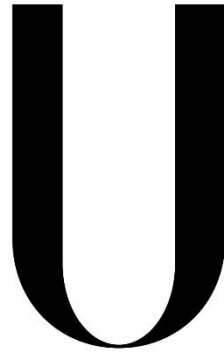


Universidade de Lisboa
Faculdade de Ciências
Departamento de Geologia



LISBOA

UNIVERSIDADE
DE LISBOA

Sedimentologia e morfodinâmica de sapais do estuário do Tejo em cenários de alteração climática

Tiago André Adrião Silva

Dissertação de Mestrado

Mestrado em Geologia do Ambiente, Riscos Geológicos e Ordenamento
do Território

2013

Universidade de Lisboa
Faculdade de Ciências
Departamento de Geologia



Sedimentologia e morfodinâmica de sapais do estuário do Tejo em cenários de alteração climática

Tiago André Adrião Silva

Dissertação de Mestrado

Mestrado em Geologia do Ambiente, Riscos Geológicos e Ordenamento do Território

Orientadora: Prof. Doutora Maria da Conceição Pombo Freitas.

2013

Resumo

Esta tese tem como objetivo a determinação da resposta geomorfológica dos sapais do estuário do Tejo face à subida do nível médio do mar (NMM). Foram aplicadas técnicas de datação radiométricas (^{210}Pb , ^{137}Cs e ^{14}C) para determinar taxas de sedimentação em alguns sapais do estuário. Procedeu-se também à análise sedimentológica (calcimetria, teor de matéria orgânica, medições de pH, teor de água, granulometria de sedimentos) por forma a determinar a sua evolução.

Foram estudados quatro sapais estuarinos: Pancas, Mouchão da Póvoa, Corroios e Trancão. Esta seleção procurou abranger ambas as margens do estuário e alguns dos seus diferentes enquadramentos hidrodinâmicos. Uma vez que a dinâmica dos sapais é controlada pela posição da sua superfície em relação ao regime de marés, caracterizou-se para cada um dos locais de estudo o regime de marés e realizou-se a topografia das áreas de sapal (recorrendo a um DGPS - Differential Global Position System - em modo RTK - Real Time Kinematic).

Da extrapolação linear das taxas de sedimentação determinadas, e assumindo uma amplitude de marés invariante, determinou-se que os sapais de Pancas e do Mouchão da Póvoa (acreções de 22mm/ano e 14mm/ano, respetivamente) conseguirão manter-se a par da subida do NMM espectável até 2100. Os sapais de Corroios e do Trancão (acreções de 6mm/ano e 7mm/ano, respetivamente) enfrentam uma situação mais delicada face aos cenários de subida do NMM mais gravosos. Concluiu-se que os sapais do sector superior do estuário serão capazes de continuar a evoluir e a expandir-se em cenários de subida do NMM, podendo vir a sofrer processos de terrestrialização quando atingirem o Preia-mar de águas-vivas (PMAV). Os sapais do sector médio/inferior serão também capazes de fazer face a alguns cenários de subida do NMM, mas face a cenários mais extremos podem vir a sofrer uma evolução para ambientes intertidais mais baixos.

Palavras-chave: Raso de maré; Sapal; Subida do nível médio do mar; Técnicas de datação radiométricas; Taxas de sedimentação.

Abstract

This thesis main objective is to assess the geomorphological response of the Tagus estuarine salt-marshes relatively to the expected sea level rise (SLR) until the end of the 21st century. Sedimentation rates were determined for each of the studied sites through the application of radiometric dating technics (²¹⁰Pb, ¹³⁷Cs and ¹⁴C). Sedimentological analysis (calcimetry, organic matter percentage, pH measurements, water content and grain size analysis) were also performed in order to understand the past evolution of the studied salt-marshes.

Four salt-marshes were studied within the Tagus estuary: Pancas, Mouchão da Póvoa, Corroios and Trancão. This selection sought to represent different hydrodynamic settings found in the estuary and to survey both margins. Due to the fact that salt-marshes dynamics depend on their position in relation to the tidal frame, marshes surfaces were surveyed using DGPS (Differential Global Position System) and tidal regime was characterized for each location.

Applying linear extrapolation of the sedimentation rates, and assuming an invariant tidal range, it was concluded that Pancas and Mouchão da Póvoa (22mm/yr and 14mm/yr, respectively) salt-marshes will cope with SLR expected until 2100. Corroios and Trancão salt-marshes, with lower sedimentation rates (6mm/yr and 7mm/yr, respectively), may be endangered by the worst SLR scenarios expected. It was concluded that salt-marshes in the upper section of the estuary will be able to cope with SLR and may even suffer a process of terrestrialization after Mean Spring High Tide (MSHT) is reached. Salt-marshes closer to the estuary mouth will be able to cope with some scenarios of SLR but if the worst predictions occur these areas may evolve to lower intertidal environments, such as mudflats.

Key-words: *Tidal flats; Salt-marsh; Sea level rise; Radiometric dating technics; Sedimentation rate.*

*Aos meus Pais,
à minha Irmã,
à minha Namorada.*

AGRADECIMENTOS

Esta dissertação é o resultado de um longo percurso. A todos os que, das mais variadas formas, com o seu contributo e apoio, o tornaram possível, um muito sincero obrigado.

Em primeiro lugar quero agradecer à minha orientadora, a Professora Doutora Maria da Conceição Pombo Freitas, pela presença e acompanhamento em todas as etapas deste trabalho, pelo seu constante incentivo e motivação. Gostava ainda de lhe agradecer o ter despertado em mim, ainda enquanto aluno de licenciatura, o fascínio pela geologia costeira e o entusiasmo pela investigação. Sou um admirador confesso da sua capacidade de trabalho, do seu conhecimento nos vários campos da geologia e do seu pragmatismo.

Gostaria de agradecer também ao Professor Doutor César Andrade, que embora não tenha sido oficialmente meu orientador, demonstrou sempre uma imensa disponibilidade e contribuiu com a sua larga experiência, capacidade de análise e compreensão alargada dos processos costeiros para a resolução dos problemas com que me deparei durante a elaboração desta dissertação.

Quero também agradecer ao meu colega e, acima de tudo, grande amigo Pedro Costa. As tuas palavras de incentivo, a tua fé inabalável na minha capacidade e todo o apoio que me prestaste em todos os momentos foram fundamentais para que também eu acreditasse que era capaz.

Uma palavra de apreço a todo o grupo do ProCost que me recebeu de braços abertos e me ajudou sempre que precisei. Um grande obrigado para a Vera Lopes, Sandra Moreira, Rita Pires, Alexandra Oliveira, Rute Ramos, Anabela Cruces, Tânia Ferreira, Ana Silva, Tanya Silveira, Mafalda Carapuço, Ivana Bosnic, Mónica Ribeiro e Cristina Lira.

Ao projeto Morfeed (PTDC/ACC-AMB/100092/2008), que permitiu a realização dos trabalhos dos quais resultaram os dados utilizados nesta dissertação.

Agradeço também o apoio do meu primo Sérgio Guimarães e dos meus amigos Pedro Morais, Paulo Nunes, Rui Matos, Marco Alves, Cristiano Ribeiro, Frederico Ribeiro, Miguel Abreu, João Russo, Gonçalo Oliveira e Gonçalo Miranda.

Uma palavra de apreço também ao Sr. Ângelo Almeida pela ajuda na logística final.

Quero agradecer também à minha mãe, Maria Teresa Ferreira, ao meu pai, Joaquim Jorge Silva, e à minha irmã, Patrícia Silva. Tudo o que sou devo-o a vocês e espero que este momento vos encha de orgulho. Esta dissertação é também vossa.

Finalmente agradeço à minha namorada, Mónica Almeida, por todo o apoio que me prestou, por sempre ter acreditado em mim e por me ter amparado nos dias menos bons. Obrigado por partilhares todos os dias o teu sorriso comigo.

ÍNDICE

ÍNDICE	XIII
Índice de figuras	XV
Índice de tabelas	XIX
Índice de equações.....	XXI
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Pertinência do estudo	1
1.2. Objetivos	2
1.3. Estrutura da Dissertação	2
2. RASOS DE MARÉ E SAPAIS.....	5
2.1. Rasos de Maré	5
2.2. Sapais	10
3. ENQUADRAMENTOS	17
3.1. Estuário do Tejo.....	17
3.2. Sapais estudados	27
4. MÉTODOS	39
4.1. Trabalhos de Campo	39
4.2. Trabalhos laboratoriais e de gabinete.....	42
4.3. Datações.....	46
5. RESULTADOS	55
5.1. Topografia	55
5.2. Sedimentologia.....	62
5.3. Datações e taxas de sedimentação.....	72
5.4. Fotografia aérea	79
6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	81
6.1. Sedimentologia.....	81
6.2. Taxas de sedimentação.....	85
6.3. Cenários de subida do NMM	88
7. CONCLUSÕES	93
8. BIBLIOGRAFIA	97
ANEXO I – Tabelas de resultados sedimentológicos.....	101

Índice de figuras

FIGURA 1 - ESQUEMA DE UMA PLANÍCIE INTERTIDAL, COM UMA ZONA INTERTIDAL BAIXA COMPOSTA POR UM RASO ARENOSO (SAND FLAT), SEGUIDA DE UMA ZONA INTERTIDAL MÉDIA COMPOSTA POR VASAS (MUDFLAT) E UMA ZONA INTERTIDAL ALTA OCUPADA POR SAPAIS (HIGH/LOW MARSH) (ADAPTADO DE WOODROFFE, 2003).	6
FIGURA 2 - DIAGRAMA DE UMA SEQUÊNCIA “TIDAL BUNDLE”. CADA PACOTE (BUNDLE) DE SEDIMENTO GROSSEIRO DEPOSITADO DURANTE O PREIA-MAR ENCONTRA-SE SEPARADO DO SEGUINTE POR UMA CAMADA DE SEDIMENTOS FINOS. OS PACOTES MAIS ESPessos CORRESPONDEM A CICLOS DE ÁGUAS-VIVAS E OS PACOTES MENOS ESPessos CORRESPONDEM A CICLOS DE ÁGUAS-MORTAS (ADAPTADO DE DAVIS JR AND FITZGERALD, 2004).	7
FIGURA 3 - À ESQUERDA: SEGMENTO #2 DA SONDAGEM DE PANCAS ONDE É VISÍVEL BIOTURBAÇÃO, INDICADA PELAS SETAS. À DIREITA: “TIDAL BEDDING”, FORMADO POR INTERCALAÇÕES DE ARGILAS E SEDIMENTOS MAIS GROSSEIROS. AS SETAS INDICAM PERÍODOS DE ÁGUAS MORTAS DETETADOS PELO AUTOR DA FOTOGRAFIA (ADAPTADO DE CHOI, 2011).	8
FIGURA 4 - CORTE TRANSVERSAL ESQUEMÁTICO DESDE UM SAPAL ATÉ UM RASO DE MARÉ LODOSO. OBSERVAM-SE OS ELEMENTOS MORFOLÓGICOS MAIS IMPORTANTES DESTES AMBIENTES (ADAPTADO DE TOWNEND ET AL., 2011). MMA - MÁXIMA MARÉ ASTRONÓMICA.	10
FIGURA 5 - RELAÇÕES ENTRE OS PRINCIPAIS PROCESSOS QUE DECORREM NUM SAPAL E QUE INFLUENCIAM A ACREÇÃO DA SUA SUPERFÍCIE (ADAPTADO DE ALLEN, 2000).	11
FIGURA 6 - PERFIL TRANSVERSAL ESQUEMÁTICO DE UM SAPAL (ADAPTADO DE DAVIS JR AND FITZGERALD, 2004). AS DIFERENTES ESPÉCIES DE VEGETAÇÃO HALÓFITA DISTRIBUEM-SE DE ACORDO COM A ALTIMETRIA DA SUPERFÍCIE DO SAPAL. O BAIXO SAPAL ESTENDE-SE DESDE O PMAM ATÉ AO PM E O ALTO SAPAL OCUPA A ZONA ENTRE O PM M E O PMAV.	12
FIGURA 7 - UMA ESPÉCIE DE <i>SPARTINA</i> (<i>SPARTINA ALTERNIFLORA</i>) A COLONIZAR UM SUBSTRATO LODOSO. (HTTP://WWW.MARINESPECIES.ORG/CARMS/PHOTOGALLERY.PHP?ALBUM=2274&PIC=44643).	12
FIGURA 8 - À ESQUERDA: <i>SALICORNIA EUROPEA</i> (HTTP://GRACIETEOLIVEIRA.PBWORKS.COM/W/PAGE/35782487/SALICORNIA); À DIREITA: <i>HALIMIONE PORTULACOIDES</i> (HTTP://RESERVE-NATURELLE-PRES-SALES.ORG/-FLORE-.HTML).	13
FIGURA 9 - ESQUEMA DA EVOLUÇÃO DE MATURIDADE DE UM AMBIENTE DE SAPAL. A FIGURA NO TOPO REPRESENTA UM SAPAL JOVEM, COM UMA ÁREA DE BAIXO SAPAL MAIS EXTENSA QUE A DE ALTO SAPAL E MUITOS CANAIS DE MARÉ ATIVOS. A FIGURA DO MEIO REPRESENTA UM SAPAL MADURO COM EXTENSÕES DE BAIXO E ALTO SAPAL SEMELHANTES E MENOS CANAIS DE MARÉ ATIVOS. A FIGURA DA BASE REPRESENTA UM SAPAL ANTIGO, COM UMA EXTENSÃO MUITO GRANDE DE ALTO SAPAL E COM MANCHAS DE BAIXO SAPAL RESTRITAS ÀS MARGENS DOS RAROS CANAIS DE MARÉ ATIVOS (ADAPTADO DE DAVIS JR AND FITZGERALD, 2004).	14
FIGURA 10 - LOCALIZAÇÃO DO ESTUÁRIO DO TEJO (BASE: ORTOFOTOMAPAS 2007 DO IGP).	17
FIGURA 11 - UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS INTERSECTADAS PELA BACIA HIDROGRÁFICA DO TEJO (RETIRADO DE FREIRE, 1999 - ADAPTADO DE CARTA GEOLÓGICA DE PORTUGAL, ESCALA 1:1 000 000, SERVIÇOS GEOLÓGICOS DE PORTUGAL, 1968, IN: INSTITUTO DA ÁGUA, 1995).	18
FIGURA 12 - EXCERTO DA FOLHA SUL DA CARTA GEOLÓGICA DE PORTUGAL, ESCALA 1/500.000, QUE MOSTRA AS LITOLÓGIAS ENQUADRANTES DO ESTUÁRIO DO TEJO.	20
FIGURA 13 - EXCERTOS DA LEGENDA DA FOLHA SUL DA CARTA GEOLÓGICA DE PORTUGAL, ESCALA 1/500.000.	21
FIGURA 14 - LIMITES MARGINAIS DO ESTUÁRIO DO TEJO. A MARGEM NORTE DO ESTUÁRIO APRESENTA-SE COM UM TRAÇADO CONTÍNUO E SEM GRANDES REENTRÂNCIAS AO PASSO QUE A MARGEM SUL SE ENCONTRA BASTANTE MAIS RECORTADA (BASE: ORTOFOTOMAPAS 2007 DO IGP).	23
FIGURA 15 - DELIMITAÇÃO DAS ZONAS INTERTIDAIAS (SAPAIS E RASOS DE MARÉ) E SUPRATIDAIAS (MOUCHÕES) DO ESTUÁRIO DO TEJO (BASE: ORTOFOTOMAPAS 2007 DO IGP).	25
FIGURA 16 - LOCALIZAÇÃO DA BAÍA DO SEIXAL (BASE: ORTOFOTOMAPAS 2007 DO IGP).	27
FIGURA 17 - PORMENOR DA BAÍA DO SEIXAL COM FOCO SOBRE A RESTINGA DO ALFEITE (BASE: ORTOFOTOMAPAS 2007 DO IGP). ..	28
FIGURA 18 - BACIAS HIDROGRÁFICAS DAS PRINCIPAIS LINHAS DE ÁGUA QUE DESAGUAM NA BAÍA DO SEIXAL (BASE CARTOGRÁFICA: CARTA GEOLÓGICA 34-D E 38-B, À ESCALA 1:50.000).	29

FIGURA 19 - VISTA GERAL SOBRE A MANCHA DO SAPAL DE CORROIOS ESTUDADA (BASE: ORTOFOTOMAPAS 2007 DO IGP).	30
FIGURA 20 - À ESQUERDA: SUPERFÍCIE DO SAPAL DE CORROIOS DENSAMENTE OCUPADO POR PLANTAS HALÓFITAS. À DIREITA: VISTA SOBRE A MARGEM SUL DO SAPAL AMOSTRADO, SENDO POSSÍVEL VERIFICAR UMA ESCARPA COM CERCA DE 0.5M ENTRE O SAPAL E O RASO DE MARÉ ADJACENTE.	31
FIGURA 21 - LOCALIZAÇÃO DO SAPAL DE PANCAS (BASE: ORTOFOTOMAPAS 2007 DO IGP).....	31
FIGURA 22 - DELIMITAÇÃO DA BACIA DO RIO SORRAIA SOBRE A FOLHA SUL DA CARTA GEOLÓGICA DE PORTUGAL, À ESCALA 1:500.000.	32
FIGURA 23 - PORMENOR DA ÁREA DO SAPAL DE PANCAS REPRESENTADA NA CARTA GEOLÓGICA DE PORTUGAL 34-B À ESCALA 1:50.000.....	33
FIGURA 24 - ASPETO GERAL DO SAPAL E RASO DE MARÉ DE PANCAS.....	33
FIGURA 25 - LOCALIZAÇÃO DO SAPAL DO TRANCÃO (BASE: ORTOFOTOMAPAS 2007 DO IGP).....	34
FIGURA 26 - À ESQUERDA: BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TRANCÃO (A VERMELHO) SOBREPOSTA ÀS CARTAS GEOLÓGICAS DE PORTUGAL 30C, 30D, 34A, 34B, 34C E 34D (À ESCALA 1:50.000); À DIREITA: PORMENOR DA IMAGEM À ESQUERDA ONDE SE PODE OBSERVAR MELHOR A GEOLOGIA ENQUADRANTE DA FOZ DO TRANCÃO.	35
FIGURA 27 - À ESQUERDA: ASPETO DO SAPAL INSTALADO NA MARGEM DIREITA DO TRANCÃO; À DIREITA: VISÃO DO SAPAL DA MARGEM ESQUERDA DO TRANCÃO, BASTANTE MAIS DESENVOLVIDO QUE O DA MARGEM DIREITA.....	36
FIGURA 28 - LOCALIZAÇÃO DO SAPAL DO MOUCHÃO DA PÓVOA (BASE: ORTOFOTOMAPAS 2007 DO IGP).....	36
FIGURA 29 - LITOLOGIA ENQUADRANTE DA MARGEM PRÓXIMA DO MOUCHÃO DA PÓVOA (BASE CARTOGRÁFICA: CARTA GEOLÓGICA 34-B À ESCALA 1:50.000).	37
FIGURA 30 - À ESQUERDA PODE SER OBSERVADO O RASO DE MARÉ ADJACENTE AO SAPAL DO MOUCHÃO DA PÓVOA A OESTE. À DIREITA PODE SER OBSERVADO UM DOS CANAIS DO MOUCHÃO DA PÓVOA COM DEPÓSITOS DE FRAGMENTOS DE CONCHAS NO SEU LEITO. EM AMBAS AS IMAGENS É TAMBÉM POSSÍVEL OBSERVAR A ESCARPA QUE SEPARA O SAPAL DO RASO DE MARÉ LODOSO.....	37
FIGURA 31 - LOCALIZAÇÃO DAS SONDAGENS REALIZADAS NOS SAPAIS ESTUDADOS (BASE: ORTOFOTOMAPAS 2007 DO IGP).....	39
FIGURA 32- AMOSTRADORES UTILIZADOS DURANTES A REALIZAÇÃO DAS SONDAGENS.	40
FIGURA 33 - ACONDICIONAMENTO DAS AMOSTRAS NO CAMPO.	40
FIGURA 34 - REALIZAÇÃO DE LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO NO SAPAL DE CORROIOS.....	41
FIGURA 35 - ABERTURA DE TESTEMUNHOS DE SONDAGEM EM LABORATÓRIO.....	42
FIGURA 36 - MEDIÇÃO DE pH DIRETAMENTE NA AMOSTRA COM APARELHO DE LEITURA MULTIPARAMÉTRICA.	43
FIGURA 37 - LOCALIZAÇÃO DA SONDAGEM E DOS PERFIS TOPOGRÁFICOS REALIZADOS NO SAPAL DE CORROIOS.	56
FIGURA 38 - PERFIL SW-NE E DADOS MAREGRÁFICOS DO SAPAL DE CORROIOS COM A LOCALIZAÇÃO DA SONDAGEM.	56
FIGURA 39 - LOCALIZAÇÃO DA SONDAGEM E PERFIL TOPOGRÁFICO TRANSVERSAL NO SAPAL DE PANCAS.....	57
FIGURA 40 - PERFIL TOPOGRÁFICO TRANSVERSAL O-E EFETUADO ENTRE O RASO DE MARÉ DE PANCAS E A VERTENTE TALHADA EM MATERIAIS DO PLISTOCÉNICO.	57
FIGURA 41 - PORMENOR DA ÁREA INTERTIDAL DO SAPAL DE PANCAS E PARTE DO CAMPO AGRÍCOLA ADJACENTE.	58
FIGURA 42 - PERFIL TRANSVERSAL E DADOS MAREGRÁFICOS DO SAPAL DE PANCAS COM A LOCALIZAÇÃO DA SONDAGEM.	58
FIGURA 43 - LOCALIZAÇÃO DO PERFIL TOPOGRÁFICO TRANSVERSAL E SONDAGENS REALIZADAS NO MOUCHÃO DA PÓVOA (A OESTE A SONDAGEM EFETUADA NO ALTO SAPAL E A ESTE A SONDAGEM OBTIDA NO RASO DE MARÉ).	59
FIGURA 44 - PERFIL TRANSVERSAL E DADOS MAREGRÁFICOS DO SAPAL DO MOUCHÃO DA PÓVOA E LOCALIZAÇÃO DA SONDAGEM. ...	60
FIGURA 45 - LOCALIZAÇÃO DO PERFIL TOPOGRÁFICO E DA SONDAGEM REALIZADA NO SAPAL DO TRANCÃO.	61
FIGURA 46 - PERFIL TRANSVERSAL E DADOS MAREGRÁFICOS DO SAPAL DO TRANCÃO E LOCALIZAÇÃO DA SONDAGEM.	61
FIGURA 47 - GRÁFICOS DE VARIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS SEDIMENTOLÓGICAS DO SAPAL DE CORROIOS, AMOSTRAS ESTUDADAS E PRINCIPAIS LITOLOGIAS NAS UNIDADES IDENTIFICADAS.	63
FIGURA 48 - GRÁFICOS DE VARIAÇÃO DAS CARATERÍSTICAS SEDIMENTOLÓGICAS DO SAPAL DE PANCAS, DAS AMOSTRAS ESTUDADAS E PRINCIPAIS LITOLOGIAS NAS UNIDADES IDENTIFICADAS.	66
FIGURA 49 - GRÁFICOS DE VARIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS SEDIMENTOLÓGICAS DO SAPAL DE MOUCHÃO DA PÓVOA, DAS AMOSTRAS ESTUDADAS E PRINCIPAIS LITOLOGIAS NAS UNIDADES IDENTIFICADAS.	68

