos restantes parâmetros considerados apresenta-se algo errática, sem que se assinalem tendências de variação definidas em função dos tratamentos de calcário aplicado. Quanto aos teores dos metais Fe, Mn, Cu e Zn cuja solubilidade se poderia esperar ter sido reduzida pelo efeito dos tratamentos de calagem face à subida do pH, não se identificaram diferenças significativas.

Na **Tabela 7 (Anexo 2)**, apresentam-se dados de caracterização do conjunto dos 30 solos colhidos inicialmente. As texturas dominantes nas amostras de solo colhidas são de tipo franco variando entre o franco-argilo-limoso e o franco-arenoso. Quanto aos

teores de azoto nos solos, os valores variam entre 1,8 e 10,1 mg/kg em boa correlação ($R^2=0,69$) com os teores de carbono que por sua vez variam entre 8,0 e 30,8%.

Os valores de pH variam entre 5,1 e 6,8 sendo os mais baixos relativos aos solos colhidos a maior altitude. De igual modo se verifica uma correlação positiva entre os valores de pH e os do Ca extraível por acetato de amónio, sendo os valores mais elevados referentes às amostras das áreas mais baixos onde a lixiviação é menor. Cerca 1/3 das amostras apresenta valores muito baixos de cálcio inferiores a 500 mg/kg, enquanto outro 1/3 tem teores altos variando entre os 1000 e os 2000 mg/kg, pelo que a restante fração de 1/3 apresenta valores médios. O Mg segue uma tendência semelhante à do cálcio sendo que a correlação entre os valores destes dois macronutrientes apresenta um $R^2=0,68$. O K apresenta igualmente valores variáveis entre o baixo e o alto no entanto sem que os valores se correlacionem com os de outros nutrientes ou mesmo com o pH, certamente por apresentarem uma mais direta dependência da composição química do material originário que será deste modo o fator mais determinante da variação deste nutriente. O P extraído pelo método de Olsen apresenta valores tendencialmente altos e muito altos, superiores a 30 mg/kg, apresentando valores médios apenas em 20% das amostras analisadas.

Na **Tabela 8**, os valores de “necessidade em cal” mostram claramente a desproporção entre os dois métodos quanto aos resultados a que conduziram. Os valores obtidos pelo método AE serão portanto os mais credíveis por extrapolação do constatado anteriormente com base na comparação dos dois métodos com a incubação (Tabela 5).

Tabela 8 - Cálculo da “necessidade em cal” para atingir o pH 6,5 (CaCO_3 - t.ha^{-1}) dos 30 solos, por comparação com os métodos SMP e AE (tabelas).

| Solo | Al (KCl) ($\text{cmol}_{(c)} \text{kg}^{-1}$) | pH (H_2O) | pH (CaCl_2) | CaCO_3 - t.ha^{-1} | |
|------|--|--------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|
| | | | | SMP | AE pH (H_2O) |
| 1 | 0,05 | 5,6 | 5,1 | 28,0 | 9,5 |
| 2 | 0,03 | 5,8 | 5,3 | 23,9 | 7,1 |
| 3 | 0,06 | 5,4 | 5,0 | 31,8 | 9,9 |
| 4 | 0,01 | 5,5 | 5,1 | 31,8 | 12,2 |
| 5 | 0,01 | 6,0 | 5,2 | 28,0 | 5,9 |
| 6 | 0,17 | 5,5 | 4,8 | 37,8 | 9,0 |
| 7 | 0,20 | 5,2 | 4,5 | 39,9 | 14,2 |
| 8 | 0,15 | 5,1 | 4,6 | 41,6 | 16,7 |
| 9 | 0,11 | 5,4 | 4,7 | 37,8 | 13,5 |
| 10 | 0,18 | 5,5 | 4,6 | 39,9 | 10,6 |
| 11 | 0,05 | 5,6 | 5,2 | 28,0 | 9,4 |
| 12 | 0,10 | 5,3 | 4,7 | 35,8 | 11,2 |
| 13 | 0,03 | 5,5 | 4,9 | 31,8 | 11,2 |
| 14 | 0,03 | 5,5 | 5,1 | 31,8 | 13,0 |
| 15 | 0,06 | 5,5 | 4,9 | 33,8 | 10,8 |
| 16 | 0,06 | 4,9 | 4,6 | 35,8 | 12,6 |
| 17 | 0,03 | 5,5 | 5,0 | 31,8 | 9,9 |
| 18 | 0,03 | 5,8 | 5,3 | 26,0 | 7,7 |
| 19 | 0,00 | 6,0 | 5,5 | 23,9 | 7,0 |
| 20 | 0,03 | 5,6 | 5,1 | 31,8 | 11,2 |
| 21 | 0,03 | 5,7 | 5,3 | 30,0 | 9,0 |
| 22 | 0,03 | 5,0 | 4,5 | 41,6 | 18,3 |
| 23 | 0,11 | 5,4 | 4,8 | 35,8 | 12,2 |
| 24 | 0,00 | 6,8 | 6,2 | 10,5 | 0,3 |
| 25 | 0,05 | 5,6 | 4,9 | 33,8 | 10,4 |
| 26 | 0,11 | 5,2 | 4,8 | 35,8 | 13,2 |
| 27 | 0,03 | 5,8 | 5,4 | 20,1 | 5,3 |
| 28 | 0,00 | 6,3 | 5,7 | 16,1 | 3,8 |
| 29 | 0,00 | 6,3 | 5,9 | 16,1 | 3,9 |
| 30 | 0,00 | 6,6 | 5,8 | 14,3 | 1,7 |