FIGURA 50 - GRÁFICOS DE VARIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS SEDIMENTOLÓGICAS DO SAPAL DO TRANCÃO, DAS AMOSTRAS ESTUDADAS E PRINCIPAIS LITOLOGIAS NAS UNIDADES IDENTIFICADAS.	71
FIGURA 51 - PERFIS DE ATIVIDADE DE ^{210}Pb NO SAPAL DE CORROIOS. À ESQUERDA O PERFIL DE ATIVIDADE DE ^{210}Pb EM EXCESSO, AO CENTRO O PERFIL DE ATIVIDADE DE ^{210}Pb NORMALIZADO SEGUNDO ^{228}Th E À DIREITA O PERFIL DE ATIVIDADE DE ^{210}Pb APENAS COM AS AMOSTRAS ABAIXO DE 10CM PROFUNDIDADE.	72
FIGURA 52 - PERFIL DE ATIVIDADE DE ^{137}Cs NO SAPAL DE CORROIOS.	73
FIGURA 53 - PERFIS DE ATIVIDADE DE ^{210}Pb EM EXCESSO E DE ^{137}Cs NO SAPAL DE PANCAS.	74
FIGURA 54 - PERFIS DE ATIVIDADE DE ^{210}Pb EM EXCESSO NO SAPAL DO MOUCHÃO DA PÓVOA. À DIREITA O PERFIL DE ATIVIDADE DE ^{210}Pb EM EXCESSO, AO CENTRO O PERFIL DE ATIVIDADE DE ^{210}Pb NORMALIZADO SEGUNDO ^{228}Th , À DIREITA O PERFIL DE ATIVIDADE DAS AMOSTRAS ABAIXO DOS 5CM DE PROFUNDIDADE.	75
FIGURA 55 - PERFIL DE ATIVIDADE DE ^{137}Cs NO SAPAL DO MOUCHÃO DA PÓVOA.	75
FIGURA 56 - PERFIS DE ATIVIDADE DE ^{210}Pb EM EXCESSO NO RASO DE MARÉ DO MOUCHÃO DA PÓVOA. À ESQUERDA O PERFIL DE ATIVIDADE DE ^{210}Pb EM EXCESSO E À ESQUERDA O PERFIL DE ATIVIDADE DE ^{210}Pb EM EXCESSO NORMALIZADO SEGUNDO ^{228}Th	76
FIGURA 57 - PERFIL DE ATIVIDADE DE ^{137}Cs NO RASO DE MARÉ ADJACENTE AO SAPAL DO MOUCHÃO DA PÓVOA.	76
FIGURA 58 - PERFIS DE ATIVIDADE DE ^{210}Pb EM EXCESSO NAS AMOSTRAS DO SAPAL DO TRANCÃO. À ESQUERDA O PERFIL DE ATIVIDADE DE ^{210}Pb EM EXCESSO COM TODAS AS AMOSTRAS ESTUDADAS E À ESQUERDA O PERFIL DE ATIVIDADE DE ^{210}Pb EM EXCESSO NORMALIZADO SEGUNDO ^{228}Th	78
FIGURA 59 - PERFIL DE ATIVIDADE DE ^{137}Cs NO SAPAL DO TRANCÃO.	78
FIGURA 60 - À DIREITA: FOTOGRAFIA AÉREA DA ZONA CENTRAL DO SAPAL DE PANCAS DATADA DE 1958. DELIMITAÇÃO DO DIQUE DE LAMA E DA FRENTE DE SAPAL À DATA. À ESQUERDA: AEROFOTOMAPA DA ZONA CENTRAL DO SAPAL DE PANCAS DATADA DE 2007. DELIMITAÇÃO DO DIQUE DE LAMA E DA FRENTE DE SAPAL À DATA.	79
FIGURA 61 - PROJEÇÃO DAS FRENTE DE SAPAL DELINEADAS PARA 1958 E 2007 SOBRE A FOTOGRAFIA AÉREA DA ZONA CENTRAL DO SAPAL DE PANCAS DE 1958.	80
FIGURA 62 - POSIÇÃO RELATIVA ENTRE AS UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS IDENTIFICADAS NOS SAPAIS ESTUDADOS E OS NÍVEIS DE MARÉ (PMM – ROXO –, PMAM – VERDE – E BMAV - LARANJA) QUE DEFINEM A EXTENSÃO DOS AMBIENTES INTERTIDAIS.	83
FIGURA 63 - MÉDIA MENSAL DO NMM MEDIDO NO MARÉGRAFO DE CASCAIS DESDE 1880 AO QUAL FOI IMPOSTA UMA MÉDIA MÓVEL DE 10ANOS (ADAPTADO DE ANTUNES E TABORDA, 2009).	88
FIGURA 64 - PROJEÇÃO DO CRESCIMENTO PREVISTO DAS SUPERFÍCIES DOS SAPAIS DE CORROIOS (A), PANCAS (B), MOUCHÃO DA PÓVOA (C) E TRANCÃO (D) E DOS NÍVEIS DE PMAV E PMAM PREVISTOS COM A SUBIDA DO NMM (0.21cm/ANO). AS CRUZES AZUIS MARCAM A INTERSECÇÃO DA SUPERFÍCIE DO SAPAL COM O NÍVEL DO PMAV.	89
FIGURA 65 - PROJEÇÃO DO CRESCIMENTO PREVISTO DAS SUPERFÍCIES DOS SAPAIS DE CORROIOS (A), PANCAS (B), M. DA PÓVOA (C) E TRANCÃO (D) E DOS NÍVEIS DE PMAV E PMAM PREVISTOS COM A SUBIDA DO NMM E EFEITO DE ACELERAÇÃO. AS CRUZES AZUIS MARCAM A INTERSECÇÃO DA SUPERFÍCIE DO SAPAL COM O NÍVEL DO PMAV.	90
FIGURA 66 - NMM GLOBAL ENTRE 1990 E 2100 PREVISTOS PARA OS CENÁRIOS SRES (SPECIAL REPORTS ON EMISSIONS SCENARIOS) (IPCC, 2001).	90
FIGURA 67 - COMPARAÇÃO ENTRE A COTA DAS SUPERFÍCIES DOS SAPAIS ESTUDADOS E A COTA DO PMAV PREVISTO PELO CENÁRIO A1FI DO IPCC (2001).	91

Índice de tabelas

TABELA 1 - CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS DE ACORDO COM O PH, PROPOSTA POR COSTA (1991).	42
TABELA 2 - CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS DE ACORDO COM O TEOR EM CARBONATO DE CÁLCIO, PROPOSTA POR BAIZE (1988).	43
TABELA 3 - CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS DE ACORDO COM O TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA, PROPOSTA POR COSTA (1991).....	44
TABELA 4 - CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL DE AMOSTRAS SEGUNDO FLEMMING (2000).	44
TABELA 5 - DADOS MAREGRÁFICOS UTILIZADOS PARA A ANÁLISE TOPOGRÁFICA DA SUPERFÍCIE DOS SAPAIS ESTUDADOS. OS DADOS DOS MARÉGRAFOS DO INSTITUTO HIDROGRÁFICO (IH) CORRESPONDEM A SÉRIES TEMPORAIS DE 36 ANOS.....	55
TABELA 6 - DATAÇÃO POR ¹⁴ C (AMS) DA AMOSTRA DO SAPAL DE CORROIOS À PROFUNDIDADE 293-294CM DE PROFUNDIDADE. ...	72
TABELA 7 - DATAÇÃO POR ¹⁴ C (AMS) DA AMOSTRA DO SAPAL DE PANCAS RECOLHIDA À PROFUNDIDADE DE 316-317CM.	73
TABELA 8 - DATAÇÃO DA AMOSTRA DO SAPAL DO MOUCHÃO DA PÓVOA A 413-415CM DE PROFUNDIDADE ATRAVÉS DE RADIOCARBONO (AMS).....	74
TABELA 9 - RESULTADOS DAS DATAÇÕES POR ¹⁴ C REALIZADAS NO SAPAL DO TRANCÃO.	77
TABELA 10 - MÉDIAS E INTERVALOS DE VALORES DOS PARÂMETROS SEDIMENTOLÓGICOS DAS SONDAJENS REALIZADAS EM CADA UM DOS SAPAIS.....	81

Índice de equações

EQUAÇÃO 1.....	43
EQUAÇÃO 2.....	46
EQUAÇÃO 3.....	48
EQUAÇÃO 4.....	48
EQUAÇÃO 5.....	49
EQUAÇÃO 6.....	49
EQUAÇÃO 7.....	50
EQUAÇÃO 8.....	50
EQUAÇÃO 9.....	50
EQUAÇÃO 10.....	50
EQUAÇÃO 11.....	51
EQUAÇÃO 12.....	51
EQUAÇÃO 13.....	52
EQUAÇÃO 14.....	52
EQUAÇÃO 15.....	52
EQUAÇÃO 16.....	52
EQUAÇÃO 17.....	52
EQUAÇÃO 18.....	52

The world is the geologist's great puzzle-box; he stands before it like the child to whom the separate pieces of his puzzle remain a mystery till he detects their relation and sees where they fit, and then his fragments grow at once into a connected picture beneath his hand.

Louis Agassiz (1807-1873)

1. INTRODUÇÃO

Os trabalhos descritos nesta dissertação foram efetuados no âmbito do mestrado em Geologia do Ambiente, Riscos Geológicos e Ordenamento do Território da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, e inserem-se na “Task II – Taxas de sedimentação em áreas intertidais” do projeto “Morfeed – Resposta morfológica das margens estuarinas ao impacto das alterações climáticas”, com a referência PTDC/ACC-AMB/100092/2008, financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia, o qual tem como área de estudo o estuário do Tejo.

1.1. Pertinência do estudo

A Terra está atualmente a sofrer um conjunto de alterações climáticas com potencial para desequilibrar vários sistemas biofísicos globais. A subida do nível médio do mar (NMM), é uma das consequências do aquecimento global que maior impacto poderá ter nas populações que habitam as zonas costeiras. Estas são das áreas mais densamente habitadas do globo terrestre, nelas se situando importantes pólos políticos, habitacionais, comerciais, etc.

As consequências da subida do NMM serão mais graves em áreas onde os sistemas costeiros/marginais não apresentem resiliência suficiente para lhe fazer face. De modo a prever a magnitude do impacto da subida do NMM é preciso, em primeiro lugar, quantificar a sua variação expectável. Para isso têm sido utilizados modelos físicos (e.g. IPCC, 2007; Rahmstorf, 2007) na tentativa de determinar a taxa média global de subida do NMM e a cota que atingirá no futuro (principalmente até ao final do séc. XXI). Devido às incertezas relativas às várias variáveis em jogo, estes modelos e os seus resultados estão ainda em discussão. Alguns estudos têm sido também levados a cabo para determinar a taxa de subida do NMM à escala regional em Portugal (e.g. Antunes e Taborda, 2009; Antunes, 2011).

As margens estuarinas serão dos ambientes mais afetados pela subida do NMM, em particular as áreas intertidais. A resiliência destes ambientes à subida do NMM está relacionada com a capacidade destes manterem uma taxa de sedimentação que permita que as suas superfícies acrecionem a uma taxa igual ou superior à subida do NMM. Se isso acontecer, as áreas intertidais poder-se-ão manter. No entanto, se a taxa de subida do NMM for superior à taxa de sedimentação, estes ambientes podem ficar submersos e ser substituídos por ambientes intertidais inferiores. A perda destes ambientes tem consequências graves, uma vez que estes têm uma grande importância económica e ecológica e funcionam como uma primeira barreira à inundação e erosão de áreas terrestres marginais.

O estuário do Tejo, área de estudo desta dissertação e do projeto Morfeed, apresenta as suas margens densamente habitadas e alvo de várias atividades antropogénicas que lhe conferem extrema importância socioeconómica. Deste modo, é importante determinar as consequências da subida do NMM nas suas zonas marginais.

Este estudo recai sobre a resposta morfológica de áreas intertidais, com foco em ambientes de sapal e raso de maré, do estuário do Tejo, face à subida do NMM. Para isso foram selecionados quatro

sapais nas margens deste estuário, localizados no sector superior e no sector médio e na margem esquerda e direita do estuário, em troços com diferentes dinâmicas sedimentares (Mouchão da Póvoa, Pancas, Trancão e Corroios).

1.2. Objetivos

A inundação de áreas costeiras é uma temática que nas últimas décadas têm ganho destaque devido às projeções de taxas de subida do NMM de grande magnitude. O tema dos trabalhos desenvolvidos durante esta dissertação centra-se na resposta dos ambientes costeiros à subida do NMM, focando os ambientes de sapal.

O objetivo deste estudo é responder à questão: “O que acontecerá às margens estuarinas/ambientes intertidais do estuário do Tejo com a subida do nível médio do mar prevista até 2100?”.

Para tal, analisaram-se os fatores forçadores através da análise bibliográfica e procedeu-se ao estudo de sequências sedimentares, de modo a:

1. Determinar a evolução morfodinâmica dos sapais selecionados, através de análise sedimentológica.
2. Determinar as taxas de sedimentação nos últimos séculos em cada um dos sapais selecionados.
3. Projetar a evolução futura destes ambientes do intertidal superior.

1.3. Estrutura da Dissertação

A dissertação aqui apresentada está organizada de modo a expor os resultados obtidos para cada área de estudo separadamente. A escolha desta organização prende-se com o facto de as margens do estuário do Tejo poderem apresentar respostas morfológicas diferenciadas à variação do NMM. Deste modo, a separação dos resultados obtidos para cada um dos sapais estudados simplifica o modo de exposição dos dados e permite a realização, por parte dos leitores, de uma análise independente daquela proposta pelo autor.

Esta dissertação pode ser dividida em 4 secções: uma secção introdutória (capítulos 1, 2, 3, 4), uma secção de exposição de resultados (capítulo 5) e uma secção de discussão dos resultados e conclusões do estudo (capítulos 6 e 7).

O capítulo 1 está subdividido em 3 subcapítulos. Neste capítulo enumeram-se os objetivos principais deste estudo e apresenta-se a estrutura do documento. No subcapítulo 1.1 é enquadrada a temática da dissertação e referida sumariamente a importância da determinação da resposta morfológica dos ambientes costeiros, focando neste caso os sapais e rasos de maré do estuário do Tejo, face à alteração dos agentes forçadores, nomeadamente o NMM.

O capítulo 2 está subdividido em 2 subcapítulos. Neste capítulo é apresentada de forma geral a dinâmica e características dos ambientes de raso de maré e de sapal. Este capítulo pretende esclarecer de uma forma simplificada os fatores em jogo na dinâmica destes ambientes intertidais para os leitores e permitir que produzam conclusões após a análise dos dados apresentados nesta dissertação.

O capítulo 3 subdivide-se em 2 subcapítulos. O subcapítulo 3.1 apresenta o enquadramento geográfico, geológico, morfológico, hidrológico e hidrodinâmico do estuário do Tejo e o subcapítulo 3.2 apresenta de forma individual, os enquadramentos geológicos e geográficos de cada uma das áreas de estudo.

O capítulo 4 está subdividido em 3 subcapítulos. Os dois primeiros subcapítulos referem-se às metodologias aplicadas nos trabalhos de campo e de laboratório. O subcapítulo 3 refere-se às técnicas de datação (radiocarbono e $^{210}\text{Pb}/^{137}\text{Cs}$) aplicadas aos sedimentos recolhidos de cada um dos sapais estudados.

O capítulo 5 apresenta os dados resultantes dos trabalhos de campo e de laboratório para todas as áreas de estudo. Inseridos neste capítulo encontram-se 4 subcapítulos. Neste capítulo procura-se realizar apenas uma exposição dos dados sem se efetuar nenhuma análise e sem retirar qualquer conclusão acerca dos resultados obtidos. Esta disposição procurou permitir uma análise imparcial dos resultados por parte dos leitores, sem que estes fossem influenciados pela análise do autor. Os resultados encontram-se separados por tipo e de seguida por área de estudo.

No capítulo 6 realiza-se a discussão dos resultados obtidos. Este capítulo está subdividido em 4 subcapítulos. Nos dois primeiros subcapítulos são discutidos os resultados sedimentológicos e de datação obtidos em cada um dos sapais estudados. O subcapítulo 6.3 apresenta os resultados da comparação entre os dados discutidos nos subcapítulos 6.1 e 6.2 e as taxas de subida do NMM determinadas por outros autores. Este subcapítulo apresenta as hipóteses de resposta geomorfológica que os diferentes sapais podem apresentar face aos diferentes cenários de subida do NMM. O último subcapítulo do capítulo 6 sumaria a análise efetuada ao longo de todo o capítulo.

O capítulo 7 apresenta as conclusões retiradas da análise da dinâmica dos sapais estuarinos do Tejo face aos cenários de subida do NMM propostos, dando resposta às questões colocadas ao longo desta dissertação.

2. RASOS DE MARÉ E SAPAIS

Os rasos de maré e os sapais são ambientes de transição entre o domínio marinho e o domínio terrestre e ocupam áreas intertidais. Uma vez que estão ligados geneticamente, os ambientes de raso de maré e de sapal partilham inúmeras características. Ambos são compostos por superfícies aplanadas, cortadas por um sistema de canais que funcionam como rede de drenagem e como via de alimentação sedimentar, e apresentam um ligeiro pendor das suas superfícies para o limite marinho. Embora o substrato dos rasos de maré possa ser arenoso (rasos arenosos), a maioria são de substrato lodoso (rasos lodosos, compostos por siltes e argilas) (Gao, 2009). As superfícies dos sapais são também elas compostas por sedimentos lodosos, demonstrando a afinidade destes ambientes com os rasos lodosos (Allen, 2000).

Os rasos de maré ocupam a zona intertidal entre o nível de BMAM (Baixa-mar de águas-mortas) e o nível de PMAM (Preia-mar de águas-mortas). Acima do nível de PMAM a superfície dos rasos de maré começa a ser colonizada por vegetação halófitas. O aparecimento de vegetação marca o limite inferior da extensão de sapal, que depois ocupa a restante zona intertidal até ao nível de PMAV (Preia-mar de águas-vivas) (Gao, 2009).

Os rasos de maré e os sapais são ambientes de grande importância ecológica, uma vez que:

- são ambientes altamente produtivos, exportando nutrientes que são integrados na cadeia alimentar das águas adjacentes (“*outwelling*”), e funcionam como locais de desova e nidificação para peixes e aves;
- são áreas de acumulação sedimentar contínua. Os seus registos sedimentares podem ser utilizados para reconstruir paleoecossistemas, aferir a evolução da zona costeira, reconhecer alterações climáticas importantes e identificar alterações do NMM (nível médio do mar);
- funcionam como filtros para os poluentes, garantindo uma melhor qualidade da água estuarina;
- funcionam como barreiras naturais para a proteção das margens, devido à presença da vegetação que cobre as superfícies dos sapais e que dissipa a energia das ondas e das marés que se propagam sobre elas (Möller *et al.*, 2001);

Atualmente, a evolução destes ambientes intertidais em resposta às alterações climáticas globais e a pressões antrópicas, tem sido alvo de diversos estudos (Vos and Kesteren, 2000, *in*: Gao, 2009).

Para uma boa caracterização e análise dos dados resultantes deste estudo, é necessário em primeiro lugar ter uma noção dos processos e das dinâmicas decorrentes nos rasos de maré e nos sapais. Deste modo, nos subcapítulos seguintes, procede-se a uma caracterização geral (pouco extensiva) destes ambientes no que respeita às suas características sedimentológicas e à sua morfodinâmica.

2.1. Rasos de Maré

2.1.1. Introdução

O termo raso de maré é aplicado de forma lata a ambientes intertidais compostos por sedimentos maioritariamente vasosos e superfícies com um gradiente muito baixo que inclinam para o mar (Amos, 1995, *in*: Gao, 2009).

Os sedimentos que compõem os rasos de maré são transportados, pelas marés, do estuário para terra. Quando as marés invadem a superfície destes ambientes transportam sedimentos em suspensão e à medida que a velocidade das correntes de enchente diminui os sedimentos são depositados na superfície dos rasos. Os sedimentos são depositados na superfície dos rasos de acordo com o seu calibre. Deste modo, e ao contrário do que ocorre noutros ambientes costeiros, os rasos de maré apresentam sedimentos mais grosseiros no seu limite inferior e mais finos no seu limite superior. Os rasos de maré são limitados na base, abaixo do BMAM, por ambientes subtidaís e no topo, acima do nível de PMAM, por sapais ou mangais (dependendo da vegetação presente nesses ambientes).

2.1.2. Formação, sedimentos, morfologia e estruturas sedimentares

Os rasos de maré podem ser encontrados em linhas de costa com diferentes morfologias que apresentem duas condições básicas (Klein, 1985, *in*: Gao, 2009): abastecimento de sedimentos finos (argilas, siltes e/ou areias finas) e hidrodinamismo baixo (dominado pelas marés e fora da influência predominante das ondas).

Assim, os rasos de maré podem ser encontrados em zonas abrigadas das ondas e com um abastecimento de sedimentos finos contínuo (proveniente essencialmente da erosão de arribas e da bacia hidrográfica, a que se associa material produzido *in situ*), como baías e estuários, ou em linhas de costa expostas com grandes amplitudes de maré e grande abundância de sedimentos finos.

Os registos sedimentares dos rasos de maré apresentam granulotriagem positiva uma vez que os sedimentos que os compõem são transportados a partir do estuário pelas marés (Klein, 1985, *in*: Gao, 2009). Num perfil transversal (Figura 1), observa-se a distribuição espacial dos sedimentos, com os mais grosseiros, normalmente areias, na zona mais baixa formando rasos arenosos e à medida que se caminha para terra encontra-se uma mistura de areia e vasa seguida de sedimentos lodosos (raso lodoso). Nas cotas mais elevadas as superfícies lodosas dos rasos, compostas pelos sedimentos mais finos de toda a sequência, podem encontrar-se colonizadas por plantas halófitas, passando então a denominar-se sapais (Zhang *et al.*, 2004, *in*: Gao, 2009).

Os rasos lodosos (como os observados neste estudo) estendem-se entre o nível médio de baixamar de águas-vivas (BMAV) e o nível médio de PMAM, embora por vezes estes limites variem de acordo com as características dos sedimentos que alimentam o raso e do regime de marés.

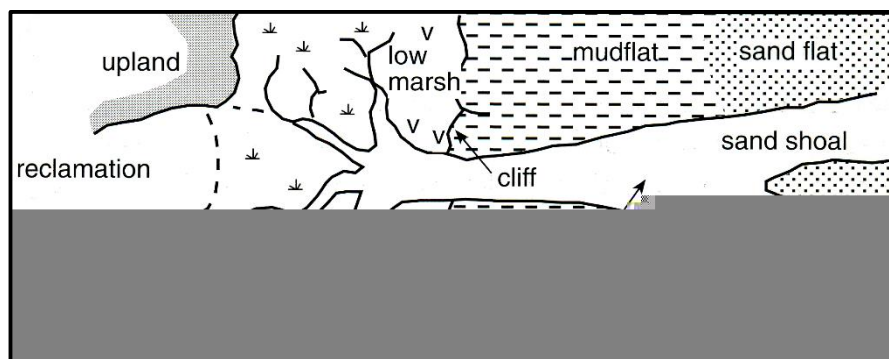


Figura 1 - Esquema de uma planície intertidal, com uma zona intertidal baixa composta por um raso arenoso (sand flat), seguida de uma zona intertidal média composta por vasas (mudflat) e uma zona intertidal alta ocupada por sapais (high/low marsh) (adaptado de Woodroffe, 2003).

Podem também ser observadas estruturas designadas por “tidal bedding” (Figura 3). Estas estruturas resultam da deposição de sedimentos de granulometrias diferentes alternadamente durante a vazante e a enchente. Para além dos ciclos de maré, também os ciclos de AV e AM ficam preservados nestas estruturas.

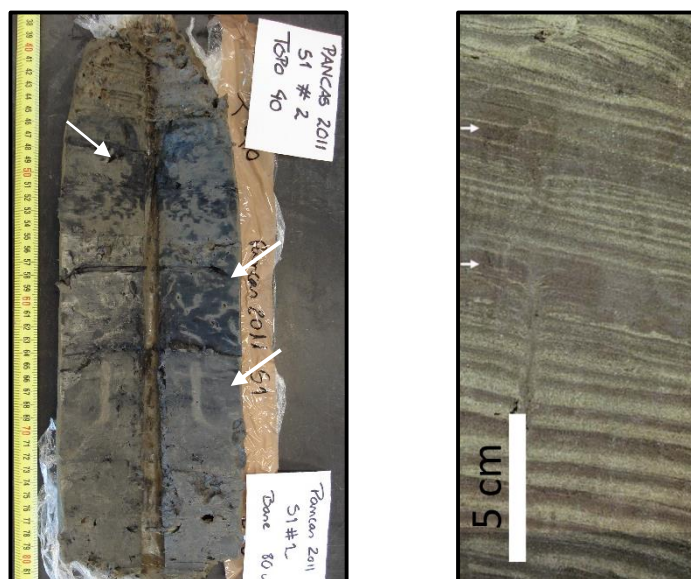


Figura 3 - Estrutura de bedding formada por intercalações de argilas e sedimentos mais grosseiros. As setas indicam períodos de águas mortas detetados pelo autor da fotografia (adaptado de Choi, 2011).

As taxas de sedimentação ocorrentes nestes ambientes tendem a diminuir com o aumento da cota de instalação da superfície do raso e com a diminuição do tempo de imersão da superfície em cada maré (Pethick, 1981, *in*: Gao, 2009).

No limite entre os rasos de maré lodosos e os sapais verifica-se que em muitos casos ocorre uma escarpa. Estas escarpas podem ter dimensões que chegam a atingir cerca de 1m. O significado da ocorrência destas escarpas é ainda objeto de discussão, sendo que alguns autores as interpretam como resultado de ciclos de erosão/deposição (Allen, 1990, *in*: Gao, 2009), outros como resultado de processos puramente erosivos e outros ainda como resultado de diferenças entre as taxas de sedimentação nos rasos e nos sapais (Amos, 1995, *in*: Gao, 2009). Estes últimos afirmam que as plantas que colonizam os sapais funcionam como armadilhas sedimentares que potenciam a sedimentação nessas áreas e com o tempo, a diferença nas taxas de sedimentação sentidas nos dois ambientes dá origem às escarpas.

2.1.3. Canais de maré

Os canais de maré são o elemento morfológico de maior destaque a rasgar a superfície aplanada dos rasos de maré. O tamanho destes canais é bastante variável e os seus leitos são compostos por sedimentos mais grosseiros que os rasos adjacentes, apresentando na sua maioria depósitos de areia e até fragmentos de conchas. Alguns destes canais apresentam leitos subtidais, não ficando a descoberto durante o baixa-mar (Gao, 2009).

Os sistemas de canais de maré têm como função a drenagem dos rasos, funcionando de forma semelhante aos sistemas fluviais terrestres, sendo até possível classificar os canais segundo ordens. A principal diferença entre estes dois sistemas é o facto de nos canais de maré o fluxo ocorrer em ambos os

sentidos, variando com a maré. Os canais de maré apresentam-se de forma geral mais encaixados nas áreas lodosas dos rasos mais altos enquanto nos rasos arenosos esta morfologia altera-se e as margens tornam-se mais suaves (Davis Jr e Fitzgerald, 2004).

Os canais de maré são formados a partir de pequenas depressões na superfície dos rasos onde ocorre acumulação de água durante a vazante. A cada ciclo de maré essas depressões vão-se alargando e aprofundando dando depois origem aos canais (Gao, 2009).

Estes canais são também as vias preferenciais de transporte de sedimento para as superfícies dos rasos. Nos períodos de enchente, a água carregada de sedimentos em suspensão invade os canais de maré e quando o nível atinge a cota das suas margens a água transborda e perde velocidade (com um comportamento semelhante ao observado numa planície aluvial de um sistema fluvial) promovendo a deposição dos sedimentos em suspensão. Os sedimentos depositam-se assim nas margens dos canais formando diques naturais designados por motas-marginais (Davis Jr e Fitzgerald, 2004).

2.2. Sapais

2.2.1. Introdução

Os sapais são, como já foi referido acima, ambientes intertidais superiores, de substrato vasoso (argilas e siltes), que se encontram colonizados por plantas tolerantes a salinidades acima do normal (Allen, 2000; Davis Jr e Fitzgerald, 2004; Townend *et al.*, 2011).

Estes ambientes desenvolvem-se a partir das superfícies de rasos de maré lodosos que, após ultrapassarem a cota do PMAM, são colonizadas por plantas halófitas. Morfologicamente os sapais caracterizam-se por apresentarem uma superfície sub-horizontal que inclina ligeiramente para o estuário e uma rede de drenagem formada por canais de maré. Estas figuras morfológicas são heranças dos rasos de maré lodosos que lhes estão na origem, sendo limitados e aumentando a sua profundidade relativa devido à coalescência de manchas de sapal de cotas mais elevadas (Allen, 2000) (Figura 4).

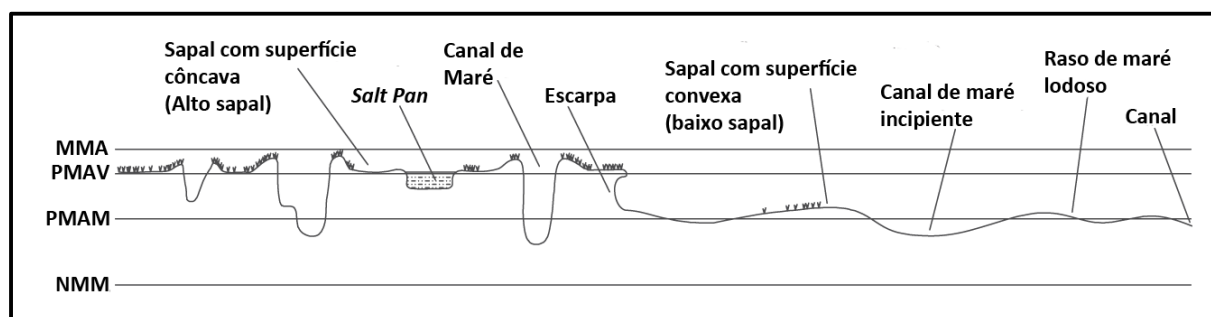


Figura 4 - Corte transversal esquemático desde um sapal até um raso de maré lodoso. Observam-se os elementos morfológicos mais importantes destes ambientes (adaptado de Townend *et al.*, 2011). MMA - máxima maré astronómica.

O desenvolvimento destes ambientes está ligado a processos bióticos e abióticos. Esses processos estão presentes tanto no seu desenvolvimento como no seu desaparecimento, tornando, deste modo, importantíssima a compreensão dos processos em jogo de modo a poder ter uma melhor estimativa da resposta dos sapais a mudanças nos agentes forçadores.

2.2.2. Formação

Os sapais compreendem a área superior da zona intertidal e evoluem a partir dos rasos de maré lodosos que aí se desenvolvem inicialmente. A partir do PMAM a energia das marés e a sua capacidade de transporte diminui. Deste modo, as áreas intertidais acima do PMAM são compostas pelos sedimentos mais finos disponíveis nesse sistema costeiro. A superfície do raso de maré lodoso, acima deste nível de maré, é bastante estável, uma vez que a maré não consegue ressuspender os sedimentos aí depositados. A superfície estável e composta por sedimentos finos e ricos em matéria orgânica que se desenvolve acima do PMAM, é favorável à instalação de vegetação. Devido ao fato de a salinidade na superfície do raso ser elevada (chegando a salinidades marinhas), as plantas halófitas (tolerantes a salinidades elevadas) são as primeiras a colonizar esta superfície. A partir do momento em que a superfície do raso é colonizada por vegetação, considera-se estar na presença de um sapal.

2.2.3. Morfodinâmica, sedimentos e vegetação

Os sapais são sistemas morfosedimentares complexos cuja dinâmica envolve diversos fatores e componentes interligados entre si. Alguns autores (e.g.: French, 1993, 1991; Randerson, 1979; Reed, 1990, *in*: Allen, 2000) construíram diagramas que identifica os principais componentes deste sistema e as ligações entre cada um deles. A Figura 5 mostra um diagrama que enfatiza quatro dos principais fatores forçadores da dinâmica dos ambientes de sapal: alterações no NMM e na amplitude da maré, que influenciam o espaço de acomodação de sedimento disponível, em conjunto com eventos de tempestade que têm uma grande influência nas taxas de acreção vertical de sedimentos nas superfícies dos sapais (assumindo que não existe uma limitação no abastecimento sedimentar); abastecimento sedimentar mineralógico, que varia de acordo com a concentração de sedimentos em suspensão, o tamanho dos sedimentos, a mineralogia; a capacidade de produção de biomassa das plantas que colonizam um sapal, designada por produtividade, é um fator importante na sedimentação decorrente na sua superfície; a autocompactação dos materiais depositados na superfície do sapal é também uma variável na taxa de sedimentação que decorre num sapal, visto que esta funciona como uma subida no NMM criando espaço de acomodação para mais sedimentos.

Como se pode observar pelo diagrama da Figura 5, os processos que controlam a dinâmica de um sapal são interdependentes, como por exemplo: o hidroperíodo faz variar a produtividade das plantas que por sua vez faz variar a sedimentação no sapal controlando a cota de instalação deste em relação à amplitude da maré e influenciando por isso o hidroperíodo.

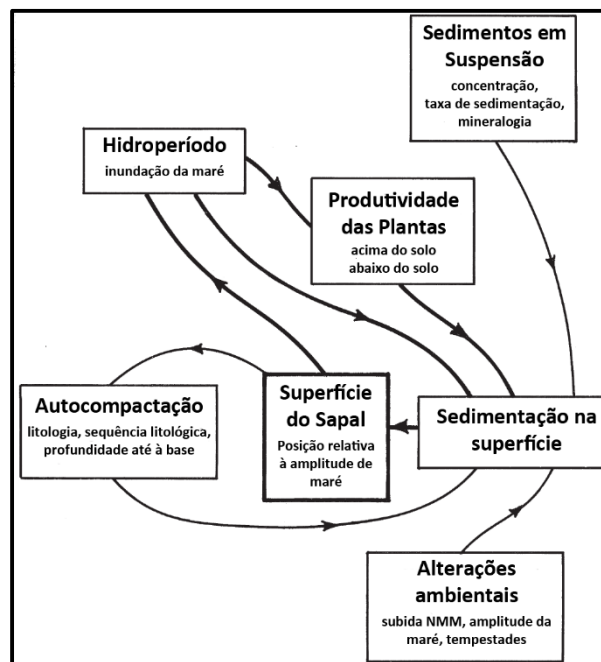


Figura 5 - Relações entre os principais processos que decorrem num sapal e que influenciam a acreção da sua superfície (adaptado de Allen, 2000).

Os sapais são compostos por duas unidades geomorfológicas distintas: uma superfície aplanada e quase horizontal e uma rede de drenagem composta por sistemas de canais. Tal como nos rasos, estas características fazem os sapais assemelhar-se a sistemas fluviais, uma vez que são compostos por uma superfície aproximadamente horizontal e aplanada cortada por diversos canais de maré meandriformes. Nas margens dos canais de maré dos sapais são encontrados muitas vezes diques naturais denominados

motas-marginais; estes canais podem também apresentar “point bars” e meandros abandonados, formando braços mortos (Allen, 2000).

O tipo de vegetação que coloniza a superfície de um sapal é uma característica importante deste. De acordo com a vegetação presente, os sapais são zonados em baixo sapal e alto sapal. Uma vez que a vegetação se distribui de acordo com a altimetria da superfície do sapal, esse zonamento também distingue uma zona de sapal mais próxima do PMAM e outra mais próxima do limite de influência da maré, PMAV (Figura 6).

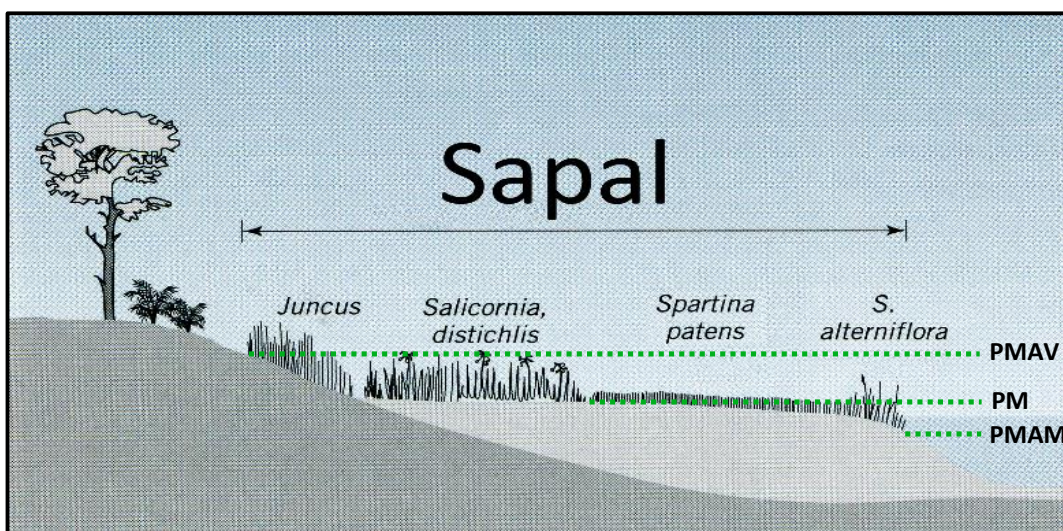


Figura 6 - Perfil transversal esquemático de um sapal (adaptado de Davis Jr and Fitzgerald, 2004). As diferentes espécies de vegetação halófila distribuem-se de acordo com a altimetria da superfície do sapal. O baixo sapal estende-se desde o PMAM até ao PM e o alto sapal ocupa a zona entre o PM e o PMAV.

O baixo sapal estende-se entre o PMAM e o PM e é colonizado, principalmente, por *Spartina* (Figura 7) e o alto sapal localiza-se entre o PM e o PMAV e é colonizado por *Sarcornia*, *Salicornia* e *Halimione* (Figura 8).



Figura 7 - Uma espécie de *Spartina* (*Spartina alterniflora*) a colonizar um substrato lodoso. (<http://www.marinespecies.org/carms/photogallery.php?album=2274&pic=44643>).



Figura 8 - À esquerda: *Salicornia europaea* (<http://gracieteoliveira.pbworks.com/w/page/35782487/Salicornia>); À direita: *Halimione portulacoides* (<http://reserve-naturelle-pres-sales.org/-flore-.html>).

O rácio entre as extensões de baixo e alto sapal permitem classificar os sapais quanto à sua maturidade. Assim, e sem recorrer a datações absolutas, e assumindo que o NMM não se alterou significativamente, é possível aferir o estado de desenvolvimento de um sapal e considerar um sapal jovem, maduro ou antigo (Figura 9). Os sapais jovens caracterizam-se por apresentarem quase exclusivamente áreas de baixo sapal e uma grande rede de canais de maré, promovendo uma boa drenagem da superfície e um abastecimento sedimentar abundante. À medida que mais sedimento é depositado no sapal, este torna-se mais maduro. Os sapais maduros apresentam um equilíbrio entre as áreas de baixo e alto sapal mas o número de canais presentes é menor que nos sapais jovens. Os sapais antigos são compostos por uma superfície densamente coberta por vegetação de alto sapal e com canais de maré que se encontram muito espaçados.

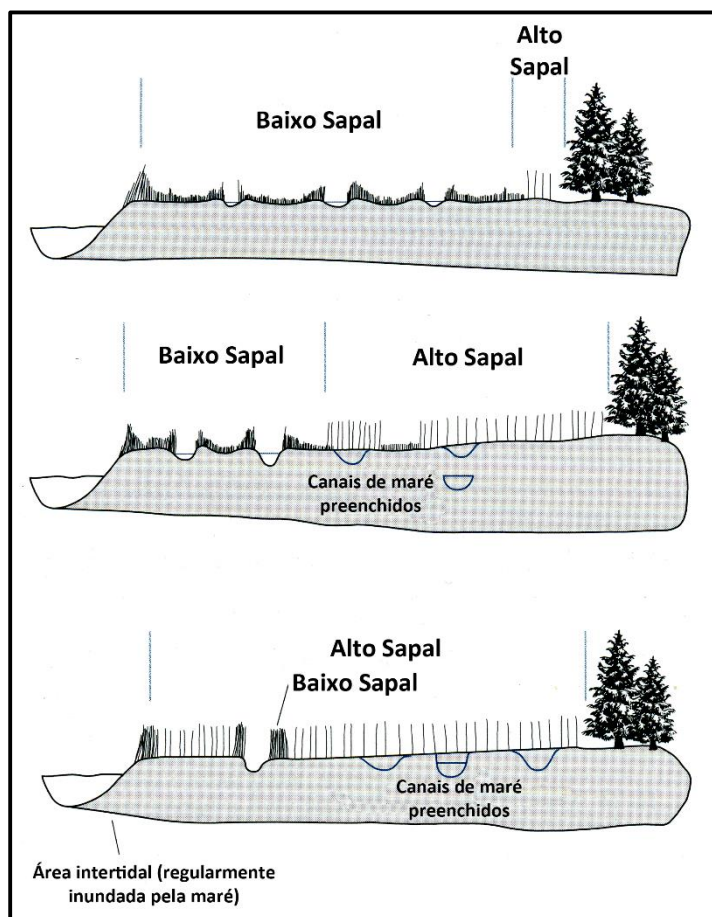


Figura 9 - Esquema da evolução de maturidade de um ambiente de sapal. A figura no topo representa um sapal jovem, com uma área de baixo sapal mais extensa que a de alto sapal e muitos canais de maré ativos. A figura do meio representa um sapal maduro com extensões de baixo e alto sapal semelhantes e menos canais de maré ativos. A figura da base representa um sapal antigo, com uma extensão muito grande de alto sapal e com manchas de baixo sapal restritas às margens dos raros canais de maré ativos (adaptado de Davis Jr and Fitzgerald, 2004).

O processo de sedimentação contínuo que os sapais sofrem acaba por elevar a sua superfície acima do PMAV e a vegetação terrestre começa a invadir o sapal, sendo a sua área reclamada por ambientes de domínio terrestre.

Os sedimentos encontrados nos sapais são bastante diferentes dos encontrados nos restantes ambientes intertidais, com exceção dos rasos de maré lodosos. A composição sedimentar dos sapais é uma mistura de vasa e restos vegetais, por vezes com fragmentos de conchas, sedimentos terrígenos e fragmentos de plantas de dimensões maiores. De forma geral, os sapais são compostos pelos sedimentos mais finos disponíveis mas existem exceções, como sapais associados com barreiras e que se desenvolvem em áreas onde ocorrem depósitos de galgamento. Nestes, os sedimentos dominantes são as areias. Devido à grande acumulação de restos vegetais, alguns sapais também desenvolvem turfas.

A estrutura sedimentar mais comum nos sapais é a bioturbação. Esta resulta da ação dos diversos organismos que habitam os sapais, especialmente os endobentónicos como minhocas, moluscos e caranguejos, e ainda a ação das raízes das plantas. Embora a maioria dos sapais apresente bastante bioturbação, alguns mantêm intactas estruturas de “tidal bedding”.

Existem dois processos principais para o transporte de sedimentos para os sapais: o primeiro é o “settling and scour lag effects” (adereçado no subcapítulo dos “Rasos de maré”). Este processo promove a progradação e/ou agradação do sapal, levando à colonização deste por vegetação halófitas. Os sedimentos

são transportados para o sapal em suspensão na coluna de água ou como carga de fundo (sedimentos mais grosseiros) nos canais de maré. Quando a superfície atinge o PMAM, o transporte em suspensão ganha preponderância. Nesta condição, são os sedimentos mais finos que preferencialmente são transportados até ao sapal. Os sedimentos são distribuídos ao longo da superfície do sapal durante o PM, principalmente durante ciclos de AV, ou durante eventos de tempestade. Os eventos de tempestade promovem um incremento na taxa de sedimentação dos sapais de duas formas distintas: em primeiro lugar, as ondas e correntes provocadas pela tempestade vão ressuspender materiais finos ao largo dos sapais e levar a um aumento da concentração de sedimentos em suspensão na coluna de água; em segundo lugar, as tempestades provocam uma sobrelevação das marés que vão inundar os sapais acima das inundações normais. Os sedimentos transportados pelas tempestades são distribuídos pela superfície através da simples inundação dos sapais pela água com sedimentos em suspensão ou pelo rompimento das mota-marginais que ladeiam os canais de maré, formando depósitos do tipo “*crevasse splay*”.

A vegetação presente nos sapais também aumenta as taxas de sedimentação, essencialmente devido ao funcionamento destas plantas como barreiras naturais. A presença das plantas halófitas, muitas vezes com populações bastante densas, leva a que as correntes que invadem o sapal percam velocidade de uma forma mais acentuada, permitindo a sedimentação do material que era transportado em suspensão. As plantas também proporcionam a retenção de materiais sedimentares através da adesão das partículas aos seus caules, funcionando como armadilhas sedimentares e obrigando à deposição desse sedimento.

Tal como as plantas, os restantes organismos que habitam os sapais também contribuem para o aumento da quantidade de material depositado no sapal, especialmente os organismos filtradores. Estes organismos, ao filtrarem a água em busca de alimento, produzem “*pellets*” que se vão depositar na superfície do sapal, somando-se aos sedimentos provenientes de outras fontes sedimentares.

3. ENQUADRAMENTOS

3.1. Estuário do Tejo

3.1.1. Enquadramento geográfico

O rio Tejo é o maior rio português e um dos mais importantes da Península Ibérica. O Tejo nasce em Albaracin e desagua no Atlântico, perto da cidade de Lisboa. Dos seus 1076km de extensão apenas 273km (25.4%) se situam em território português, com outros 43 km na fronteira entre os dois países. Os seus principais afluentes em Portugal são o rio Pônsul, o Zêzere e o Ocreza na margem norte e o Sorraia na margem sul (Bettencourt *et al.*, 2003).

A sua bacia hidrográfica é bastante extensa, abrangendo uma área de cerca de 80629km², dos quais apenas 24860km² (29.8%) são em solo português. Apresenta uma orientação preferencial E-W e é limitada pelas bacias hidrográficas do Douro e do Mondego (a Norte), do Ebro e do Júcar (a Este) e pelas bacias do Sado e Guadiana (a Sul) (Bettencourt *et al.*, 2003).

Antes de desaguar no Atlântico, o rio Tejo deixa de ser um rio encaixado e desenvolve um grande estuário (Figura 10). O estuário do Tejo, com cerca de 325km², é um dos maiores e mais importantes estuários da europa ocidental (Bettencourt *et al.*, 2003). A sua localização na costa ocidental portuguesa perto de Lisboa, capital portuguesa, confere ao estuário uma importância socioeconómica acrescida. Para além de nele se situar o porto da capital, existem ainda muitas indústrias e zonas agrícolas (principalmente na zona montante do estuário) instaladas nas suas margens. Parte da margem sul do estuário pertence à Reserva Natural do Estuário do Tejo.

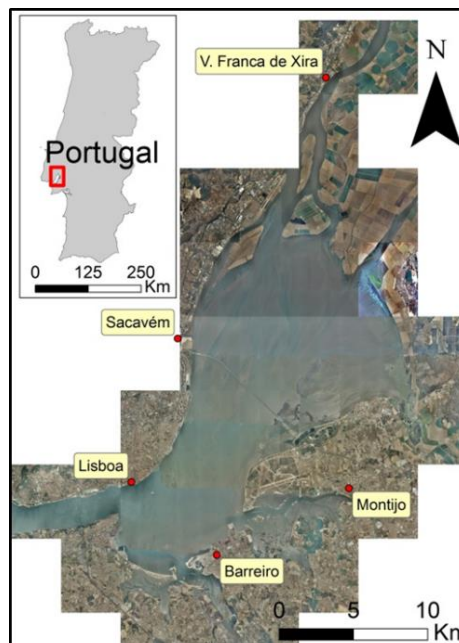


Figura 10 - Localização do estuário do Tejo (base: ortofotomapas 2007 do IGP).

O estuário apresenta um corpo principal que se desenvolve segundo a direção NNW-SSW e um gargalo (zona estrangulada que antecede a foz do rio e que se pensa estar controlada pela instalação de uma falha) com direção ENE-WSW. Considera-se como limite montante do estuário a cidade de Muge (a 80km da foz e coincidente com o limite da maré dinâmica) e como limite jusante o alinhamento entre a Cova-do-Vapor, Bugio e Forte de S. Julião.

A cunha salina do estuário pode chegar até 50 km da barra (em Vila Franca de Xira) quando os caudais fluviais são inferiores a 300m³/s.

Durante o período de baixa-mar das marés mais amplas, 40% do estuário (130km²) fica emerso dando origem a extensas áreas intertidais.

3.1.2. Enquadramento geológico e geomorfológico

A bacia hidrográfica do Tejo engloba áreas com diferenças do ponto de vista litológico, estrutural, hidrogeológico e geomorfológico, que podem ser englobadas em 3 unidades principais. As unidades geomorfológicas do Maciço Hespérico, Orla Mesozóica Ocidental e Bacia Terciária do Tejo-Sado são coincidentes com as principais unidades geológicas da bacia hidrográfica do Tejo (Figura 11).