7 – Discussão, conclusões

A acidez do solo é um fator crucial na produtividade das culturas, afetando a solubilidade dos nutrientes e podendo ser responsável por processos de fitotoxicidade alumínica.

O pH do solo sendo um indicador da acidez ativa (concentração hidrogeniônica em solução) não permite estimar a quantidade de substância neutralizante necessária para vencer o poder tamponizante do solo ou seja a “necessidade em cal” para se atingir um determinado valor de pH, tido como o mais adequado para determinada (s) cultura (s).

A avaliação da “necessidade em cal” é condicionada pela metodologia selecionada para a sua avaliação e pela rentabilidade de cada sistema solo-planta em termos de resposta agrônômica à calagem (Coutinho e Moreira, 1986; Farina *et al.*, 1980).

A “necessidade em cal” pode ser determinada no laboratório de forma expedita como a quantidade de calcário necessária para neutralizar a acidez de troca ($\text{Al}^{3+} + \text{H}_3\text{O}^+$) extraída por KCl (1M) ou, em alternativa, para neutralizar a acidez estimada pela variação do pH de uma suspensão de solo numa solução tamponizada.

A toxicidade por alumínio é geralmente considerada como sendo o maior constrangimento da produção agrícola em solos ácidos (Foy, 1988).

No presente trabalho avaliaram-se dois dos testes laboratoriais mais comuns baseados em soluções tamponizadas: Shoemaker-McLean-Pratt (SMP) e Adams e Evens (AE), por comparação com o método das curvas de neutralização o qual tem sido utilizado por muitos autores para calibrar diferentes métodos baseados em soluções tampão para atingir determinados valores de pH próximos da neutralidade (Husni *et al.*, 1994; van Lierop, 1990).

O principal objetivo do estudo foi o de criar uma primeira base de referência para a avaliação da “necessidade em cal” em solos de pastagem na ilha Terceira, uma vez que até ao presente a calagem tem sido “estimada” apenas com base no valor do pH o qual não constitui base técnica suficiente nem adequada quando tomado isoladamente.

A comparação dos resultados obtidos com os 4 solos sujeitos a incubação mostra que enquanto o método SMP dá resultados excessivos quando comparados com os obtidos por incubação no final das 10 semanas o método AE apresenta valores bastante mais próximos, indicando-o claramente como o método laboratorial de solução tamponizada mais adequado para o cálculo da “necessidade em cal”, no contexto do sistema produtivo estudado.

Contudo importa destacar que os valores de alumínio de troca muito baixos ou mesmo residuais encontrados em todos os solos analisados sem exceção, indicam que, ao contrário do que é usual na maior parte dos ambientes pedológicos associados a condições de acidez do solo, o risco de toxicidade alumínica nos Andossolos de natureza alofânica, poderá ser reduzido ou nulo.