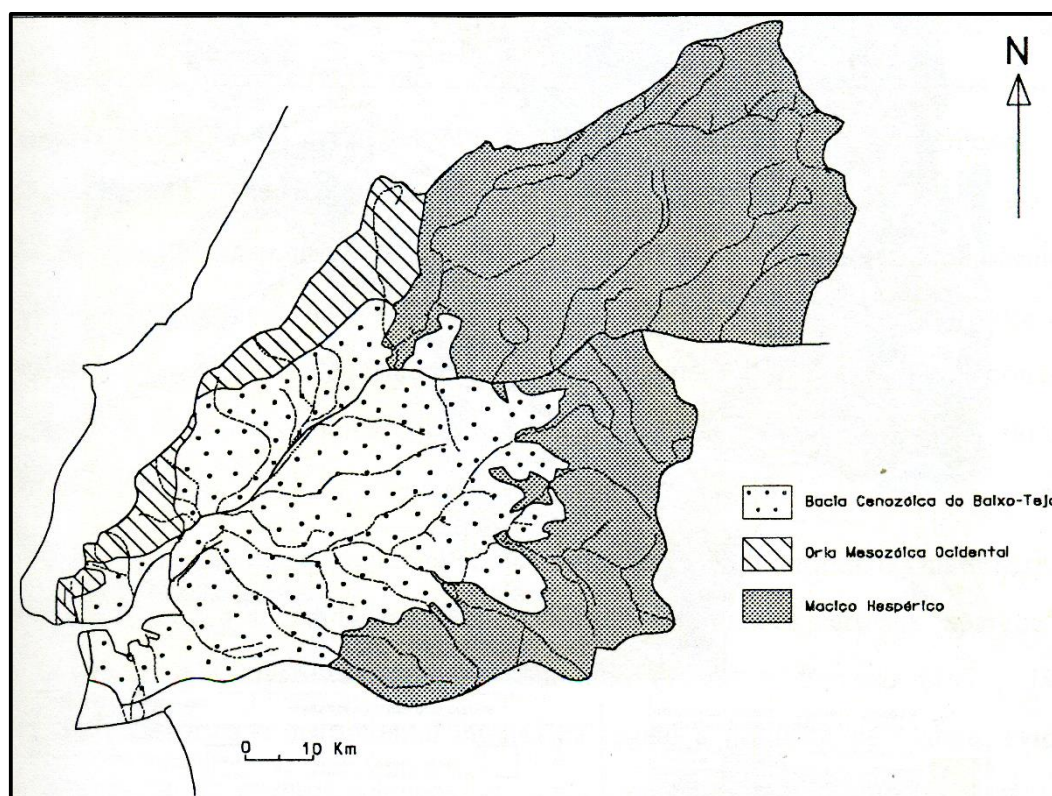


Figura 11 - Unidades geomorfológicas intersectadas pela bacia hidrográfica do Tejo (retirado de Freire, 1999 - Adaptado de Carta Geológica de Portugal, escala 1:1 000 000, Serviços Geológicos de Portugal, 1968, in: Instituto da Água, 1995).

O Maciço Hespérico (ou Maciço Antigo) é constituído por rochas que datam do Pré-Câmbrico e do Paleozóico e são de natureza eruptiva ou metamórfica. Esta unidade representa por si só dois terços da área do território português. A unidade geomorfológica do Maciço Antigo é dividida (em território português) nas zonas geotectónicas Centro-Ibérica, da Ossa-Morena e Sul-Portuguesa. Destas, a bacia hidrográfica do Tejo atravessa a zona Centro-Ibérica e a zona da Ossa-Morena (Ribeiro *et al.*, 1979).

A zona Centro-Ibérica, a norte-nordeste, é formada por um complexo xisto-grauváquico de tipo *flysch*, com alinhamentos de quartzitos que constituem o núcleo de dobras com direções NW-SE e W-E. Este complexo é intersectado por importantes intrusões granitóides. O contacto entre o complexo xisto-grauváquico e as intrusões granitóides é marcado pela presença de auréolas de metamorfismo formadas por xistos mosqueados e corneanas pelíticas (Ferreira, 1981; Ribeiro *et al.*, 1979).

A zona de Ossa-Morena em Portugal ocupa uma área bastante inferior à zona Centro-Ibérica, mergulhando na zona oeste do país sob a Bacia Terciária do Tejo-Sado. Esta zona é composta também por um complexo xisto-grauváquico (ante-ordovícico) e ainda por maciços de rochas carbonatadas. As intrusões magmáticas que ocorrem na zona de Ossa-Morena são de composição semelhante à encontrados na zona Centro-Ibérica (Ferreira, 1981).

A Orla Mesozoica Ocidental compreende a zona Oeste portuguesa entre a península de Lisboa (à qual também se pode adicionar a Serra da Arrábida na península de Setúbal) e as planícies litorais de Espinho e Aveiro. Em termos morfológicos, a Orla Mesozoica Ocidental apresenta-se como uma depressão estreita e alongada com direção NNE-SSW. No eixo da depressão os sedimentos podem apresentar uma espessura que ultrapassa os 4000m. A fonte sedimentar desses depósitos foram o Maciço Hespérico (a Este) e uma área continental que se situava a Oeste e da qual na atualidade apenas restam os Farilhões e as Berlengas como testemunhos. Esta zona caracteriza-se por alternâncias de sedimentação fina e grosseira e variações laterais de fácies bruscas, devendo-se este aspeto ao facto de a maioria da deposição nesta zona ter ocorrido em condições costeiras expostas às variações do nível do mar. De forma geral as litologias encontradas na Orla Mesozoica Ocidental incluem rochas detríticas, margosas com intercalações detríticas e rochas carbonatadas (Ribeiro *et al.*, 1979).

A Bacia Terciária do Tejo-Sado corresponde a uma zona de subsidência alongada preenchida por séries detríticas de origem continental com intercalações marinhas e salobras, correspondentes aos máximos transgressivos ocorridos no Miocénico. A espessura dos depósitos é bastante variável, atingindo uma espessura máxima de 1400m na bacia do Tejo. A bacia apresenta uma direção NE-SW e os seus depósitos cobrem, a Este, o substrato Hercínico e contactam com as formações mesozoicas da Orla Mesozoica Ocidental, a Norte e a Oeste (Ribeiro *et al.*, 1979).

3.1.3. Geologia enquadrante do Estuário

As margens do estuário do Tejo apresentam formações de idades compreendidas entre o Jurássico e o Quaternário. Embora as duas margens sejam bastante assimétricas no que respeita às litologias aflorantes, com a margem sul composta por formações mais recentes (até ao Miocénico), existem algumas unidades geológicas que se apresentam em ambas as margens. As Figura 12 e Figura 13 são um excerto da Folha Sul da Carta Geológica de Portugal, na escala 1/500.000, e da sua legenda, e mostram as litologias enquadrantes do estuário do Tejo.

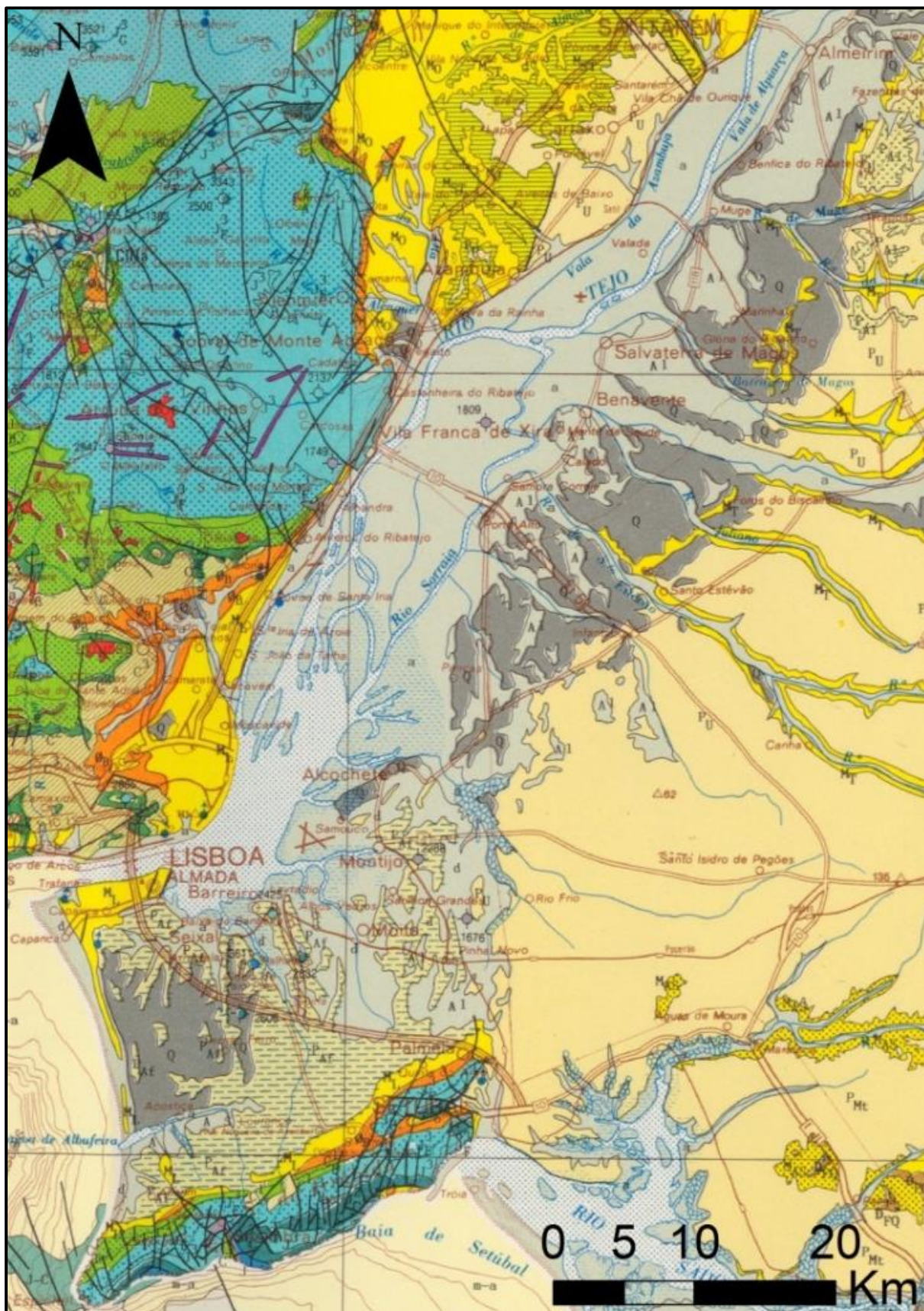


Figura 12 - Excerto da Folha Sul da Carta Geológica de Portugal, escala 1/500.000, que mostra as litologias enquadrantes do estuário do Tejo.

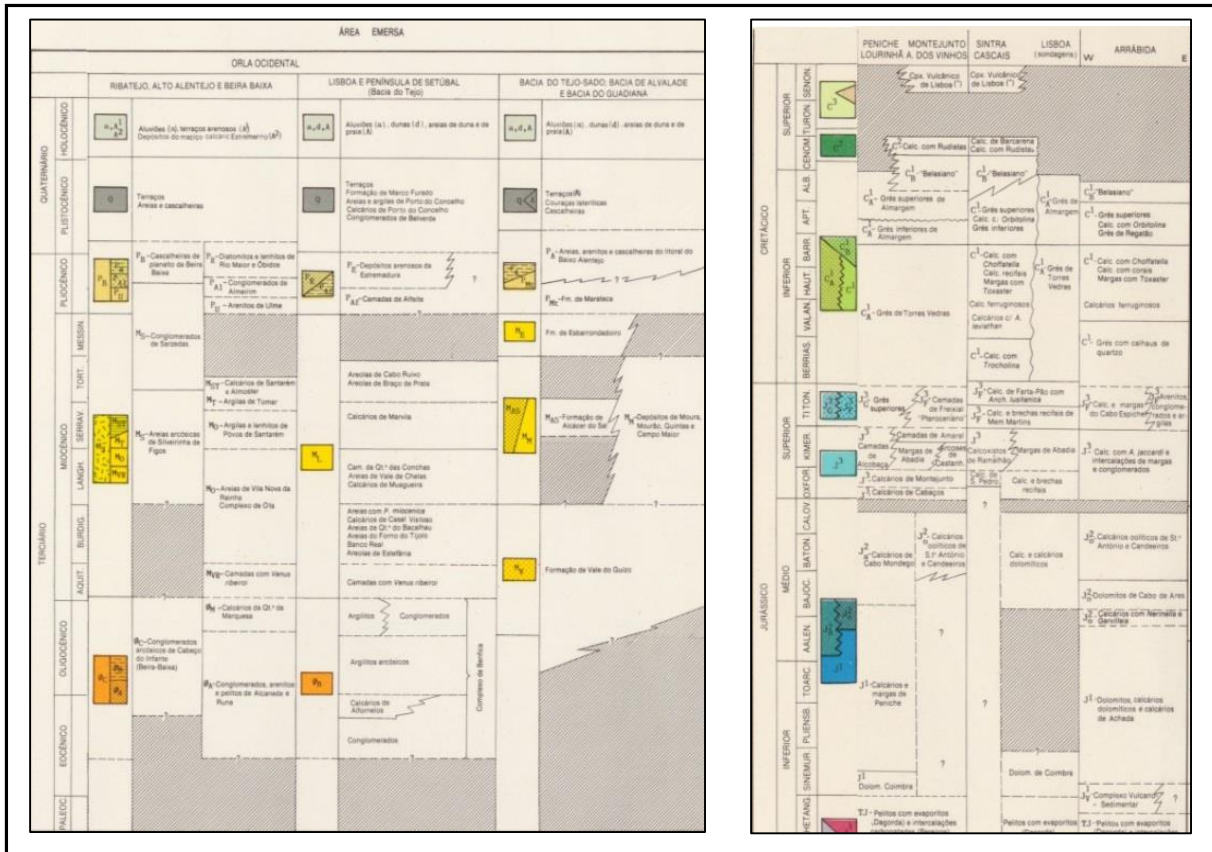


Figura 13 - Excertos da legenda da Folha Sul da Carta Geológica de Portugal, escala 1/500.000.

A margem esquerda do estuário do Tejo abrange afloramentos desde o Pliocénico, a montante, até ao Miocénico, presente em Almada. A montante do estuário, na zona de Muge, encontram-se essencialmente aluviões (a) e terraços compostos por areias e cascalheiras (A_1 e Q) do Quaternário. As aluviões presentes no estuário cobrem uma área bastante significativa, sendo a sua distribuição maior na zona montante do estuário. Os mouchões de Alhandra, da Póvoa e do Lombo do Tejo são formados exclusivamente por estas aluviões. As aluviões da margem esquerda são mais extensas que as do sector equivalente na margem direita do estuário. Na margem esquerda, a sua distribuição ocorre desde o rio Samora até Pancas, onde apresentam maior área de cobertura. As aluviões aparecem ainda a ladear as linhas de água secundárias que desaguam no estuário com extensões variáveis. Nesta zona do estuário ocorrem também alguns terraços fluviais do Pliocénico (Q). Estes terraços aparecem em ambas as margens, sendo que na margem sul se estendem desde Arneiro do Vale até Pancas e na margem norte desde Alverca até à Bobadela (Zbyszewsky, 1964).

Ao longo das linhas de água da margem sul afloram formações Pliocénicas que englobam os “Arenitos de Ulme” (P_U), as “Argilas de Tomar” (M_T) e os Conglomerados de Almeirim (P_{A1}). O Pliocénico aqui presente destaca-se como um complexo de areias, arenitos argilosos amarelados ou avermelhados e de argilas cinzentas-esverdeadas ou amareladas. Sondagens realizadas nesta margem do estuário indicam a presença deste complexo por baixo dos terraços aluviais referidos acima.

No Seixal afloram as “Camadas do Alfeite” (P_{A1}), de idade também pliocénica, em conjunto com os terraços pliocénicos referidos acima (Q). Estas são compostas por um arenito amarelado ou avermelhado com calhaus rolados, pertencentes à parte superior do Pliocénico (Zbyszewsky, 1963).

Na região de Almada e até à Costa da Caparica os afloramentos são de idade Miocénica e de fácies marinha. As formações miocénicas de fácies marinha aqui presentes são compostas essencialmente por areolas, areias, arenitos calcários, calcários gresosos, calcários fossilíferos, argilas e siltes (Zbyszewsky, 1964). Estas formações são também encontradas na margem norte do estuário, embora na margem sul os afloramentos sejam de materiais mais arenosos (Zbyszewsky, 1963).

A margem norte do estuário apresenta formações desde o Jurássico até ao Quaternário. No Cartaxo, em frente a Muge, ocorrem aluviões ao longo da margem semelhantes aos já descritos acima. Ainda no Cartaxo afloram também unidades do Miocénico, como as “Argilas e Linhitos da Póvoa de Santarém” (M_o) e os “Calcários de Santarém e Almoester” (M_{ST}). Os “Arenitos de Ulme” (P_U) estão também presentes na região (Freire, 1999). Seguindo a margem do estuário para SW surgem calcários, argilitos, margas e calcários fossilíferos do Jurássico superior (J_3 e Jf_3) cortados por algumas falhas de direção NE-SW (Freire, 1999).

A sul de Vila Franca de Xira e até Lisboa, a margem do estuário é composta por afloramentos do Cretácico (inferior – C^1_B - e superior – C^2) e do Complexo Vulcânico de Lisboa (CVL – C^3), do Oligocénico (Complexo de Benfica – $\emptyset B$), e de Miocénico de fácies marinha (M_L).

Segundo Zbyszewsky (1963), os afloramentos do Cretácico inferior são compostos por rochas carbonatadas e areias, ao passo que os afloramentos que datam do Cretácico superior são calcários e apresentam rudistas no seu conteúdo fossilífero (neolobites).

O Complexo Vulcânico de Lisboa (CVL - C^3), representado na região por escoadas lávicas e piroclásticas, cobre indiferenciadamente o Cretácico superior (Cenomaniano e Turoniano) e apresenta uma espessura máxima de 400m perto de Carnide (Zbyszewsky, 1963). O CVL é por sua vez coberto pelo Complexo de Benfica (Oligocénico - $\emptyset B$). O Complexo de Benfica aflora apenas na margem norte do estuário e a sua zona de maior desenvolvimento estende-se desde Benfica, passando por Carnide e até Odivelas. O Complexo de Benfica apresenta uma espessura de cerca de 425m e a sua sucessão apresenta, do topo para a base, margas e argilas vermelhas, conglomerados com clastos de calcário, margas avermelhadas, calcários compactos de Alfovelos e novamente margas avermelhadas. O Complexo de Benfica é coberto pelo Miocénico de fácies marinha (Zbyszewsky, 1963).

A distribuição do Tortoniano na margem direita do estuário acompanha a margem do estuário do Tejo e está sempre em contacto com as aluviões (Zbyszewsky, 1964).

Na região de Lisboa afloram de novo formações do Miocénico de fácies marinha. Estas são semelhantes às já descritas acima para a margem sul.

Nas margens do rio Trancão e do vale da Ponta da Pedra encontram-se as aluviões com maior espessura de todo o estuário, (cerca de 60m). Estas aluviões são compostas por um unidade arenosa na base e por lodos no topo (Zbyszewsky, 1963).

3.1.4. Morfologia do estuário

Em termos morfológicos, o estuário do Tejo apresenta variações bastante significativas desde Muge até à barra (Figura 14). Assim, segundo Bettencourt *et al.* (2003), o estuário pode ser segmentado em 4 sectores distintos.

O sector mais a montante, designado por sector fluvial, estende-se desde Muge até V. Franca de Xira (30 km) e caracteriza-se por apresentar um canal principal com 600m de largura (valor médio) instalado numa vasta planície aluvial. Neste troço, a água é doce ou de baixa salinidade e o leito do rio é composto essencialmente por areias. Ocorrem neste sector mouchões marginais que ladeiam o canal principal.

O sector seguinte é designado por sector superior e compreende o estuário desde V. Franca de Xira até Sacavém (20km) (Figura 14). Esta zona é a mais larga do estuário, com largura média de 14.5km. A presença dos mouchões da Póvoa, de Alhandra e do Lombo do Tejo e a junção do rio Sorraia, levam à ocorrência de vários canais, existindo uma morfologia semelhante à de um delta interno no estuário. A profundidade média deste sector é de 5m, o que aliado à grande amplitude de maré sentida no estuário, origina vastas extensões de ambientes intertidais (rasos de maré, sapais e ostreiros), principalmente na margem esquerda do estuário.

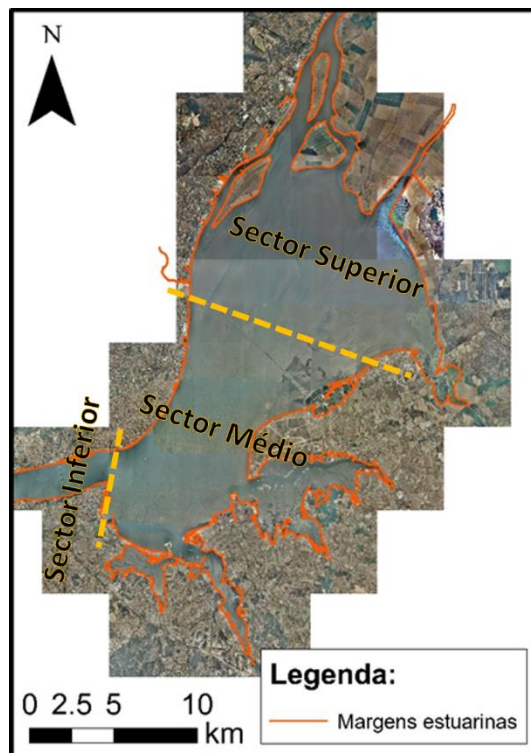


Figura 14 - Limites marginais do estuário do Tejo. A margem Norte do estuário apresenta-se com um traçado contínuo e sem grandes reentrâncias ao passo que a margem Sul se encontra bastante mais recortada (base: ortofotomapas 2007 do IGP).

O sector médio do estuário abrange a área entre Sacavém e a Praça do Comércio (15km) (Figura 14). Na margem esquerda deste troço desaguam os esteiros do Montijo e do Barreiro, criando uma bacia pouco profunda designada por Mar da Palha. Importa também referir que a margem esquerda do estuário neste sector se apresenta bastante recortada, desenvolvendo-se aí diversas restingas e baías (ex. Baía do Seixal).

O sector inferior do estuário corresponde ao canal de ligação entre este e o Atlântico – o gargalo do Tejo (Figura 14). O gargalo do Tejo é um troço retilíneo com 7.5km de comprimento e 1.9km de largura (valores médios) que se desenvolve entre a Praça do Comércio e o Bugio. O gargalo é a zona mais profunda do estuário, chegando a atingir valores de batimetria na ordem do 40m. A zona do gargalo apresenta já características predominantemente marinhas (Bettencourt *et al.*, 2003).

3.1.5. Hidrologia

A água doce presente no estuário do Tejo provém principalmente do rio Tejo e do rio Sorraia e ainda da descarga de vários cursos de água menores (ex. rio Trancão, rio Judeu, ribeira de Coína)

Em regime natural, o caudal do Tejo foi calculado em módulos de 518 m³/s e 591 m³/s por Cunha e Raposo (1970, *in* Bettencourt, 2003) e Coba (1994, *in* Bettencourt *et al.*, 2003), respetivamente. O valor de caudal do Tejo é atualmente bastante inferior devido às intervenções que este já sofreu, como a construção de albufeiras e barragens. Assim, para o regime modificado do Tejo, Bettencourt *et al.* (2003) indica um caudal médio de 439.8m³/s.

3.1.6. Hidrodinâmica

O estuário do Tejo é considerado um ambiente ultradissipativo (Andrade *et al.*, 2003) onde a dinâmica é controlada essencialmente pelas marés oceânicas que se propagam através da barra. As ondas oceânicas presentes na linha de costa adjacente à barra, e que refletem um maior hidrodinamismo na área exposta ao oceano, são impedidas de penetrar no estuário devido ao estrangulamento provocado pelo gargalo do Tejo no sector inferior do estuário. O estuário é um sistema mesotidal com marés semidiurnas e cuja amplitude varia entre 3.2 m em períodos de marés vivas e 1.0m durante marés mortas na boca do estuário (Taborda *et al.*, 2009). A maré apresenta um atraso significativo na sua propagação pelo estuário entre a zona da barra e a zona montante. Em marés mortas este atraso é maior e pode chegar a uma diferença de cerca de 2 horas para locais acima do alinhamento de Alcochete. A amplitude de maré aumenta também para montante, atingindo uma amplitude máxima na zona da Póvoa de Santa Iria (Bettencourt *et al.*, 2003).

O ciclo de maré no estuário é assimétrico, com enchentes a durarem mais tempo que as vazantes. Deste modo, as velocidades de corrente no gargalo do Tejo durante os períodos de vazante são mais elevadas que nos períodos de enchente. Isto deve-se principalmente à contribuição da água doce injetada no estuário pelo rio Tejo. Durante uma maré média, o prisma de maré do estuário é de 650x10⁶ m³, e embora a afluência de água doce perfaça apenas 1% do prisma de maré total (para caudais de 300 m³/s) não é negligenciável, resultando daí maiores velocidades de corrente durante os períodos de vazante.

No sector médio e inferior do estuário, os caudais de maré são bastante superiores (até duas ordens de grandeza) aos caudais do Tejo, sendo medidos nesses sectores caudais de 40 000 e 50 000 m³/s em enchente e em vazante, respetivamente.

3.1.7. Sedimentos e dinâmica sedimentar

O estuário do Tejo apresenta uma mistura sedimentar resultante de acarreio fluvial e de elementos de origem marinha, exibindo diferentes tipos de ambientes intertidais (Figura 15).

Os sedimentos de origem fluvial resultam de processos de erosão provocados pelo Tejo e seus efluentes. Os materiais resultantes desse processo são areias finas e médias e pequenas quantidades de vasa. Na zona montante do estuário (sector superior) ocorre deposição de grandes quantidades de sedimento devido ao aumento da secção do canal do Tejo, que provoca perda de capacidade de transporte, e também ao aumento da salinidade, que promove a floculação dos sedimentos finos. A deposição dos sedimentos finos leva à formação de extensas áreas intertidais neste sector (Bettencourt *et al.*, 2003).

As zonas intertidais do estuário são constituídas por vasa, excetuando algumas zonas da margem sul onde são encontradas praias e restingas arenosas. A génese destas praias e a razão da remobilização de areias para essas zonas está relacionada com os ventos dominantes e o maior comprimento de *fetch* que o estuário apresenta em frente a essas áreas (Taborda *et al.*, 2009). A proximidade a fontes sedimentares capazes de produzir materiais do calibre das areias através do seu desmonte, é também um fator preponderante na alimentação e génese destas praias.

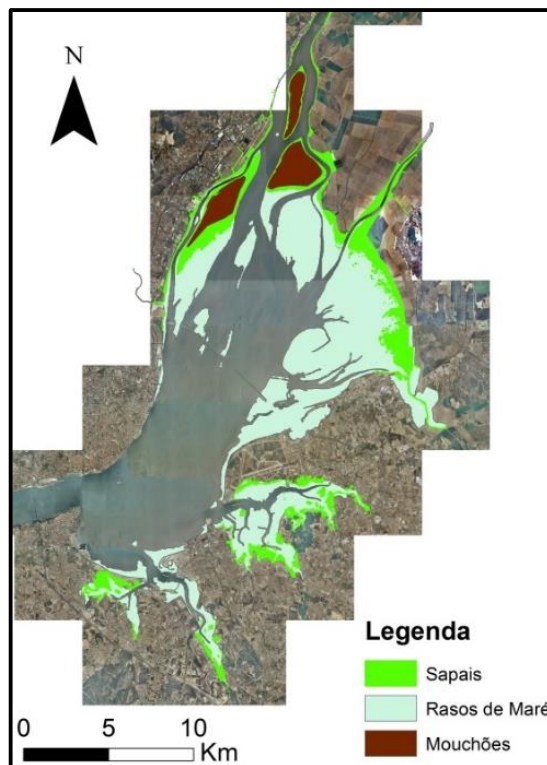


Figura 15 - Delimitação das zonas intertidais (sapais e rasos de maré) e supratidais (Mouchões) do estuário do Tejo (base: ortofotomapas 2007 do IGP).

A jusante do Trancão, na margem norte, são também encontradas pequenas praias arenosas, mas a sua extensão é quase insignificante comparada com a extensão que apresentam na margem sul. Perto do canal de embocadura do Tejo, no sector inferior do estuário, são de novo encontrados sedimentos arenosos. Estes resultam da injeção de matéria de origem oceânica provocada pela agitação incidente na zona da barra (Bettencourt *et al.*, 2003).

As águas do estuário do Tejo apresentam uma concentração de sólidos em suspensão bastante variável, sendo que a maré desempenha um papel preponderante na turbidez das águas. A amplitude de maré é um fator determinante na concentração de sólidos em suspensão no estuário (Bettencourt *et al.*, 2003). Assim, durante as marés mortas o estuário apresenta uma concentração de sedimentos em suspensão uniforme mas em períodos de marés vivas a maior concentração de sólidos em suspensão ocorre na zona sul do estuário. Existe também uma variação longitudinal da turbidez ao longo do estuário condicionada pelo coeficiente de maré, com a concentração de sedimentos mais elevadas em baixa-mar e aumentando ao longo do estuário com o aumento da amplitude da maré (Bettencourt *et al.*, 2003). A concentração de sedimentos é proporcional à amplitude de maré e é maior em períodos de baixa-mar. Quando a amplitude da maré ultrapassa a de uma maré média (cerca de 2.60 m), a zona do estuário com maior turbidez localiza-se no sector superior (Vale e Sundby, 1982, *in* Bettencourt *et al.*, 2003; Castanheiro, 1986, *in* Bettencourt *et al.*, 2003). Essa zona corresponde à área de confluência do Sorraia. A maior concentração de material nessa área parece dever-se, segundo Portela (1996, *in* Bettencourt *et al.*, 2003), à proximidade às vastas áreas intertidais do estuário. Assim, nessa zona, o estuário apresenta uma turbidez superior relativamente a zonas de margem norte que se encontram à mesma distância da barra do estuário.

O assoreamento do estuário foi inicialmente identificado por Andrade em 1940 (*in* Bettencourt *et al.*, 2003). Ainda assim Celestino da Costa (1957, *in* Bettencourt *et al.*, 2003) e Bettencourt *et al.* (1980, *in* Bettencourt *et al.*, 2003) acreditavam numa situação próxima da estabilidade para os fundos estuarinos, ocorrendo no entanto na barra taxas de sedimentação mais consideráveis resultantes das trocas sedimentares (principalmente areias) com o oceano. Esta ideia era suportada pelas comparações realizadas entre os Planos Hidrográficos de 1878, 1934 e 1974. Deste modo, era geralmente aceite que as margens do estuário não apresentavam alterações significativas, existindo até a convicção de que os ambientes intertidais nas margens do estuário não tivessem sofrido alterações profundas desde 1945. Estudos mais recentes afirmam que no sector superior do estuário existem morfologias reveladoras de um assoreamento intenso. Castanheiro (1983, *in* Bettencourt *et al.*, 2003) determinou uma taxa média de sedimentação de 1.1 cm/ano para o estuário em geral, e Martin *et al.* (1982, *in* Bettencourt *et al.*, 2003) estimou, através da análise de ^{210}Pb em perfis sedimentares, uma taxa de 1.5 cm/ano. Freire (1993, *in* Bettencourt *et al.*, 2003) chegou a um valor médio de acreção de 1 cm/ano para a Cala do Norte, através da comparação do balanço erosivo e assoreamento ocorrido entre 1928 e 1986. Castanheiro (1983, 1985, *in* Bettencourt *et al.*, 2003), indica ainda que, embora o assoreamento fosse generalizado, as zonas intertidais vasosas (raso de maré e sapais) apresentavam uma evolução muito acentuada, com expansão das áreas existentes à data e formação de novas manchas deste tipo de ambientes. Salgueiro e Caçador (2007) apresentam taxas de sedimentação para os sapais de Corroios, S. João da Talha, Vasa Sacos e Rosário que corroboram isso mesmo. As taxas descritas por estes autores (que variam entre 4.8 e 40.5 mm/ano) apontam para o crescimento dos sapais do estuário do Tejo. Os sapais na zona montante do estuário, S. João da Talha e Vasa Sacos, com taxas de sedimentação de 18.4 e 40.5 mm/ano, respetivamente, parecem mostrar um crescimento mais acentuado destes ambientes nessa zona do estuário.

3.2. Sapais estudados

3.2.1. Sapal de Corroios

O sapal de Corroios está instalado dentro da Baía do Seixal, concelho do Seixal, distrito de Setúbal. A Baía do Seixal localiza-se na margem esquerda do Tejo e está isolada deste pela restinga do Alfeite. A ligação entre a baía e o estuário ocorre por um canal com apenas cerca de 170m de largura, localizado na zona NE da baía e que corresponde à desembocadura do canal do rio Coina (Figura 16 e Figura 17).

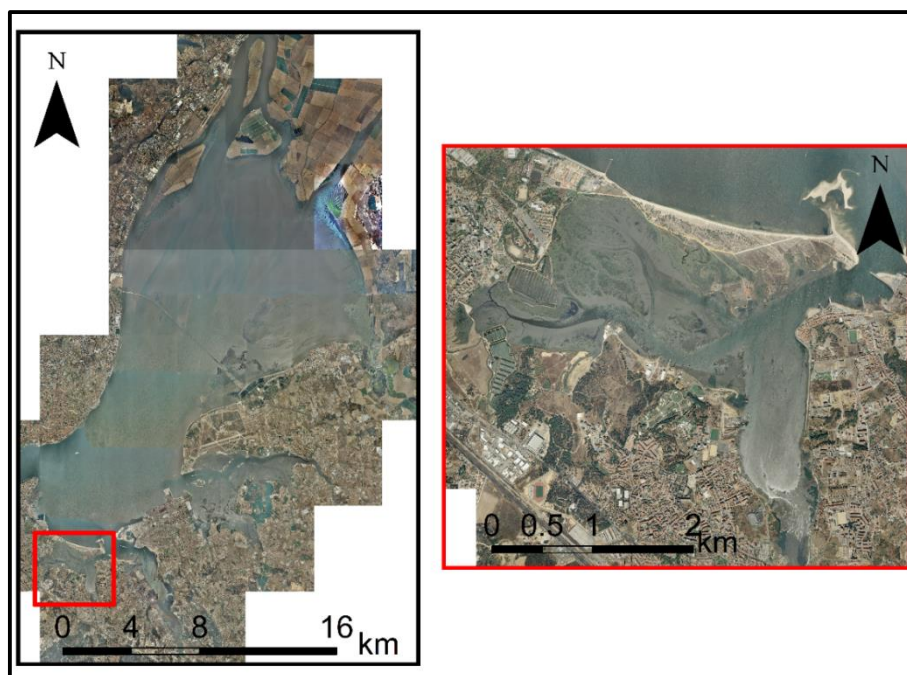


Figura 16 - Localização da Baía do Seixal (base: ortofotomapas 2007 do IGP).

A restinga do Alfeite (Figura 17) é uma restinga arenosa cuja cota máxima não ultrapassa os 4m (NMM) e com cerca de 2.4km de comprimento. A restinga desenvolve-se segundo a direção WNW-ESE e está enraizada a NW, em afloramentos Plistocénicos (formação de Santa Marta). Durante os invernos mais rigorosos, com tempestades mais severas, a restinga é galgada perto da raiz, isolando a Ponta dos Corvos (toponímia da área NE da restinga).



Figura 17 - Pormenor da Baía do Seixal com foco sobre a restinga do Alfeite (base: ortofotomapas 2007 do IGP).

A face Norte da restinga corresponde a uma praia arenosa ativa, resultante da ação de ondas de geração local. A praia do Alfeite é limitada na base por um raso de maré vasoso com cerca de 300m de extensão.

A instalação da restinga do Alfeite concedeu abrigo à Baía do Seixal e levou à diminuição da energia hidrodinâmica que aí atuava. Isto promoveu o desenvolvimento de ambientes intertidais de baixa energia dentro da baía.

A maior parte dos 482ha da Baía do Seixal é composta por rasos de maré cortados por canais subtidaís profundos resultantes da ação de linhas de água locais que desaguam na baía (as mais importantes das quais são o rio Judeu, a Vala de Santa Marta e a Vala da Charneca) (Figura 18). Os sapais ocupam 143ha da área da bacia e estão concentrados na zona Oeste e Noroeste desta. As praias e os bancos de Ostras são outros elementos morfológicos encontrados dentro da baía mas com muito menor expressão (Freire, 1999).

Os sedimentos presentes no interior da Baía do Seixal são essencialmente vasosos, mas nos canais principais encontram-se areias quartzíticas angulosas a pouco roladas (Freire, 1999). Essas areias podem também ser encontradas em alguns rasos de maré localizados nas proximidades de praias ou de bancos de Ostras. Para além do Tejo, também as linhas de água que desaguam diretamente na Baía do Seixal são responsáveis pelo sedimento aí presente. Em conjunto, as três bacias hidrográficas destas linhas de água abrangem uma área com 72km² (rio Judeu – 26km²; Vala de Santa Marta – 21km²; Vala da Charneca 25km²) e drenam litologias com idades desde Miocénico até à atualidade (Figura 18) (Zbyszewsky, 1963, 1964).

Na zona Noroeste da bacia hidrográfica da Vala da Charneca é intersetada a unidade das Areolas de Cabo Ruivo e Areolas de Braço de Prata indiferenciadas. Estas unidades são compostas por alternâncias de arenitos finos, areias finas e bancadas finas de calcários margosos e arenosos muito fossilíferos, com cerca de 20m de espessura. Acima desta unidade encontra-se a formação de Santa Marta (Pais *et al.*, 2006).

A formação de Santa Marta (pliocénica) está cartografada em torno dos leitos das linhas de água que compõem as sub-bacias. Esta pode atingir os 320m de espessura mas no litoral não excede os 50m. A formação de Santa Marta é uma unidade arenosa que na sua base apresenta camadas conglomeráticas pouco espessas e descontínuas. Acima destes níveis encontram-se areias finas a grosseiras, geralmente arcósicas e que apresentam estratificação entrecruzada e/ou estruturas convolutas, fluviais. As areias desta unidade podem apresentar cores bastante variáveis, desde branco, vermelho ou até amarela. Nos fundos de canal encontram-se calhaus muito rolados, alguns com origem em rochas ígneas. Por vezes são encontrados blocos de arenitos (cretácicos) e nódulos de sílex no seio desta unidade (Manuppella *et al.*, 1999; Pais *et al.*, 2006). A sua fração argilosa é composta principalmente por caulinite e ilite, mas nos níveis fossilíferos e nos níveis mais argilosos é a montmorolite que predomina.

Sobrepostos à Formação de Santa Marta encontram-se os Conglomerados de Belverde (plio-pliocénicos). Estes conglomerados, com matriz arenosa, são compostos por clastos subrolados, com cerca de 15cm e esbranquiçados. As faces destes clastos apresentam-se por vezes polidas pelo vento e são na sua maioria de natureza quartzítica, sendo também comuns os clastos de quartzo. Clastos de sílex, rochas ígneas, arenitos ou de xistos (do Ramalhão) podem também ser encontrados, embora com menor expressão. A unidade dos Conglomerados de Belverde corresponde ao último episódio deposicional de um pré-Tejo antes da instalação do canal de escoamento atual (Manuppella *et al.*, 1999; Pais *et al.*, 2006).

A formação de Porto do Concelho, que contacta na base com os Conglomerados de Belverde, é composta por argilas e areias que podem corresponder a depósitos lagunares formados pelo abandono progressivo do antigo leito do pré-Tejo (Manuppella *et al.*, 1999; Pais *et al.*, 2006).

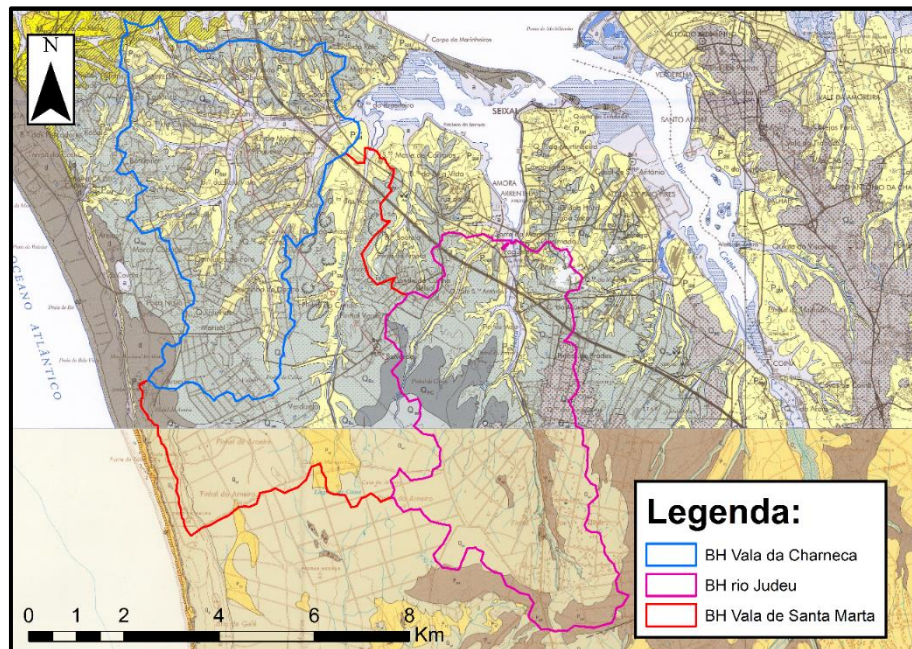


Figura 18 - Bacias hidrográficas das principais linhas de água que desaguam na Baía do Seixal (base cartográfica: carta geológica 34-D e 38-B, à escala 1:50.000).

Acima destas unidades encontram-se os conglomerados de Marco Furado. Esta é uma unidade conglomerática com matriz areno-argilosa. Os clastos destes conglomerados são angulosos e predominantemente compostos por quartzo, embora existam também clastos de quartzito, sílex, jaspe e xistos. São encontradas também nesta unidade concreções ferruginosas, principalmente no topo.

Na fração argilosa, a ilite e /ou a mica e caulinite são os minerais mais abundantes (Manuppella *et al.*, 1999; Pais *et al.*, 2006).

As areias de duna (Holocénico), cartografadas na zona SW da bacia do rio Judeu, cobrem os depósitos descritos anteriormente. Devido a trabalhos agrícolas, por vezes ocorrem misturadas com as outras unidades (Manuppella *et al.*, 1999). Estão também cartografados aluviões ao longo das margens das linhas de água que compõem a bacia hidrográfica do rio Judeu, ocupando vales largos e pouco profundos. Estas aluviões têm maior expressão em Corroios, Coina, Moita, Montijo e Alcochete (Manuppella *et al.*, 1999).

A mancha de sapal estudada localiza-se na zona Oeste da baía do Seixal, a Sul da zona de enraizamento da restinga do Alfeite. O sapal estudado tem cerca de 1km (NW-SE) por 700m (NE-SW), no eixo maior e eixo menor, e está instalado na margem Oeste da baía. A Sul e Norte da mancha encontram-se dois canais de grande dimensão (Figura 19).



Figura 19 - Vista geral sobre a mancha do sapal de Corroios estudada (base: ortofotomapas 2007 do IGP).

O sapal de Corroios apresenta uma superfície bastante recortada por canais de maré, alguns dos quais chegam a cortar a ligação da mancha de sapal com a margem (Figura 19). A superfície do sapal está densamente ocupada por plantas halófitas de alto sapal; sendo que plantas halófitas de baixo sapal apenas se encontram em torno das “*salt-pans*” (Figura 20).



Figura 20 - À esquerda: superfície do sapal de Corroios densamente ocupado por plantas halófitas. À direita: Vista sobre a margem Sul do sapal amostrado, sendo possível verificar uma escarpa com cerca de 0.5m entre o sapal e o raso de maré adjacente.

No lado Sul do sapal de Corroios, a transição entre o sapal e o raso de maré dá-se através de uma escarpa com cerca de 1m de altura. No lado norte, a transição entre os dois ambientes está também marcada por uma escarpa, mas mais pequena que a do lado Sul, com apenas 50cm (Figura 20). O raso de maré adjacente ao sapal de Corroios encontra-se em torno de toda a mancha mas tem maior extensão no lado Norte, local onde a distância entre a mancha de sapal e um dos canais da baía é maior (Figura 19). Os aspetos geomorfológicos do sapal de Corroios (e.g. dominância das áreas de alto sapal, canais de maré bastante encaixados, “*salt-pans*”) indicam que este se trata de um sapal maduro.

3.2.2. Sapal de Pancas

O sapal de Pancas situa-se na margem esquerda do estuário do Tejo, concelho de Benavente, distrito de Santarém. O sapal está instalado num segmento de margem arqueado com 11.8km, limitado a Norte pela foz do rio Sorraia e a Sul pela Vala da Amieira (a NE de Alcochete), e com uma direção geral de NNW-SSE (Figura 21).

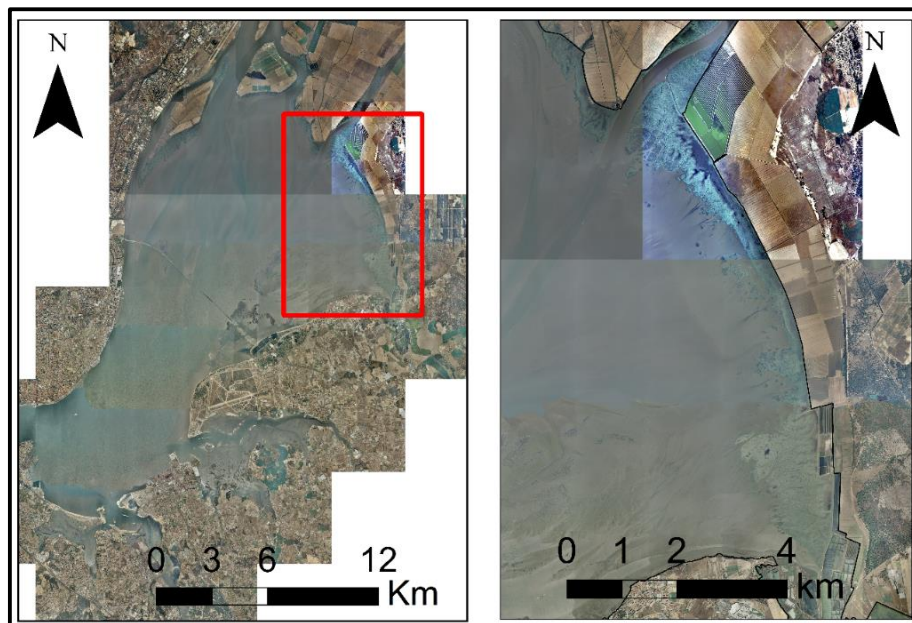


Figura 21 - Localização do sapal de Pancas (base: ortofotomapas 2007 do IGP).

Devido à sua importância ecológica, o sapal de Pancas integra a zona de proteção especial da Reserva Natural do Estuário do Tejo (RNET).

O rio Sorraia, com 155km de comprimento e uma bacia hidrográfica com 7556km², é o tributário mais importante do estuário do Tejo. A bacia hidrográfica do Sorraia engloba áreas pertencentes às unidades tectono-estratigráficas da Orla Ocidental, Zona da Ossa Morena e Zona Centro Ibérica. A zona oriental da bacia apresenta as formações mais antigas, desde o Proterozóico, onde intersecta a Zona da Ossa Morena e a Zona Centro Ibérica. As litologias dessa zona da bacia são, principalmente, de origem ígnea e metamórfica, destacando-se as formações de Mares (xistos, grauvaques, chertes negros e vulcanitos ácidos), dos Mosteiros (xistos, grauvaques, chertes negros, anfíbolitos e calcários), de Urra (xistos, grauvaques e profiróides), da Ossa (xistos, grauvaques e vulcanitos básicos), de Cabrela (xistos, calcários e tufos ácidos) e ainda o Complexo Vulcano-Sedimentar de Moura (filitos, psamitos e vulcanitos ácidos e básicos) (Figura 22). A zona ocidental da bacia do Sorraia intersecta a unidade tectono-estratigráfica da Orla Ocidental. Nela afloram litologias de origem sedimentar mais recentes (do Miocénico até à atualidade), destacando-se a formação de Vale do Guizo, as Argilas de Tomar e os Arenitos de Ulme (Figura 22).

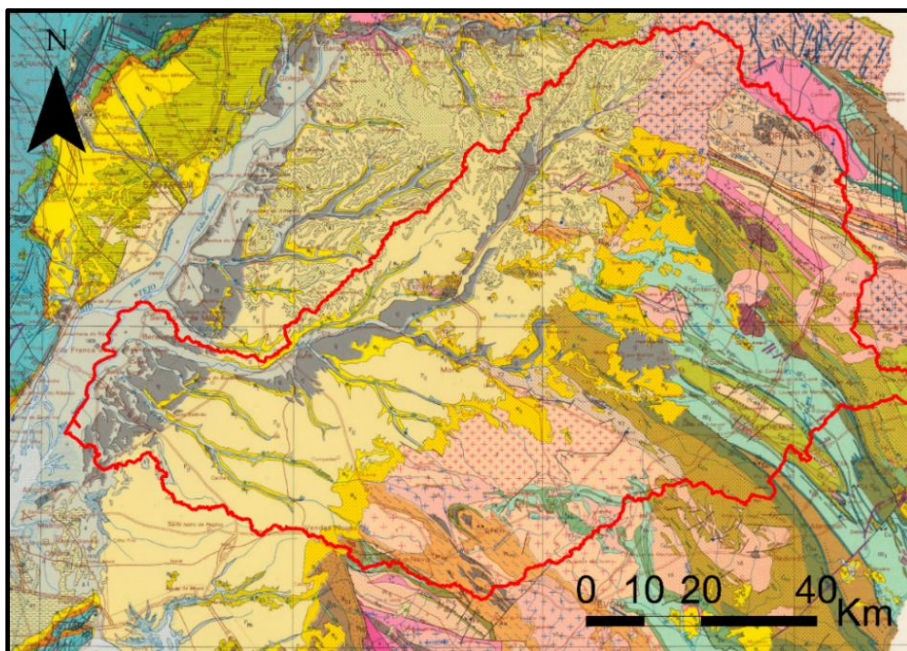


Figura 22 - Delimitação da bacia do rio Sorraia sobre a folha Sul da Carta Geológica de Portugal, à escala 1:500.000.