Deste modo, estaremos em muitas das áreas agrícolas da ilha Terceira e eventualmente dos Açores em condições tais que a acidez do solo poderá não ter um impacto significativo na produtividade do sistema agrícola, mormente aquele que é baseado na pastagem. Assim, a subida de pH para um valor próximo da neutralidade poderá ser inconsequente em termos da resposta produtiva para a pastagem e eventualmente para outras culturas e portanto técnica e economicamente desaconselhável, se meramente considerada na perspetiva da subida do pH para valores próximos da neutralidade, conforme tem sido procedimento habitual.

Esta hipótese necessita contudo de ser melhor aprofundada em termos de investigação e com recurso a experimentação de campo que permita uma melhor fundamentação das dúvidas e hipóteses científicas que o presente trabalho suscita.

Referências bibliográficas

- Adams, F.; Evans, C.E. (1962). *A rapid method for measuring lime requirement*. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. Madison.
- Altieri, A.M. (1994). *Biodiversity and Pest Management in Agroecosystems*. Food Products Press.
- Bettencourt, M.L. (1979). *O clima de Portugal – O clima dos Açores como recurso natural, especialmente em agricultura e indústria do turismo*. Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica. Lisboa.
- Breland, H.L. (1964). *Lime in Florida Agriculture*. Florida Agricultural Experimental Station.
- Coleman, N.T.; Weed, S.B.; Mc Cracken, R.J. (1959). *Cation exchange capacity and exchangeable cations in Piedmont soils of North Carolina*. Soil Sci. Soc. Amer. Proc.
- Coutinho, J. (1997). *Calibration of the Single and Double-Buffer SMP Lime Requeriment Methods by Root Elongation Bioassay*. Communications in Soil Science and Plant Analysis.
- Coutinho, J. and N. Moreira. (1986). Soil acidity and the response of vetch to liming, pp. 243-247. In: J.M. Abreu (ed.), *Grasslands Facing the Energy Crisis*, 11th Meeting of the European Grassland Federation. Portuguese Grassland Society, Elvas, Portugal.
- Curtin, D; Smillie, G. W. (1985). *Effects of liming on soil chemical characteristics and grass growth in laboratory and long term field-amended soils*. Depertiment of soil science. University college, Dublin, Ireland.
- Dias, E. (1996). *Vegetação Natural dos Açores – Ecologia e Sintaxonomia das Florestas Naturais*. Tese de Doutoramento. Departamento de Ciências Agrárias. Universidade dos Açores. Angra do Heroísmo.
- Dias, E. (2007). *Ecologia e classificação da vegetação natural dos Açores*. Cadernos de Botânica nº5. Herbário da Universidade dos Açores (AZU). Angra do Heroísmo.
- Direito Rural. (2013) – *Doutrina e Legislação Fundamental*. Vida Economica-Editorial. Porto.
- Ernani, P.R. & Almeida, J.A. *Avaliação de métodos de recomendação quantitativa de calcário para os solos do Estado de Santa Catarina*. UDESC-Curso de Agronomia. (Boletim Técnico de Solos, 11).
- Escobar, R. (2002). *Enciclopedia Agrícola y de Conocimiento Afines*. Juaréz, México.
- Escosteguy, P.A.; Bissani, C.A. (1999) *Estimativa de H + Al pelo método pH SMP em solos do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina*. Revista Brasileira de Ciência do Solo.

- Farina, M.P., M.E. Sumner, C.O. Plank, and W.S. Letzch. (1980). *Exchangeable aluminum and pH as indicators of lime requirement for corn*. Soil Sci. Soc. Am. J.44:1036-1041.
- Ferreira, N. (2011). *Potencial de nitrificação líquida em solos da ilha Terceira*. Tese Mestrado. Departamento de Ciências Agrárias. Universidade dos Açores.
- Fontes, J.C. (1999). *Comportamento hidrológico dos solos agrícolas da Terceira: avaliação e simulação com o modelo Opus*. Tese de Doutoramento. Departamento de Ciências Agrárias. Universidade dos Açores. Angra do Heroísmo.
- Foy, C.D. (1988). *Plant adaptation to acid, aluminum-toxic soils*. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 19:959-987.
- Gliesseman, R. S. (2001). *Agroecología – Procesos Ecológicos en Agricultura Sostenible*. Eric Engles. EUA.
- Gliesseman, R. S. (1998). *Field and Laboratory Investigations in Agroecology*. Eric Engles. EUA
- Gomes, A. (2010). *Produtividade e qualidade de uma pastagem lolium perenne e trifolium repens de uma pastagem à base de espécies espontâneas, instaladas numa zona de média altitude da ilha Terceira (Açores)*. Tese de Doutoramento. Departamento de Ciências Agrárias. Universidade dos Açores. Angra do Heroísmo.
- Haberli *et al.*, (1991). *Environmental Restoration of Metals-Contaminated Soils*. Edited by I.K. Iskandar.
- Husni, M.H.A., S. Devi, M. Peli, and R. Anuar. (1994). *Lime requirement determination of tropical peat soil using buffer-pH methods*. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 25:2467-2480.
- Jenny, H. (1941). *Factors of soil formation*. New York : McGraw-Hill.
- Kamprath, E.J. (1970). *Exchange aluminium as a criterion for liming leached mineral soils*. Soil Science Society America Proceedings, Madison.
- Kelley, W.P. (1948). *Cation exchange in soils*. New York: Reinhold.
- Luchese, E.B.; Favero, L.O.B.; Lenzi, E. (2002) *Fundamentos da química do solo*. Rio de Janeiro.
- Luchese, E. B.; Favero, L. O. B.; Lenzi, E. (2001). *Fundamentos da química do solo: teoria e prática*. Rio de Janeiro: Freitas Bastos.
- Madruga, J.S. (1995). *Caracterização e génese do horizonte plácido em solos vulcânicos do Arquipélago dos Açores*. Tese de Doutoramento. Departamento de Ciências Agrárias. Universidade dos Açores. Angra do Heroísmo.

Mc Cool, M.M.; Millar, C.E. (1918). *Some general information on lime and its uses and function in soils*. East Lansing: Michigan Agricultural College – Experiment Station.

Mc Lean, E.O. (1982). Soil pH and Lime Requirement, in *Methods of Soil Analysis Part 2: Chemical and Microbiological Properties*: 2^o ed. Edited by: Page, A.L., Miller, R. H.; Keeney, D.R., pag. 199-223.

Mc Lean, E.O.; Brown, J.R. (1984). *Crop Response to Lime in the Midwestern USA. Soil Acidity and Liming*. 2.ed. N. 12 in the series *Agronomy*. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin USA.

Mehlich, A.; Coleman, N. T. (1952). *Type of Soil Colloid and the Mineral Nutrition of Plants*. *Advances in Agronomy*.

Mendes, C.; Dias, E. (2007). *Ecologia e vegetação das turfeiras de Sphagnum spp. da ilha Terceira (Açores)*. *Cadernos de Botânica* n^o5. Herbário da Universidade dos Açores (AZU). Angra do Heroísmo.

Pavan, M. A. *et al.*, (1992). *Manual de análise química de solo e controle de qualidade*. Londrina.

Pavan, M.A.; Oliveira, E.L. & Miyazawa, M. (1996). *Determinação indireta da acidez extraível do solo (H + Al) por potenciométrica com a solução-tampão SMP*. *Arq. Biol. Tecnol.*

Pinheiro, J.A. (1990). *Estudo dos principais tipos de solos da ilha Terceira (Açores)*. Tese de doutoramento. Departamento de Ciências Agrárias. Universidade dos Açores. Angra do Heroísmo.

Projecto GLASOD, 1992

Quaggio, J.A.; Raij, B. (2001). *Determinação do pH em cloreto de cálcio e da acidez total*. *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas, Instituto Agronômico.

Raij, B. van.; Quaggio, J.A. (1983). *Métodos de análise de solo para fins de fertilidade*. Campinas.

Samuell L. *et al.*, (1985). *Soil Fertility and Fertilizers* (fourth edition). New York: Macmillan.

Santos, J.Q. (1991). *Fertilização – Fundamentos da utilização dos adubos e corretivos*. Coleção Euroagros Publicações Europa-América. Lisboa

Shoemaker, H.E., E.O. McLean and P.F. Pratt. 1961. *Buffer methods for determining lime requirements of soils with appreciable amounts of extractable aluminum*. *Soil Sci. Soc. Amer.*

Sousa, D.M.G.; Miranda, L.N.; Lobato, E.; Klieman, H.J. (1980). *Avaliação de método para determinar as necessidades de calcário em solo de cerrado de Goiás e do Distrito Federal*. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*.