Na margem do estuário onde está instalado o sapal de Pancas encontram-se cartografados aluviões e depósitos arenosos (de aspeto dunar) em contacto com afloramentos Plistocénicos correspondentes a antigos terraços fluviais. Os terraços plistocénicos foram descritos por Breuil e Zbyzewski (1945, *in*: Zbyzewski, 1964) no Carrapeteiro como sendo constituídos (do topo para a base) por areias e calhaus rolados e areias e arenitos argilosos, rosados e avermelhados com intercalações argilosas (Figura 23).

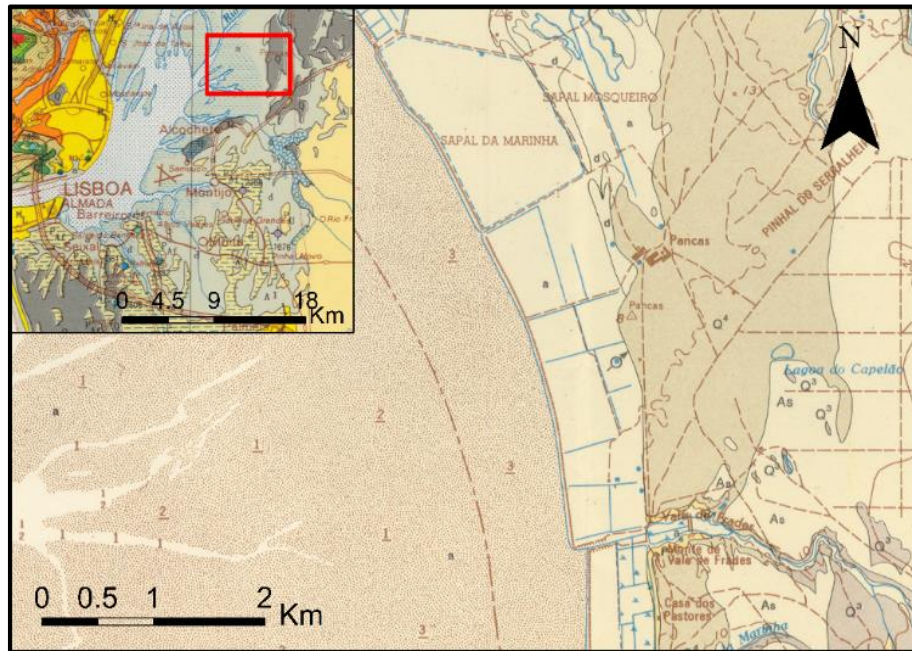


Figura 23 - Pormenor da área do sapal de Pancas representada na Carta Geológica de Portugal 34-B à escala 1:50.000.

O sapal de Pancas apresenta-se como uma mancha contínua ao longo da margem, com uma largura média de 400m, que pode chegar aos 1000m nas extremidades Norte e Sul da mancha. Foi mais extenso no passado, mas a construção de um dique de lama, que impede a progressão da maré, isolou parte da sua área para que fosse reclamada como terreno agrícola.

O sapal de Pancas encontra-se densamente colonizado por plantas halófitas de alto sapal. Existem numerosas ilhas de sapal adjacentes à mancha de sapal principal. As orlas dessas manchas, bem como a orla dos canais que atravessam a superfície do sapal, encontram-se colonizadas por pequenas franjas de plantas halófitas de baixo sapal (Figura 24).

Em frente ao sapal de Pancas existe um vasto raso de maré vasoso. A transição entre o sapal e o raso de maré acontece de forma gradual, sem quebras no pendor da superfície topográfica (Figura 24).



Figura 24 - Aspeto geral do sapal e raso de maré de Pancas.

3.2.3. Sapal do Trancão e do M. da Póvoa

3.2.3.1. Sapal do Trancão

O sapal do Trancão situa-se na margem esquerda do rio Trancão, na confluência deste na margem direita do estuário do Tejo, no concelho de Loures, distrito de Lisboa (Figura 25).

O rio Trancão é o tributário mais importante da margem direita do estuário do Tejo. O rio Trancão tem 25km de extensão, nasce na Póvoa da Galega (concelho de Mafra) e desagua para o estuário em Sacavém (concelho de Loures). O Trancão apresenta bacia hidrográfica com 288km² que ocupa a maior parte do concelho de Loures e partes dos concelhos de Monte Agraço, Arruda dos Vinhos, Sintra, Mafra, Lisboa, Amadora e Vila Franca de Xira (Figura 26).

A sua bacia drena áreas onde afloram terrenos que datam do Jurássico superior ao Holocénico, incluindo o Complexo Vulcânico de Lisboa (CVL) e o Complexo de Benfica (Figura 26).

A zona norte da bacia hidrográfica do Trancão é dominada por formações do Mesozoico (jurássicas e cretácicas) compostas principalmente por calcários, margas, arenitos e argilas (Zbyszewsky, 1964). Em torno da bacia de Loures aflora o CVL e o Complexo de Benfica. O CVL é constituído por uma sucessão de derrames lávicos, intercalados por materiais piroclásticos e algumas camadas sedimentares e pode contactar na base com o Turoniano ou o Cenomaniano (Zbyszewsky, 1964). A espessura dos depósitos deste complexo são bastante variáveis, podendo atingir mais de 400m perto de Caneças e Odivelas. O Complexo de Benfica ocupa o fundo de um sinclinal entre Loures, Pinheiro de Loures e A-dos-Cães e o conjunto das suas camadas chega a atingir 336m de espessura sendo constituídas por argilas, margas e arenitos avermelhados com calhaus rolados, conglomerados e margas com blocos de calcário, margas avermelhadas, calcários e conglomerados de Alfornelos e por margas avermelhadas e conglomerados que podem passar lateralmente a camadas de calcário (Zbyszewsky, 1964).

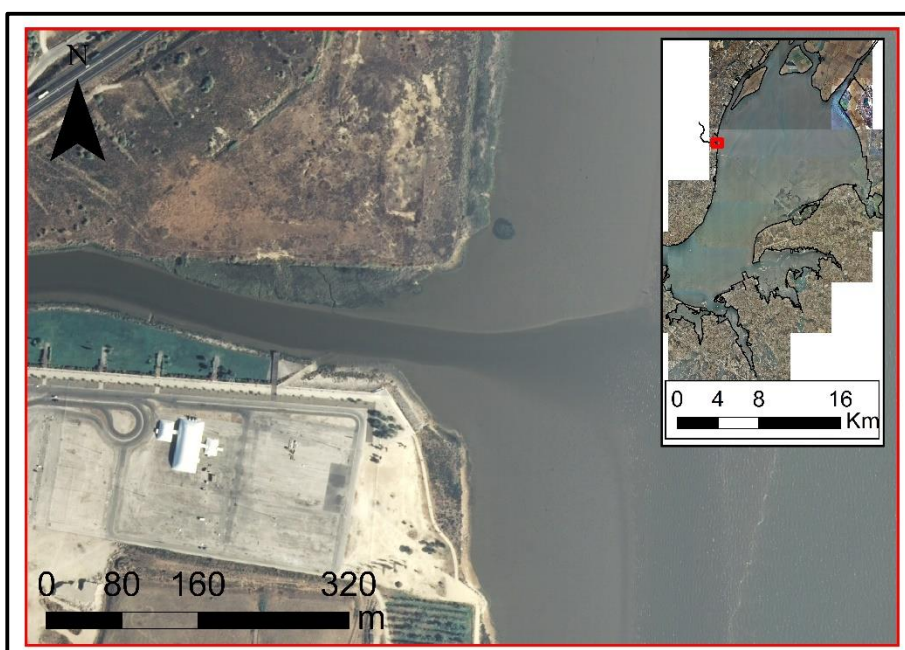


Figura 25 - Localização do sapal do Trancão (base: ortofotomapas 2007 do IGP).

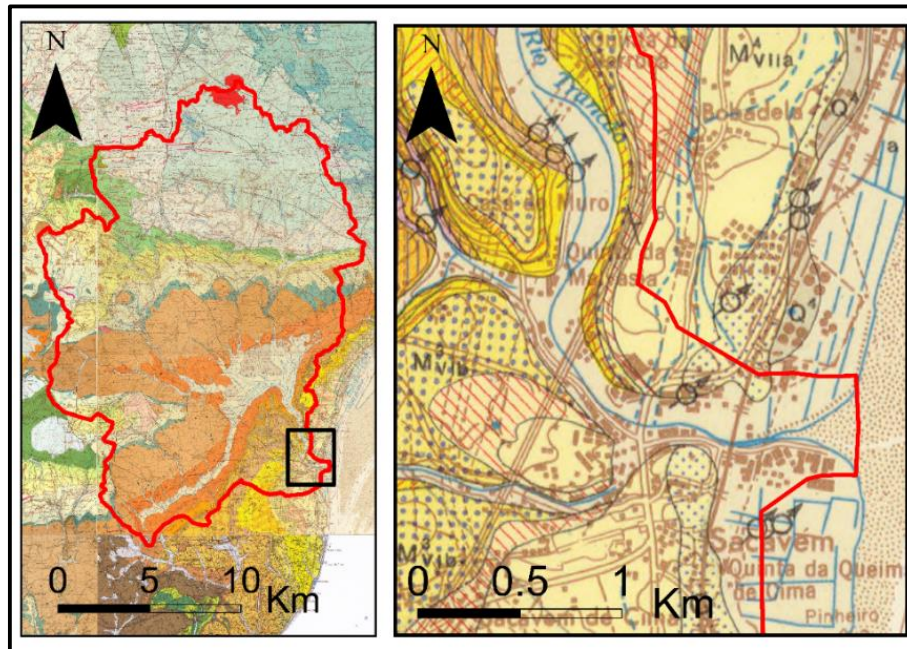


Figura 26 - À esquerda: Bacia hidrográfica do rio Trancão (a vermelho) sobreposta às Cartas Geológicas de Portugal 30C, 30D, 34A, 34B, 34C e 34D (à escala 1:50.000); À direita: Pormenor da imagem à esquerda onde se pode observar melhor a geologia enquadrante da foz do Trancão.

Ao longo da margem direita do estuário do Tejo, entre Sacavém e a Póvoa de Santa Iria, afloram formações do Miocénico. O Miocénico está instalado numa estrutura monoclinial com inclinação para SW. Das formações que compõem o Miocénico, as de maior expressão são as Areias do Vale de Chelas, os Calcários da Quinta das Conchas, os Arenitos de Grilos, os Calcários de Marvila e as Areolas de Braço de Prata. Perto da foz do Trancão e da Ribeira de Caniços (a norte da Póvoa de Santa Iria) aflora a formação das Areolas de Cabo Ruivo, em afloramentos contínuos ao longo da margem, encontrando-se em contacto lateral com antigos terraços fluviais de areias e cascalheiras (Zbyszewsky, 1964) (Figura 26).

Entre o Miocénico e a margem do estuário está cartografada uma faixa de aluviões. Essas aluviões bordejam o rio Trancão para montante onde ocupam as zonas mais baixas da bacia de Loures.

A mancha de sapal da margem direita do Trancão é bastante incipiente, resultado das obras de requalificação da área executadas para a Expo 98. A mancha da margem esquerda é mais extensa (com uma largura máxima de aproximadamente 44m) (Figura 27) e encontra-se colonizada principalmente por plantas halófitas de alto sapal, existindo também pequenas manchas de vegetação de baixo sapal na zona mais próxima da foz. A transição entre o sapal e o raso de maré está marcada por uma pequena escarpa com 20cm. O raso de maré adjacente ao sapal do Trancão é bastante estreito e a sua passagem para o canal do Trancão ocorre com um pendor mais elevado do que o da superfície do sapal.



Figura 27 - À esquerda: aspeto do sapal instalado na margem direita do Trancão; À direita: visão do sapal da margem esquerda do Trancão, bastante mais desenvolvido que o da margem direita.

3.2.3.2. Sapal do Mouchão da Póvoa

O Mouchão da Póvoa é um dos 3 principais mouchões do estuário do Tejo (em conjunto com o Mouchão do Lombo do Tejo e o Mouchão de Alhandra) e com 1200ha (810 dos quais intertidais), é o maior destes. O Mouchão da Póvoa desenvolve-se próximo da margem direita do estuário, segundo a direção NE-SW, encontrando-se a sua extremidade NE em frente do Aeródromo de Alverca e a sua extremidade SW em frente a Sacavém (Figura 28).

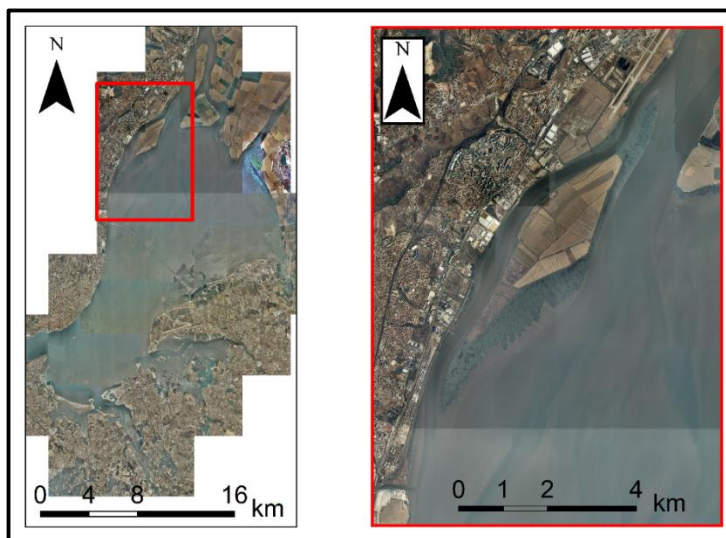


Figura 28 - Localização do sapal do Mouchão da Póvoa (base: ortofotomapas 2007 do IGP).

O canal que o separa da margem do estuário designa-se por Canal da Póvoa. A Ribeira dos Caniços, a Norte da Póvoa de Santa Iria, é a linha de água de maior expressão, para além do Tejo, que alimenta o Canal da Póvoa. A bacia hidrográfica da Ribeira dos Caniços drena áreas com as mesmas formações descritas para a bacia do Trancão (Figura 29).

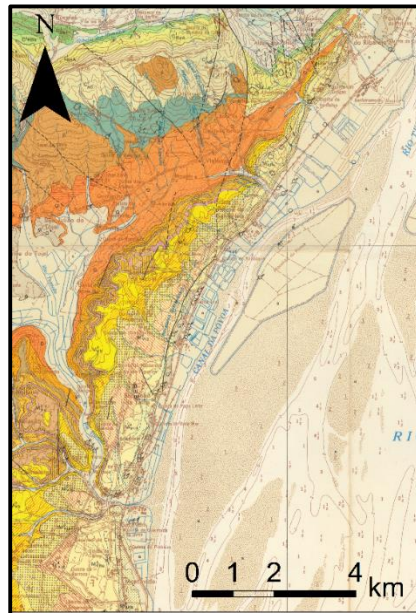


Figura 29 † Litologia enquadrante da margem próxima do Mouchão da Póvoa (base cartográfica: Carta Geológica 34-B à escala 1:50.000).

O Mouchão da Póvoa é utilizado como campo agrícola e por isso o centro do mouchão está protegido da progressão das marés através da construção de diques. A área marginal do mouchão é dominada por sapais, que apresentam maior extensão na zona SE. O sapal do Mouchão da Póvoa encontra-se rasgado por canais de grande dimensão, alguns chegando mesmo até aos diques que delimitam o sapal, e que mesmo em baixa-mar, continuam com água salobra no seu leito. É possível encontrar aglomerados de conchas e de fragmentos de conchas no leito dos canais maiores (Figura 30).

O sapal do Mouchão da Póvoa está densamente colonizado por plantas halófitas de alto sapal e por juncos. Existem apenas algumas pequenas ilhas de baixo sapal, vegetadas por plantas de baixo sapal, que cortam a superfície topográfica do raso de maré adjacente.

O contacto entre o sapal do Mouchão da Póvoa e o raso de maré adjacente é marcado por uma escarpa com aproximadamente 50cm de altura (Figura 30). O raso de maré em torno do Mouchão da Póvoa não é muito largo (provavelmente porque está encostado a um dos canais principais do estuário do Tejo) mas apresenta uma grande extensão, cerca de 2km, desde a extremidade Sul do sapal do Mouchão da Póvoa, até à foz do Trancão.



Figura 30 † À esquerda pode ser observado o raso de maré adjacente ao sapal do Mouchão da Póvoa a Oeste. À direita pode ser observado um dos canais do Mouchão da Póvoa com depósitos de fragmentos de conchas no seu leito. Em ambas as imagens é também possível observar a escarpa que separa o sapal do raso de maré lodoso.

4. MÉTODOS

A caracterização da dinâmica dos sapais do estuário do Tejo requereu a recolha de amostras (trabalhos de campo) e a sua conseqüente análise (trabalhos de laboratório). Os trabalhos de campo consistiram na realização de sondagens manuais e levantamentos topográficos nos sapais selecionados. O tratamento das sondagens foi prosseguido no laboratório, onde foram efetuados ensaios para a caracterização sedimentológica de cada um dos locais. Os ensaios sedimentológicos realizados (determinação de pH, teor de carbonato de cálcio, teor de matéria orgânica, granulometrias e teor em água) são utilizados na caracterização sedimentar deste tipo de ambientes. Foram ainda aplicadas técnicas para determinação de taxas de sedimentação e datação absoluta de sedimentos ($^{210}\text{Pb}/^{137}\text{Cs}$ e ^{14}C), permitindo presumir e extrapolar para o passado o comportamento e evolução ambiental dos diferentes sapais escolhidos.

Neste capítulo serão apresentadas resumidamente as técnicas utilizadas no estudo das amostras recolhidas desde a extração no campo até aos ensaios laboratoriais.

4.1. Trabalhos de Campo

4.1.1. Sondagens Manuais

As amostras estudadas foram recolhidas através da realização de sondagens manuais. Foram efetuadas sondagens em 4 sapais distintos do estuário: Pancas, Trancão, Corroios e Mouchão da Póvoa (Figura 31). No Mouchão da Póvoa foi também realizada uma sondagem no raso de maré adjacente ao sapal.

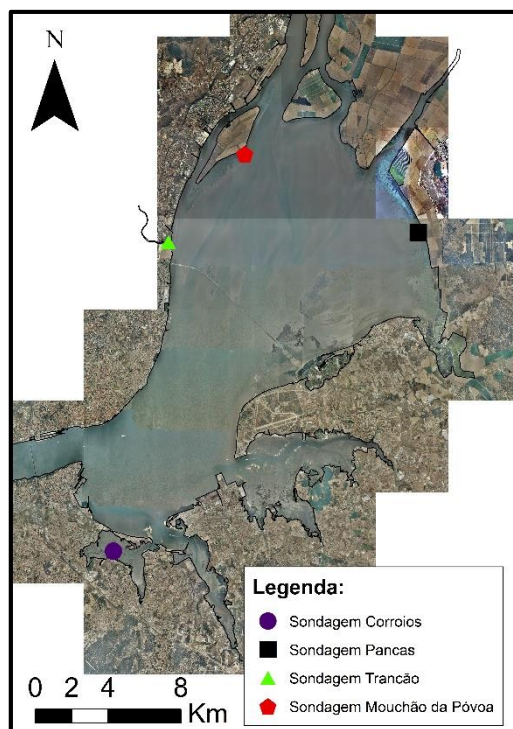


Figura 31 - Localização das sondagens realizadas nos sapais estudados (base: ortofotomapas 2007 do IGP).

As sondagens foram realizadas recorrendo a amostradores Livingstone, Van der Horst, Edelman e Meia-cana (Figura 32). Em cada local foram efetuadas 2 réplicas separadas por apenas alguns centímetros, as mais longas destinadas à caracterização sedimentológica e à datação por radiocarbono, as mais curtas utilizadas para a determinação de taxas de sedimentação através da análise de ^{210}Pb e ^{137}Cs . As bocas das sondagens foram cotadas recorrendo a um DGPS (*Diferencial Global Positioning System*) modelo GPS 900 Leica. Depois de extraídos os segmentos de sondagem, estes foram medidos e acondicionados em meias-canas de PVC e em película aderente para serem transportados até ao laboratório (Figura 33).



Figura 32- Amostradores utilizados durante a realização das sondagens.

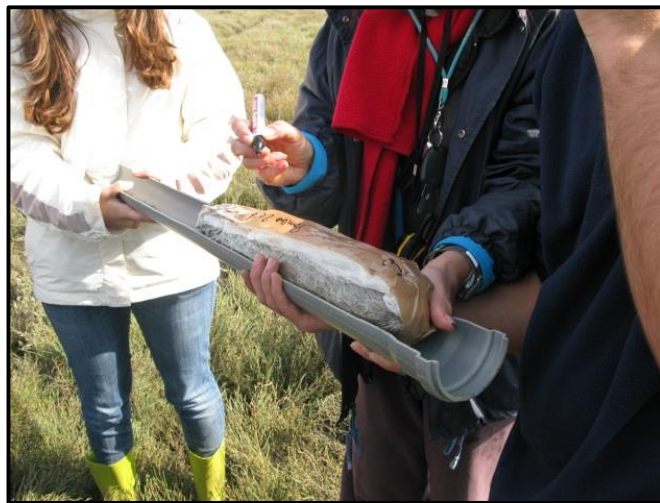


Figura 33 - Acondicionamento das amostras no campo.

4.1.2. Levantamentos topográficos

Em cada um dos sapais estudados foram realizados levantamentos topográficos, utilizando um DGPS - modelo GPS 900 Leica (Figura 34), os dados foram considerados válidos para erros inferiores a 10cm. Os levantamentos foram realizados ao longo do eixo maior de cada mancha de sapal e até ao seu limite inferior, de modo a poder recriar o perfil morfológico dos locais seleccionados. Quando possível, foram também realizados perfis transversais, permitindo caracterizar melhor a superfície topográfica. Os dados foram projetados em ambiente GIS (ArcGis 10.0) e em Excel por forma a analisar a topografia dos sapais estudados.



Figura 34 - Realização de levantamento topográfico no sapal de Corroios.

4.2. Trabalhos laboratoriais e de gabinete

4.2.1. Descrição e subamostragem

Em laboratório, os testemunhos de sondagem foram abertos longitudinalmente (Figura 35), fotografados e descritos, relativamente à cor, litologia, textura, estruturas sedimentares, tipo de contacto entre níveis e conteúdo fóssil. Seguidamente, os testemunhos de sondagem foram subamostrados de acordo com os ensaios a realizar. Deste modo, para os ensaios de sedimentologia as sondagens foram subamostradas a cada 2cm enquanto as sondagens para determinação de taxas de sedimentação foram subamostradas de centímetro a centímetro. As descrições dos testemunhos de sondagem permitiram a construção de logs.

As amostras foram congeladas e liofilizadas num liofilizador (modelo Ilshin, 2006) e pesadas, antes e depois de secas.



Figura 35 - Abertura de testemunhos de sondagem em laboratório.

4.2.2. Determinação do pH

A determinação do pH das amostras foi realizada recorrendo a um aparelho de medição multiparamétrica direta de modelo Consort C861 e um eléctrodo de modelo SP10T DD6 (Figura 36). As medições foram realizadas introduzindo o eléctrodo diretamente no sedimento e a leitura dos resultados ocorreu após a estabilização dos valores.

As amostras foram classificadas de acordo com Costa (1991) (Tabela 1). Os resultados permitiram a construção de gráficos para visualização da variação deste parâmetro em profundidade.

Tabela 1 - Classificação de solos de acordo com o pH, proposta por Costa (1991).

Valor pH	Classificação
>9.6	Hiperalcalino
8.6-9.5	Alcalino
7.6-8.5	Subalcalino
6.6-7.5	Neutro
5.6-6.5	Subácido
4.6-5.5	Ácido
<4.5	Hiperácido



Figura 36 - Medição de pH diretamente na amostra com aparelho de leitura multiparamétrica.

4.2.3. Teor em água

O teor em água das amostras calculou-se através da diferença entre o peso húmido e seco de acordo com a Equação 1:

Equação 1

$$\text{teor em água} = \frac{(\text{Peso}_{\text{húmido}} - \text{Peso}_{\text{seco}})}{\text{Peso}_{\text{húmido}}} \times 100$$

4.2.4. Calcimetria

A determinação do teor de carbonato de cálcio (CaCO_3) foi realizada através de um calcímetro – modelo 08.53 EIJKELKAMP- segundo a norma fornecida pelo fabricante. Este método determina a percentagem de carbonato de cálcio de uma amostra através da medição do volume de dióxido de carbono libertado quando a amostra é exposta a ácido clorídrico. De acordo com o teor em carbonato de cálcio, as amostras são classificadas em 4 classes, seguindo a classificação proposta por Baize (1988) (Tabela 2). Os dados resultantes são depois representados em gráficos que permitem visualizar a variação do teor de CaCO_3 em profundidade.

Tabela 2 - Classificação de solos de acordo com o teor em carbonato de cálcio, proposta por Baize (1988).