SRAF (2007). *Prorural - Programa de Desenvolvimento Rural da Região Autónoma dos Açores 2007-2013*. Secretaria Regional da Agricultura e Florestas. Região Autónoma dos Açores.

Tisdale, S.L.; Nelson, W.L. Beaton, J.D. (1985). *Soil Fertility and Fertilizers*. 4ª ed. Macmillan Publishing Company. New York.

Tomé, J.B. (1997). *Manual para interpretação de análise de solo*. Agropecuária.

Van Lierop, W. (1990). Soil pH and lime requirement determination, pp. 73-120. In: R.L. Westerman (ed.), *Soil Testing and Plant Analysis*. Soil Science Society of America, Madison, WI.

ANEXOS

ANEXO 1

Tabela 6 - Variação dos teores em nutrientes extraíveis dos solos incubados com CaCO₃ no final da 10ª semana de incubação

| Solos | Tratamentos | | | |
|---------------------------|-------------|--------|--------|--------|
| | T0 | T1 | T2 | T3 |
| Solos A | | | | |
| pH | 4,2 | 4,9 | 5,7 | 6,0 |
| C (%) | 9,4 | 9,6 | 9,1 | 9,2 |
| N (g.kg ⁻¹) | 6,0 | 9,1 | 6,9 | 7,4 |
| C/N (%) | 15,7 | 10,5 | 13,3 | 12,4 |
| P (mg.kg ⁻¹) | 20,0 | 19,9 | 18,9 | 18,5 |
| Ca (mg.kg ⁻¹) | 232,8 | 1197,2 | 2187,9 | 2912,7 |
| Mg (mg.kg ⁻¹) | 56,4 | 73,2 | 64,5 | 29,7 |
| K (mg.kg ⁻¹) | 135,0 | 110,9 | 117,0 | 90,7 |
| Na (mg.kg ⁻¹) | 85,6 | 65,6 | 57,6 | 50,1 |
| Fe (mg.kg ⁻¹) | 117,5 | 165,6 | 150,0 | 147,5 |
| Mn (mg.kg ⁻¹) | 80,4 | 64,5 | 62,9 | 63,8 |
| Cu (mg.kg ⁻¹) | 1,9 | 2,2 | 2,3 | 2,4 |
| Zn (mg.kg ⁻¹) | 6,2 | 5,0 | 5,2 | 5,1 |
| Solos B | | | | |
| pH | 4,5 | 5,3 | 6,3 | 6,8 |
| C (%) | 5,6 | 5,5 | 5,6 | 5,6 |
| N (g.kg ⁻¹) | 4,8 | 4,6 | 5,4 | 4,9 |
| C/N (%) | 11,6 | 12,1 | 10,3 | 11,5 |
| P (mg.kg ⁻¹) | 52,0 | 50,6 | 52,9 | 52,2 |
| Ca (mg.kg ⁻¹) | 357,0 | 922,0 | 2241,3 | 2053,8 |
| Mg (mg.kg ⁻¹) | 83,0 | 83,8 | 66,7 | 60,6 |
| K (mg.kg ⁻¹) | 36,2 | 39,6 | 36,0 | 30,7 |
| Na (mg.kg ⁻¹) | 49,3 | 53,3 | 46,0 | 48,0 |
| Fe (mg.kg ⁻¹) | 185,9 | 164,5 | 179,2 | 169,8 |
| Mn (mg.kg ⁻¹) | 62,0 | 54,5 | 58,4 | 61,3 |
| Cu (mg.kg ⁻¹) | 1,4 | 1,2 | 2,0 | 2,3 |
| Zn (mg.kg ⁻¹) | 7,2 | 6,3 | 7,2 | 7,8 |

Tabela 6 (Cont.) - Variação dos teores em nutrientes extraíveis dos solos incubados com CaCO₃ no final da 10ª semana de incubação

| Solos | Tratamentos | | | |
|---------------------------|-------------|--------|--------|--------|
| | T0 | T1 | T2 | T3 |
| Solos C | | | | |
| pH | 5,1 | 5,6 | 6,2 | 6,8 |
| C (%) | 7,5 | 7,6 | 7,6 | 7,5 |
| N (g.kg ⁻¹) | 8,1 | 6,3 | 5,8 | 5,4 |
| C/N (%) | 9,3 | 10,9 | 13,2 | 13,9 |
| P (mg.kg ⁻¹) | 37,6 | 35,6 | 29,2 | 42,5 |
| Ca (mg.kg ⁻¹) | 438,1 | 1576,1 | 1793,5 | 3594,0 |
| Mg (mg.kg ⁻¹) | 213,1 | 187,9 | 150,1 | 227,6 |
| K (mg.kg ⁻¹) | 326,1 | 312,7 | 279,9 | 284,4 |
| Na (mg.kg ⁻¹) | 116,8 | 80,2 | 90,8 | 90,2 |
| Fe (mg.kg ⁻¹) | 150,7 | 137,5 | 125,0 | 157,4 |
| Mn (mg.kg ⁻¹) | 58,3 | 56,2 | 50,1 | 71,5 |
| Cu (mg.kg ⁻¹) | 0,5 | 0,5 | 0,8 | 1,5 |
| Zn (mg.kg ⁻¹) | 6,0 | 6,0 | 5,7 | 8,3 |
| Solos D | | | | |
| pH | 4,9 | 6,3 | 7,1 | 7,5 |
| C (%) | 3,3 | 3,4 | 3,2 | 3,2 |
| N (g.kg ⁻¹) | 2,5 | 2,4 | 1,8 | 4,2 |
| C/N (%) | 9,5 | 14,3 | 18,3 | 7,6 |
| P (mg.kg ⁻¹) | 65,6 | 62,1 | 77,5 | 82,9 |
| Ca (mg.kg ⁻¹) | 1086,7 | 1466,6 | 2658,5 | 3500,0 |
| Mg (mg.kg ⁻¹) | 317,6 | 300,0 | 334,3 | 272,4 |
| K (mg.kg ⁻¹) | 308,8 | 227,5 | 357,0 | 359,4 |
| Na (mg.kg ⁻¹) | 84,3 | 86,4 | 86,6 | 83,7 |
| Fe (mg.kg ⁻¹) | 186,0 | 179,2 | 188,1 | 187,1 |
| Mn (mg.kg ⁻¹) | 122,6 | 119,9 | 119,7 | 118,1 |
| Cu (mg.kg ⁻¹) | 1,2 | 1,6 | 2,1 | 1,4 |
| Zn (mg.kg ⁻¹) | 10,1 | 15,7 | 18,4 | 18,9 |