% CaCO_3	Classificação
< 5	Nada ou pouco carbonatado
5 a 15	Pouco carbonatado
15 a 40	Carbonatado
>40	Muito carbonatado

4.2.5. Teor de matéria orgânica

O teor de matéria orgânica (M.O.) foi determinado por calcinação, segundo o descrito por Bengtsson e Enell (1986). Este método pressupõe a comparação do peso de uma amostra antes e após um processo de queima na mufla durante 2 horas a uma temperatura de 500 °C. As amostras são classificadas

em 6 classes de acordo com o teor de matéria orgânica e a textura que apresentam. Esta classificação é realizada de acordo com Costa (1991) (Tabela 3). Os dados resultantes desta análise são traçados graficamente, permitindo visualizar a variação do teor de matéria orgânica em profundidade nas várias sondagens.

Tabela 3 - Classificação de solos de acordo com o teor de matéria orgânica, proposta por Costa (1991).

% M.O.		Nível de M.O.
Textura Grosseira	Textura Média a Fina	
20 - 10	30 - 15	Muito Alto
10 - 5	15 - 7	Alto
5 - 3	7 - 5	Moderadamente Alto
3 - 2	5 - 2	Médio
2 - 0,5	2 - 1	Baixo
< 0,5	< 1	Muito Baixo

4.2.6. Granulometria

A análise granulométrica das amostras foi precedida de crivagem, a seco, através de um peneiro $\Phi - 1\text{mm}$. As duas frações foram pesadas para o cálculo da percentagem de amostra superior/inferior a 1mm.

A fração inferior a 1mm foi depois analisada num analisador de partículas a laser – modelo Malvern Masterziser 2000 MU. Antes de analisadas, foram adicionados às amostras 20ml de água desionizada e 5 gotas de Hexametáfosfato de Sódio diluído a 4% (desfloculante) para evitar a floculação das partículas.

Foi adotada a classificação textural proposta por Flemming (2000) (Tabela 4). Os dados resultantes da análise granulométrica das amostras foram representados graficamente para melhor visualização da percentagem de partículas grosseiras das amostras ao longo das sondagens.

Tabela 4 - Classificação textural de amostras segundo Flemming (2000).

% de partículas > 0,075 mm	Classificação textural
95 - 100	Areia
75 - 95	Areia pouco vasosa
50 - 75	Areia vasosa
25 - 50	Vasa arenosa
5 - 25	Vasa pouco arenosa
0 - 5	Vasa

4.2.7. Análise de fotografias aéreas

Foi realizada, no sapal de Pancas, a comparação da posição da frente do sapal entre 1958 e 2007. As imagens de 2007 correspondem a ortofotomapas (cedidos pelo IGP) e a imagem de 1958 são fotografias aéreas digitalizadas (cedidas pela Cátedra da Biodiversidade da Universidade de Évora). A fotografia aérea de 1958 foi sobreposta ao aerofotograma de 2007 para georreferenciação em ambiente GIS (ESRI® ArcMap™ 10.0), utilizando a ferramenta “Georeferencing”.

A frente de sapal de Pancas em 2007 foi marcada a partir da delimitação da mancha de sapal por Mendes *et al.* (2012). A delimitação do sapal na fotografia de 1958 foi executada pela diferença de tom entre o raso da maré (de tom mais claro devido à ausência de vegetação) e o sapal (de tom mais escuro devido à presença de vegetação). A distância entre as duas frentes de sapal foi depois calculada através da ferramenta “Near” do menu “Analysis Tools – Proximity” do ArcMap™ 10.0.

4.3. Datações

Neste estudo foram utilizadas as técnicas de datação por radiocarbono e por isótopos radioativos com tempo de semi-vida ($t^{1/2}$) curtos (^{210}Pb e ^{137}Cs). Da aplicação da técnica de datação por radiocarbono vai resultar a datação absoluta das amostras devido ao tempo de vida longo que o ^{14}C apresenta; a datação de amostras por isótopos radioativos com tempos de semi-vida mais curtos, permite a determinação em primeiro lugar de taxas de sedimentação que depois podem ser utilizadas para cálculo das idades de vários horizontes.

4.3.1. Radiocarbono (^{14}C)

O ^{14}C é um radionuclídeo formado na atmosfera terrestre e que resulta da interação dos prótons dos raios cósmicos (provenientes do sol ou de outros astros da Via-Láctea) com os núcleos de átomos de oxigénio, azoto e argón. Este isótopo de carbono é bastante útil para a datação de amostras, sendo importante no estudo de processos geológicos, uma vez que o seu tempo de semi-vida (5730 ± 40 anos) é suficientemente longo para permitir a sua utilização como geocronómetro (Lowe e Walker, 1984).

O radiocarbono é formado durante o processo de espalação, onde um neutrão do fluxo proveniente dos raios cósmicos reage com um átomo de ^{14}N . Os isótopos de ^{14}C vão depois ser incorporados no CO e CO₂ atmosférico, levando à sua rápida disseminação e ao estabelecimento de uma concentração de ^{14}C constante na atmosfera, resultante do equilíbrio existente entre o seu ritmo de produção e o seu decaimento. O dióxido de carbono formado com átomos de ^{14}C presente na atmosfera vai depois ser incorporado nos tecidos de plantas terrestres, nos animais que delas se alimentem e ainda em carbonatos e conchas de moluscos formadas em ambiente aquático. Este é o princípio básico da datação por radiocarbono. O radiocarbono presente no meio é incorporado pelos seres vivos nos seus tecidos e pelas rochas na sua composição. Quando estes seres morrem e as rochas deixam de estar em contacto com a atmosfera, a incorporação de ^{14}C cessa e a sua atividade diminui devido ao decaimento radioativo. Sabendo a atividade inicial de ^{14}C da amostra e a atividade de ^{14}C atual, pode ser calculado o tempo que decorreu desde que a amostra deixou de incorporar carbono. A Equação 2 permite, assim, através da atividade de ^{14}C atual da amostra (A), da atividade de ^{14}C inicial (A_0) e do tempo de semi-vida do radiocarbono (λ), calcular o tempo (t) decorrido até à atualidade (Lowe e Walker, 1984).

Equação 2

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln\left(\frac{A_0}{A}\right)$$

λ = Constante de decaimento radioativo do ^{14}C .

Esta técnica, embora bastante útil, apenas pode ser considerada válida se for assumido que a produção de radiocarbono se manteve constante ao longo do tempo, que existe um equilíbrio entre o ^{14}C e os isótopos de carbono estáveis na biosfera e na hidrosfera, que as amostras representam um sistema fechado onde não ocorre incorporação de carbono após o seu isolamento e que é possível estabelecer corretamente o decaimento do radiocarbono (Lowe e Walker, 1984). Existem algumas fontes de erro que podem fazer variar os pressupostos enumerados acima, são elas: variações temporais de produção de ^{14}C , fraccionamento isotópica de ^{14}C , circulação de carbono marinho em correntes profundas e contaminações por

incorporação de carbono morto (Lowe e Walker, 1984). Ainda assim, são aplicadas correções que diminuem os erros provocados pelas fontes acima citadas e os pressupostos que permitem a aplicação da técnica de datação por radiocarbono são aceites como válidos.

De acordo com o exposto anteriormente, para que este método de datação possa ser aplicado, é sempre necessário determinar a atividade de ^{14}C na amostra, o que pode ser conseguido através de dois métodos. A datação por radiocarbono convencional funciona através da leitura das emissões de partículas beta durante um período de tempo, inferindo-se assim a atividade do radiocarbono na amostra. A datação por AMS (*Accelerator Mass Spectrometry*) é um outro método que funciona através da determinação dos isótopos presentes numa amostra de acordo com os diferentes pesos atômicos determinados (Lowe e Walker, 1984). As datações apresentadas durante este estudo foram determinadas nos laboratórios da Beta Analytic Inc. (EUA) sobre sedimentos orgânicos pelo método AMS.

4.3.2. Isótopos radioativos com tempos de semi-vida curtos – ^{210}Pb e ^{137}Cs

Este método de datação foi descrito com base no que é referido por Appleby (2002) e Sanchez-Cabeza e Ruiz-Fernández (2012). A utilização de radionuclídeos, naturais e artificiais, que precipitam da atmosfera, na datação de colunas sedimentares costeiras recentes, foi introduzida no início da década de 70 do séc. XX e deu origem ao ramo da geocronologia denominado por radiocronologia.

O ^{210}Pb ($t^{1/2} = 22.3$ anos) é um radionuclídeo de origem natural cuja utilização na datação de sedimentos costeiros recentes é bastante generalizada. Esta técnica de foi inicialmente aplicada em estudos de paleolimnologia onde era utilizada para reconstruir a evolução paleoambiental preservada em registos sedimentares lacustres, estuarinos, turfosos e marinhos. A aplicação desta técnica baseia-se na assunção de alguns pressupostos que lhe conferem algumas fragilidades, nomeadamente no que diz respeito à compreensão dos complexos processos de transporte que controlam a precipitação e acumulação dos radioisótopos nos sedimentos. Ainda assim, os resultados obtidos pela sua aplicação têm-se mostrado bastante fiáveis, principalmente em ambientes onde a sedimentação decorre de forma constante e uniforme permitindo a datação dos sedimentos de forma inequívoca. Em locais onde a sedimentação ocorre a taxas variáveis, esta técnica também tem apresentado resultados positivos, embora, nestes casos, seja necessário determinar um modelo de datação apropriado. Na datação de sedimentos através do isótopo ^{210}Pb podem ser aplicados 3 modelos de datação: os modelos CF:CS (*Constant Flux and Constant Sedimentation*), CRS (*Constant Rate of ^{210}Pb Supply*) e CIC (*Constant Initial Concentration*). Estes são os modelos de datação simples mais utilizados na aplicação em locais onde a sedimentação ocorre de forma uniforme.

Em locais onde a sedimentação decorre de forma não uniforme, os modelos de datação simples não são válidos. A inviabilidade na aplicação destes modelos simples pode residir na existência de uma camada de mistura nos sedimentos superficiais devido a processos físicos ou biológicos e a variações no fornecimento de ^{210}Pb devido a alterações nos padrões de sedimentação. Para validar as datações realizadas neste contexto, é necessário confrontar os resultados das datações por ^{210}Pb com outros métodos de datação. A datação de sedimentos através de radionuclídeos artificiais (e.g. ^{137}Cs e ^{241}Am), é uma das técnicas mais utilizadas na validação das datações por ^{210}Pb .

4.3.2.1. O ciclo do chumbo

O ^{210}Pb é um radionuclídeo natural que pertence à série de decaimento do ^{238}U . O ^{222}Rn é originado a partir do decaimento de ^{226}Ra (isótopo-pai do ^{210}Pb) no solo. Após a sua formação, o ^{222}Rn (gasoso) escapa-se do solo para a atmosfera onde decai, através de uma série de isótopos de vida curta, formando ^{210}Pb . Medições da concentração de ^{210}Pb indicam que o tempo de residência deste isótopo na atmosfera é curto, entre 1 e 2 semanas. O ^{210}Pb produzido na atmosfera vai acoplar-se a partículas em suspensão no ar e vai ser depositado na superfície terrestre, quer por precipitação quer por deposição a seco. Quando precipita sobre massas de água, o ^{210}Pb vai também ligar-se às partículas presentes na coluna de água depositando-se conjuntamente com elas no leito da massa de água.

Aplicando uma equação de balanço de massas (Equação 3), é possível determinar a média global do fluxo de ^{210}Pb na atmosfera (\mathcal{P}).

Equação 3

$$\mathcal{P} = \mathcal{F} \frac{T_{Rn}}{T_{Pb} + T}$$

\mathcal{F} = Fluxo de ^{222}Rn na atmosfera;

T_{Rn} e T_{Pb} = Período de semi-vida de ^{222}Rn e ^{210}Pb , respetivamente;

T = Tempo de residência médio de ^{210}Pb na atmosfera.

Utilizando a equação anterior (Equação 3), estima-se que o fluxo médio global de ^{210}Pb na atmosfera seja de, aproximadamente, $50 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{y}^{-1}$. Este fluxo é considerado constante à escala global (quando considerado como uma média anual) mas na verdade o seu valor pode variar, em uma ordem de grandeza, devido a efeitos como a precipitação ou localização geográfica.

O ^{210}Pb depositado a partir da atmosfera vai provocar um excesso de concentração em relação ao equilíbrio com o ^{226}Ra presente nos sedimentos e vai decair segundo a lei do decaimento radioativo (Equação 4).

Equação 4

$$C_{Pb} = C_{Pb}(0)e^{-\lambda t} + C_{Ra}(1 - e^{-\lambda t})$$

C_{Pb} = Atividade de ^{210}Pb ;

$C_{Pb}(0)$ = Atividade de ^{210}Pb no momento $t=0$;

C_{Ra} = Atividade de ^{226}Ra ;

λ = Constante de decaimento de ^{210}Pb ($0.03118 \pm 0.00017 \text{ ano}^{-1}$).

A atividade total de ^{210}Pb nos sedimentos é composta por 2 componentes: uma componente que se diz suportada e que deriva do decaimento, *in situ*, do ^{226}Ra , e uma segunda componente não-suportada ($^{210}\text{Pb}_{xs}$) gerada pelo fluxo de ^{210}Pb da atmosfera. A atividade do $^{210}\text{Pb}_{xs}$ é a diferença entre a atividade total de ^{210}Pb nos sedimentos e a atividade de ^{210}Pb da fração suportada. A atividade de $^{210}\text{Pb}_{xs}$ é por vezes diferente da derivada do fluxo atmosférico de ^{210}Pb . Isso é explicável através do enriquecimento dos

sedimentos em $^{210}\text{Pb}_{xs}$ devido a fatores como o transporte de isótopos da área de uma bacia hidrográfica ou perda de isótopos na coluna de água devido ao escoamento.

A atividade total de ^{210}Pb , em camadas que já não estão em contacto com a atmosfera, é calculada através da Equação 5.

Equação 5

$$C_{tot} = C_{tot}(0)e^{-\lambda t} - C_{sup}(1 - e^{-\lambda t})$$

C_{tot} = Atividade total de ^{210}Pb ;

$C_{tot}(0)$ = Atividade total de ^{210}Pb no momento $t=0$;

C_{sup} = Atividade total de ^{210}Pb suportado.

A atividade do $^{210}\text{Pb}_{xs}$ pode ser calculada através da Equação 6:

Equação 6

$$C_{ex} = C_{ex}(0)e^{-\lambda t}$$

C_{ex} = Atividade de ^{210}Pb em excesso;

$C_{ex}(0)$ = Atividade de ^{210}Pb em excesso no momento $t=0$.

Ao fim de 6-7 tempos de semi-vida de ^{210}Pb (130-150 anos) o total de atividade de chumbo entra em equilíbrio com a atividade de ^{226}Ra , limitando o intervalo temporal em que se pode aplicar este método de datação. A profundidade a que esse equilíbrio é atingido é denominada como o horizonte de datação do ^{210}Pb .

4.3.2.2. Radionuclídeos artificiais

Os radionuclídeos artificiais começaram a ser produzidos e libertados para a atmosfera a partir do início dos testes de armas termonucleares, em 1952. As explosões provocadas por essas experiências injetavam materiais radioativos na estratosfera terrestre. Os isótopos radioativos foram então transportados pelo vento para todo o globo, acabando por depositar-se na superfície terrestre. Os principais radionuclídeos produzidos no decorrer destas experiências foram o ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{214}Am e 239,240 e ^{241}Pu .

No hemisfério norte estes isótopos atingiram atividades significativas em 1954, aumentando rapidamente até 1958, momento em que, devido à interdição de realização de novos testes, houve uma quebra significativa na precipitação radioativa. Em 1961, com a abolição da interdição aos testes termonucleares, verificou-se um novo aumento na precipitação destes radioisótopos, atingindo-se o máximo de atividade em 1963. De seguida deu-se novo período de diminuição acentuada da precipitação destes radionuclídeos. Em 1986, o acidente nuclear de Chernobyl lançou para a atmosfera destroços do núcleo do reator nuclear provocando a queda de isótopos de ^{137}Cs , ^{134}Cs e ^{131}I . Esses isótopos foram transportados pelos ventos estratosféricos por milhares de quilómetros, estando a precipitação radioativa destes sujeita à direção da pluma radioativa e a da precipitação.

4.3.2.3. Modelos de datação simples

Medições da taxa de deposição de ^{210}Pb mostram que esta é uniforme em escalas temporais grandes (anuais). O fluxo anual médio de ^{210}Pb da atmosfera para os sedimentos (P) pode ser escrito segundo a Equação 7:

Equação 7

$$P = F_{Pb}(1 - \alpha\eta_{Pb})\phi$$

η_{Pb} – parâmetro de transporte da bacia hidrográfica;

F_{Pb} – Fração de ^{210}Pb da coluna de água que é transferida para os sedimentos;

ϕ - Fluxo anual médio de ^{210}Pb .

Em ambientes com taxas de sedimentação uniformes é então razoável admitir que a atividade inicial de $^{210}\text{Pb}_{xs}$ nos sedimentos foi invariante no tempo. Assim, os sedimentos a uma profundidade m terão uma idade t calculada através da expressão (Equação 8):

Equação 8

$$t = \frac{m}{r}$$

r = taxa de sedimentação de massa seca.

Neste caso, a atividade de $^{210}\text{Pb}_{xs}$ vai variar com a profundidade de acordo com a Equação 9:

Equação 9

$$C(m) = C(0)e^{-\lambda m/r}$$

A atividade inicial de $^{210}\text{Pb}_{xs}$ ($C(0)$) é obtida através da Equação 10:

Equação 10

$$C(0) = \frac{P}{r}$$

Projetando numa escala logarítmica a $C(m)$ vs. m obtemos uma relação linear à qual é possível, através da aplicação do método dos mínimos quadrados, associar a taxa de sedimentação de massa seca (r).

Quando as taxas de sedimentação num dado local são variáveis, também a atividade de $^{210}\text{Pb}_{xs}$ vai variar; assim ao projetar $C(m)$ vs. m irá ser obtida uma distribuição não linear. As variações na atividade de ^{210}Pb podem dever-se a taxas de sedimentação mais elevadas, a variações na concentração de sedimentos depositados, hiatos de deposição sedimentar ou a processos de mistura nas camadas devido a processos biológicos, físicos ou químicos.

Ao realizar a datação de sedimentos através de ^{210}Pb é por isso necessário determinar os processos decorrentes na área de estudo e optar pelo modelo de datação que melhor se ajusta.

4.3.2.4. Modelo CIC

O modelo CIC assume que a concentração inicial de $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ durante a formação de uma camada i é constante. Ou seja, a concentração inicial de todas as camadas foi igual aquando da sua formação.

Assim, a lei de decaimento radioativo (Equação 11) pode ser escrita do seguinte modo:

Equação 11

$$C(m) = C(0)e^{-\lambda t}$$

Desenvolvendo a equação anterior (Equação 11), obtemos a equação (Equação 12) que permite determinar o tempo decorrido desde a formação da camada m ,

Equação 12

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln\left(\frac{C(m)}{C(0)}\right)$$

À medida que as camadas se formam, ocorre simultaneamente decaimento de $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$; deste modo $C(m)$ não vai ser igual a $C(0)$. Para aplicar o modelo CIC é então necessário resolver esta discrepância. Esta pode ser resolvida de duas formas. A primeira consiste na determinação experimental de $C(0)$. Esta solução é bastante difícil de aplicar devido à dificuldade em recuperar uma amostra que seja representativa da camada mais recente e superficial de sedimento depositado. A segunda solução passa pela extrapolação do valor de $C(0)$. Esta só é aplicável quando a relação entre o logaritmo de atividade de $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ nas camadas é proporcional à profundidade nas amostras mais superficiais, sendo aplicável uma regressão linear.

É importante notar ainda que ao realizar esta regressão linear a taxa de sedimentação é também considerada constante, tal como no modelo CF:CS (explicado mais à frente).

Este modelo de datação raramente é utilizado devido a duas razões principais. Em primeiro lugar, é necessário que o fluxo de $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ para os sedimentos e a acumulação de massa sejam proporcionais, o que raramente se verifica. Em segundo lugar, uma vez que se assume que o sistema é fechado, é impossível explicar a existência de camadas mais profundas e conseqüentemente mais antigas com atividades mais elevadas de $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$, seria necessário que houvesse um distúrbio na sequência sedimentar para que isso acontecesse, o que invalidaria a aplicação do modelo.

4.3.2.5. Modelo CRS

O modelo CRS foi desenvolvido para responder à necessidade de aplicação em áreas onde a sedimentação não é uniforme. Este modelo tem como base o pressuposto de que o fluxo de $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ para os sedimentos superficiais é constante. Considerando o modelo CRS válido, temos então que variações nas taxas de sedimentação resultam em concentrações iniciais de $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ também variáveis, segundo a Equação 4.

Segundo o modelo CRS, a atividade de $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ numa camada de idade t é dada pela expressão (Equação 13):

Equação 13

$$A = A(0)e^{-\lambda t}$$

$A(0)$, é o ^{210}Pb residual no registo sedimentar, designado por inventário de ^{210}Pb , e calculado através da expressão (Equação 14):

Equação 14

$$A(0) = \frac{P}{\lambda}$$

A partir destes dois termos é possível calcular a idade t de uma camada m através da expressão (Equação 15):

Equação 15

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln\left(\frac{A(0)}{A}\right)$$

Sabendo a idade t e aplicando as Equação 6 e Equação 11, é possível determinar a taxa de sedimentação de massa seca utilizando a Equação 16:

Equação 16

$$r = \frac{\lambda A}{C}$$

4.3.2.6. Modelo CF:CS

Este modelo tem por base o pressuposto que o fluxo de $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ para o sedimento (tal como no modelo CRS) e a taxa de deposição de massa seca são constantes. Quando as condições deste modelo são respeitadas, observa-se um decréscimo exponencial da $C(m)$ com a profundidade (m). Assim, é possível resolver a equação (Equação 17) através de uma regressão linear entre o logaritmo de $C(m)$ e a massa em profundidade m (Equação 12):

Equação 17

$$\ln(C(m)) = \ln(C(0)) - \frac{\lambda}{r}m$$

Nesta equação linear ($y = a+bx$), o termo $a=\ln(C(0))$ e o termo $b=-\lambda/r$. Assim, $C(0)=e^a$ e a taxa de sedimentação $r=-\lambda/b$.

Se os pressupostos do modelo se verificarem, determinando r e sabendo a profundidade da camada (m), é então possível determinar a idade das camadas (t) através da Equação 18:

Equação 18

$$r = \frac{m}{t}$$

Se o perfil de $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ analisado apresenta uma quebra de declive mas continua a apresentar um comportamento linear em ambas as secções, é também possível determinar diferentes taxas de sedimentação para cada troço do perfil.

5. RESULTADOS

5.1. Topografia

Neste capítulo serão expostos os resultados da topografia realizada em cada um dos locais estudados. Os dados maregráficos (valores médios, relativos ao nível médio do mar em Cascais, 2,08m acima do zero hidrográfico) utilizados para cada local estão sumarizados na Tabela 5. Os valores em Pancas e no Mouchão da Póvoa são idênticos devido à proximidade destes dois sapais.

Tabela 5 - Dados maregráficos utilizados para a análise topográfica da superfície dos sapais estudados. Os dados dos marégrafos do Instituto Hidrográfico (IH) correspondem a séries temporais de 36 anos.

Local	PMmáx (m)	PMAV (m)	PM (m)	PMAM (m)	BMAV (m)	Marégrafo
Corroios	2.46	1.86	1.46	1.03	-1.35	Seixal (IH)
Pancas / M. da Póvoa	2.62	2.01	1.56	1.12	-1.48	Ponta da Erva (IH)
Trancão	2.30	1.82	1.49	1.12	-1.48	Trancão*

*O modelo de maré astronómica para o Trancão foi obtido através de um transdutor de pressão colocado no local e de uma posterior análise de concordância com o marégrafo de Cascais (dados cedidos por Carlos Antunes).

5.1.1. Corroios

No sapal de Corroios foram realizados perfis topográficos longitudinais e transversais (Figura 37), de forma a abranger áreas de sapal e de raso de maré.

Como se pode observar através do perfil SW-NE que passa pelo local da sondagem (Figura 38), a superfície do sapal de Corroios encontra-se a uma cota aproximada de 1.5m, praticamente coincidente com o PM médio. Os rastos de maré circundantes têm superfícies a -0.5m a SW e a 0.4m, a NE. Esta assimetria deverá estar ligada à presença de um canal de maiores dimensões a ladear a área intertidal a sul; no lado norte, o canal é bastante mais estreito. A própria extensão de raso de maré é distinta, sendo maior a leste do que a sul, estando essa diferença ligada à morfologia dos canais de ambos os lados.