ANEXO 2

Tabela 7 - Caracterização dos restantes solos

| Parâmetros | Solos | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | |
| pH | 5,6 | 5,8 | 5,4 | 5,5 | 6,0 | 5,5 | 5,2 | 5,1 | 5,4 | 5,5 | 5,6 | 5,3 | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 4,9 | 5,5 | 5,8 | 6,0 | 5,6 | 5,7 | 5,0 | 5,4 | 6,8 | 5,6 | 5,2 | 5,8 | 6,3 | 6,3 | 6,6 | |
| C (%) | 3,3 | 4,3 | 5,3 | 7,4 | 5,8 | 7,9 | 9,8 | 10,1 | 10,0 | 8,3 | 6,6 | 8,2 | 3,7 | 7,1 | 6,2 | 6,0 | 5,5 | 5,2 | 6,2 | 7,4 | 8,7 | 7,1 | 7,3 | 2,8 | 7,4 | 7,6 | 2,6 | 3,0 | 3,9 | 2,7 | |
| N (g.kg-1) | 2,8 | 3,8 | 5,0 | 6,3 | 4,1 | 4,5 | 3,2 | 16,5 | 10,1 | 6,2 | 6,8 | 9,5 | 3,0 | 7,7 | 6,3 | 7,2 | 4,7 | 5,8 | 1,4 | 7,8 | 9,5 | 9,4 | 7,5 | 1,7 | 8,1 | 9,5 | 3,7 | 2,8 | 3,2 | 1,8 | |
| C/N (%) | 11,8 | 11,3 | 10,4 | 11,7 | 14,3 | 17,5 | 30,8 | 11,1 | 9,9 | 13,5 | 9,7 | 8,6 | 12,4 | 9,2 | 9,9 | 10,5 | 11,6 | 9,0 | 10,0 | 9,5 | 9,1 | 13,4 | 9,8 | 16,7 | 9,1 | 8,0 | 9,0 | 10,7 | 12,2 | 15,5 | |
| Al (cmol(c).kg-1) | 0,05 | 0,03 | 0,06 | 0,01 | 0,01 | 0,17 | 0,20 | 0,15 | 0,11 | 0,18 | 0,05 | 0,10 | 0,03 | 0,03 | 0,06 | 0,06 | 0,03 | 0,03 | 0,00 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,11 | 0,00 | 0,05 | 0,11 | 0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| P (mg.kg-1) | 56,4 | 92,0 | 73,1 | 34,8 | 20,5 | 15,4 | 20,5 | 27,0 | 30,0 | 23,7 | 81,1 | 142,7 | 47,4 | 41,4 | 21,8 | 32,9 | 25,5 | 53,3 | 58,7 | 49,9 | 109,2 | 44,4 | 14,1 | 17,7 | 13,2 | 17,5 | 43,0 | 59,3 | 49,3 | 34,1 | |
| Ca (mg.kg-1) | 944,2 | 1137,4 | 949,8 | 789,5 | 723,9 | 123,8 | 71,0 | 175,8 | 144,3 | 139,9 | 1167,1 | 321,2 | 587,6 | 846,1 | 371,8 | 314,6 | 369,4 | 976,6 | 2000,0 | 1103,1 | 1541,0 | 220,9 | 366,9 | 1601,5 | 214,7 | 532,1 | 915,8 | 1320,1 | 1765,9 | 1863,5 | |
| Mg (mg.kg-1) | 200,1 | 186,6 | 261,8 | 109,1 | 113,7 | 62,4 | 66,0 | 54,3 | 52,8 | 99,6 | 271,8 | 100,8 | 84,0 | 183,3 | 100,7 | 83,3 | 72,2 | 85,7 | 521,0 | 234,1 | 423,1 | 131,6 | 69,6 | 167,4 | 125,1 | 174,1 | 335,9 | 348,5 | 178,1 | 552,3 | |
| K (mg.kg-1) | 320,9 | 123,5 | 593,9 | 115,1 | 51,5 | 54,1 | 117,9 | 139,9 | 93,1 | 87,7 | 110,0 | 127,5 | 299,9 | 107,1 | 85,2 | 39,7 | 39,6 | 178,8 | 291,5 | 75,0 | 553,5 | 225,6 | 62,0 | 113,7 | 289,9 | 157,9 | 466,2 | 600,5 | 481,8 | 978,3 | |
| Na (mg.kg-1) | 121,6 | 102,5 | 110,4 | 84,4 | 91,2 | 89,4 | 109,5 | 98,7 | 87,4 | 97,8 | 93,4 | 81,3 | 93,5 | 105,7 | 95,5 | 84,3 | 87,0 | 79,6 | 110,4 | 94,1 | 90,7 | 89,1 | 95,7 | 113,6 | 113,8 | 93,9 | 55,7 | 102,5 | 111,4 | 120,3 | |
| Textura | Fr-li | Fr | Fr-ar | Fr-ar | Fr-ar | Fr-ar | Ar-fr | Fr-ar | Ar-fr | Fr-ar | Fr-ar | Ar-fr | Fr-ar | Fr-ar | Fr-ar | Fr-ar | Fr-ar | Fr-ar | Fr-ar | Fr-li | Fr-ar | Fr-ar | Fr-ar | Fr | Fr | Fr-ar | Fr-ar | Fr-ar | Fr-ar | Fr | Fr |
| EG (%) | 14,7 | 29,1 | 32,0 | 20,9 | 25,0 | 17,3 | 19,8 | 25,8 | 34,3 | 39,0 | 33,4 | 33,5 | 13,1 | 10,5 | 3,8 | 8,3 | 5,6 | 5,5 | 20,7 | 21,4 | 33,8 | 5,4 | 2,3 | 46,2 | 16,6 | 11,0 | 42,4 | 31,9 | 40,5 | 55,8 | |