O perfil do sapal de Corroios apresenta, principalmente no lado norte, vários canais de drenagem, que têm uma secção mais larga e maior profundidade, quando comparados com as depressões do lado sul. Algumas destas depressões correspondem a morfologias designadas por “*salt pans*” (resultantes do abandono de canais de drenagem e que funcionam como charcas salgadas).

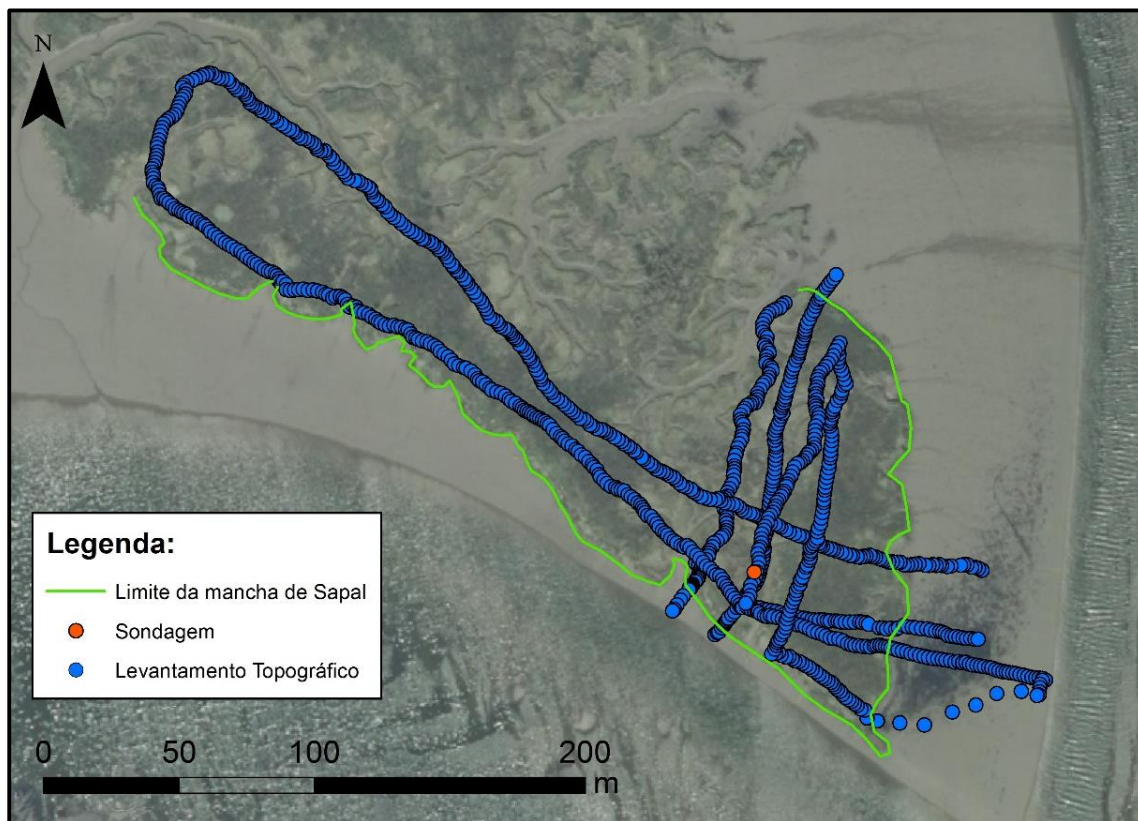


Figura 37 - Localização da sondagem e dos perfis topográficos realizados no sapal de Corroios.

A superfície do sapal de Corroios está ainda cerca de 40cm abaixo do limite teórico de acreção (Figura 38). O limite entre baixo sapal e alto sapal está de acordo com os limites de vegetação verificados no campo, estando as áreas de baixo sapal restringidas, praticamente, às margens dos canais de drenagem. A divisão teórica entre baixo sapal e raso de maré, está localizada nas escarpas que ladeiam a mancha de sapal.

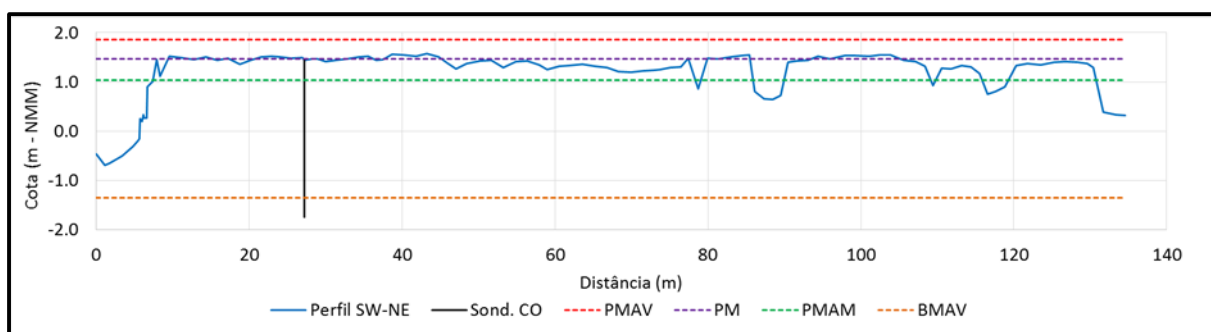


Figura 38 - Perfil SW-NE e dados mareográficos do sapal de Corroios com a localização da sondagem.

5.1.2. Pancas

O perfil topográfico realizado no sapal de Pancas apresenta cerca de 1500m de comprimento, e estende-se desde os afloramentos plistocénicos, a Este, até ao raso de maré adjacente, a Oeste (Figura 39).

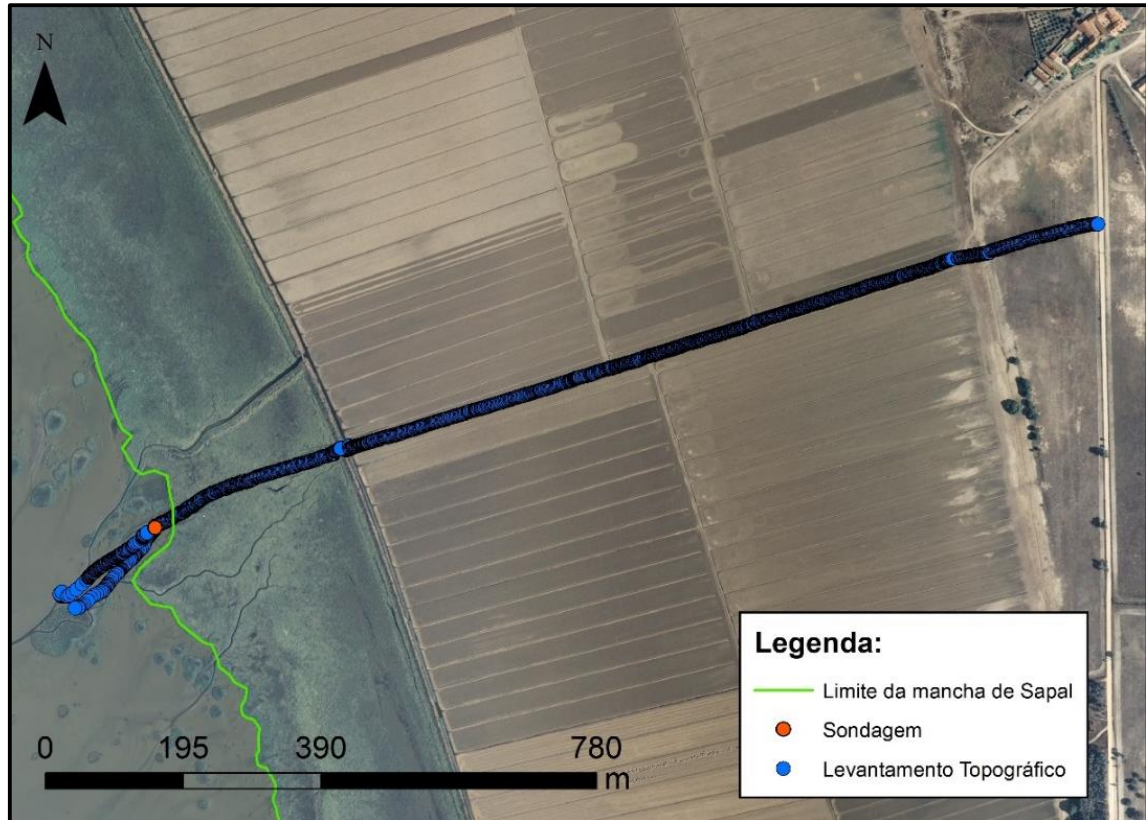


Figura 39 - Localização da sondagem e perfil topográfico transversal no sapal de Pancas.

Este perfil apresenta 3 secções distintas: área intertidal (raso de maré e sapal), área agrícola e substrato Plistocénico (Figura 40).

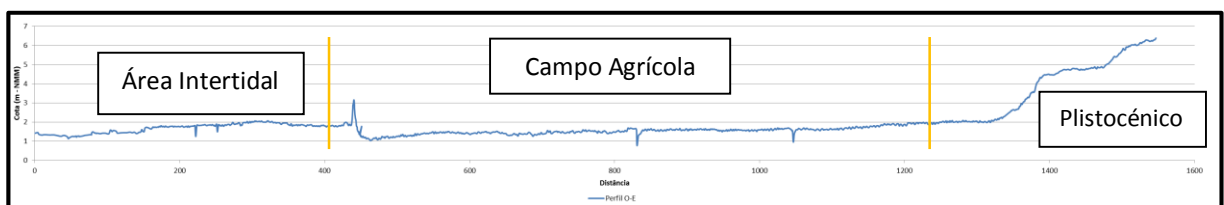


Figura 40 - Perfil topográfico transversal O-E efetuado entre o raso de maré de Pancas e a vertente talhada em materiais do plistocénico.

A área de campo agrícola corresponde, provavelmente, a uma antiga área de sapal que foi convertida através da construção de um dique de lamas, que impede a propagação das marés. A conversão de áreas de sapal em zonas de pastoreio e campos agrícolas é uma prática comum, sendo encontrados outros exemplos deste tipo de utilização nos sapais da margem Sul do Tejo.

Observando em maior pormenor o perfil topográfico realizado no sapal de Pancas (Figura 41), verifica-se que existe uma diferença entre a cota média da superfície do sapal e a cota média da superfície do campo agrícola de cerca de 48cm. Esta pode corresponder à acreção verificada na superfície do sapal desde a construção do dique e interrupção da sedimentação a leste.

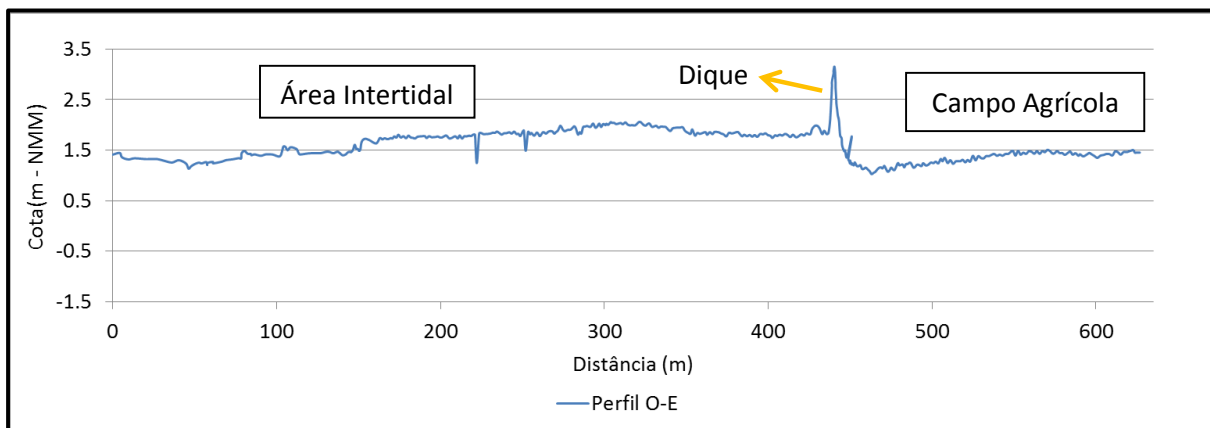


Figura 41 - Pormenor da área intertidal do sapal de Pancas e parte do campo agrícola adjacente.

A superfície do sapal apresenta algumas depressões que correspondem a canais de maré, e encontra-se, aproximadamente, entre 1.70 e 2.10m (NMM). Abaixo da cota 1.50m (NMM) ocorre a superfície do raso de maré observado no campo. As zonas altas encontradas nessa superfície são pequenas ilhas de baixo sapal, que estão na origem de novas áreas de sapal, que coalescerão à frente do sapal já existente.

Aplicando os limites teóricos de divisão dos ambientes intertidais de acordo com os dados maregráficos (Tabela 5), observa-se que a superfície do alto sapal de Pancas já quase atingiu o seu limite superior na zona central do perfil (Figura 42). O limite entre o baixo e o alto sapal parece ligeiramente abaixo (1.49m, NMM) do nível de preia-mar médio (1.57m, NMM).

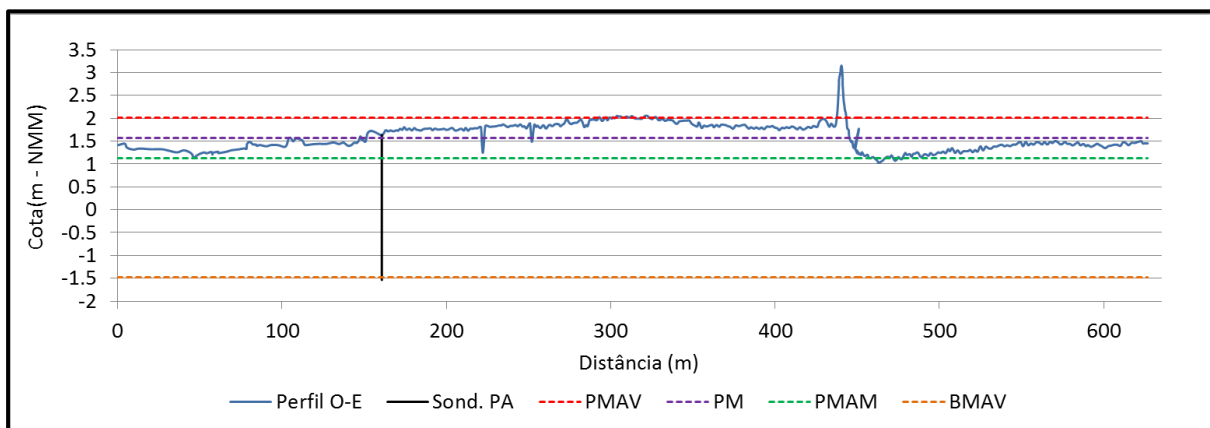


Figura 42 - Perfil transversal e dados maregráficos do sapal de Pancas com a localização da sondagem.

5.1.3. Mouchão da Póvoa

A Figura 43 apresenta a localização do perfil topográfico do Mouchão da Póvoa realizado no sapal, ao longo de aproximadamente 55m, e raso de maré, ao longo de cerca de 95m.

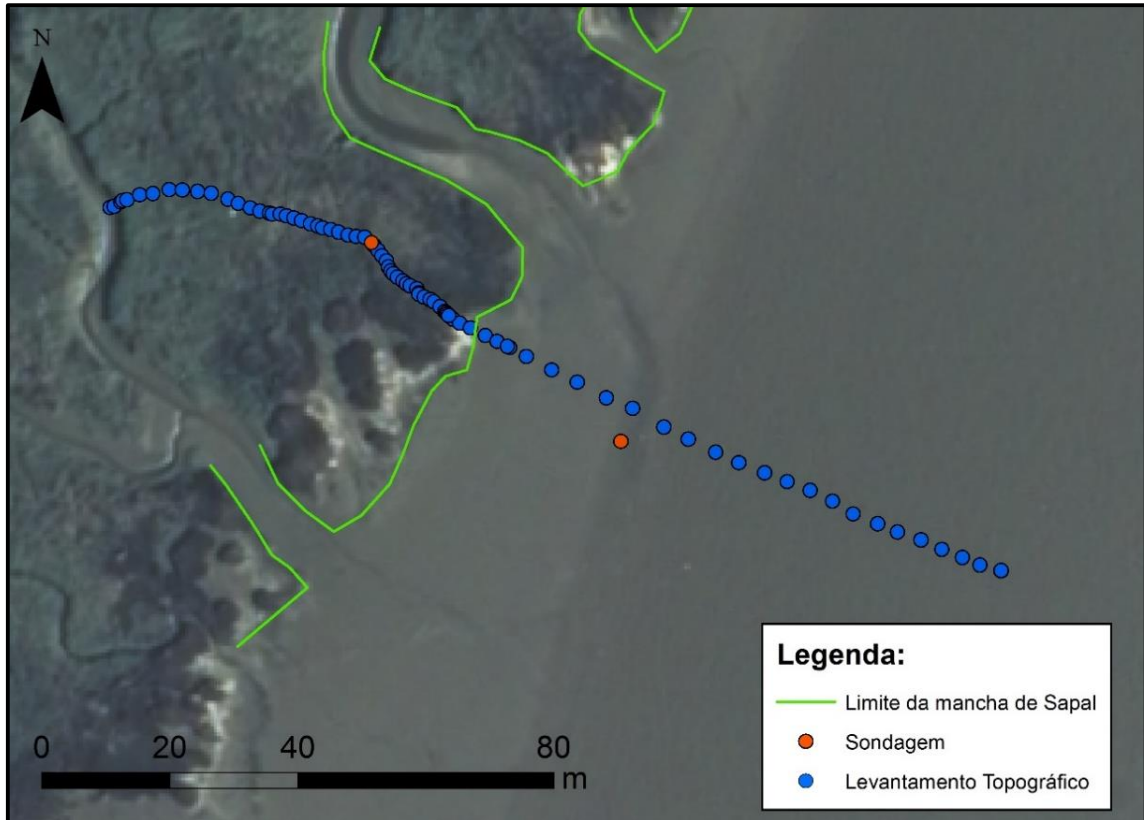


Figura 43 - Localização do perfil topográfico transversal e sondagens realizadas no Mouchão da Póvoa (a Oeste a sondagem efetuada no alto sapal e a Este a sondagem obtida no raso de maré).

Verifica-se que a transição entre o raso de maré e o sapal do Mouchão da Póvoa ocorre através de uma pequena escarpa (Figura 44). Verifica-se também que a superfície do alto sapal se encontra a uma cota (1.55m – NMM) próxima do limite com o baixo sapal, existindo por isso ainda espaço de acomodação para a agradação da superfície. O extenso raso de maré tem um declive relativamente elevado. Verifica-se a existência de canais de drenagem ao longo de todo o perfil, embora a zona de maior densidade se encontre perto da transição entre o sapal e o raso de maré. Isso poderá ser indicativo da maior maturação do sapal mais afastado do canal do Tejo.

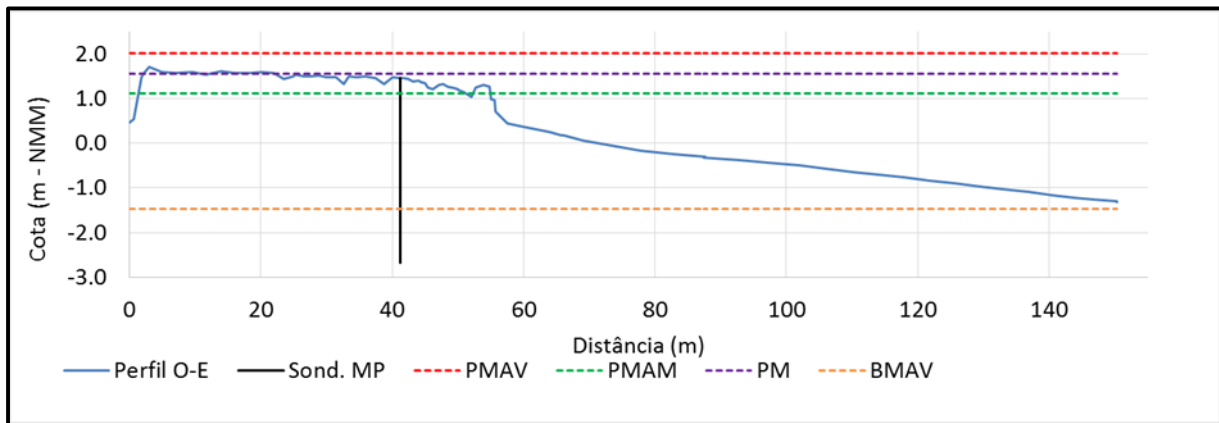


Figura 44 - Perfil transversal e dados maregráficos do sapal do Mouchão da Póvoa e localização da sondagem.

5.1.4. Trancão

O perfil topográfico realizado no sapal do Trancão tem cerca de 70m e é transversal ao sapal (Figura 45), abrangendo desde uma área de aterro (a norte) ao raso de maré (a sul), sendo o contacto destes elementos com o sapal efetuado por pequenas escarpas (Figura 46).



Figura 45 - Localização do perfil topográfico e da sondagem realizada no sapal do Trancão.

A superfície do alto sapal (Figura 46) desenvolve-se de acordo com os limites teóricos, à exceção do bordo Sul, que deveria corresponder a baixo sapal; no entanto, no terreno não se distinguia vegetação de baixo sapal. Verifica-se ainda que existe espaço de acomodação de sedimento até que a superfície do sapal atinja o seu limite superior.

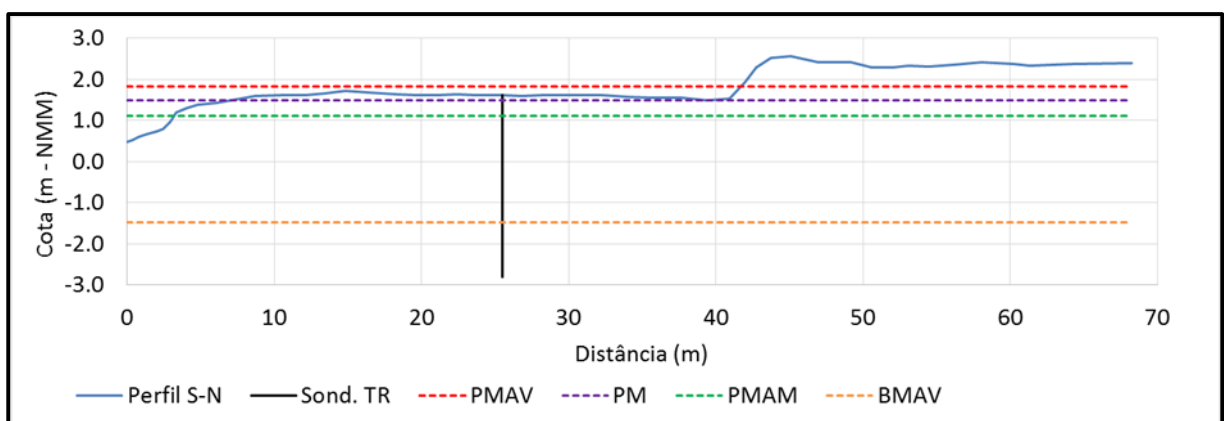


Figura 46 - Perfil Transversal e dados maregráficos do sapal do Trancão e localização da sondagem.

5.2. Sedimentologia

As tabelas com os dados sedimentológicos que permitiram a construção dos gráficos apresentados neste capítulo estão ordenadas por sondagem no Anexo I.

5.2.1. Corroios

A análise sedimentológica da sondagem realizada no sapal de Corroios permitiu a definição de 3 unidades e 2 subunidades (Figura 47).

A Unidade I – 318 a 255cm de profundidade. Apresenta maior irregularidade nos parâmetros sedimentológicos que a Unidade II. Variações texturais e composicionais permitiram o estabelecimento de duas subunidades (IA e IB).

Subunidade IA – desde a base da sondagem até aos 292cm de profundidade. Esta subunidade é constituída pelos sedimentos mais grosseiros de toda a sondagem. As amostras desta subunidade classificam-se como areias pouco vasosas, areias vasosas e vasas arenosas, parecendo existir uma tendência decrescente da percentagem de partículas grosseiras para o topo da subunidade. Também no que se refere ao teor de carbonato de cálcio esta subunidade é ímpar. As amostras que a compõem apresentam-se com o maior teor de CaCO_3 da sondagem (máximo de 35% aos 301cm de profundidade). Em termos de matéria orgânica esta subunidade apresenta-se como a mais pobre de toda a sondagem. A amostra da base apresenta mesmo um teor de matéria orgânica classificado como baixo (0.86%). Este parâmetro apresenta uma tendência clara de aumento para o topo da subunidade, sendo que a amostra do topo (292cm de profundidade) já apresenta um teor alto de matéria orgânica (9%). O pH das amostras desta subunidade é o mais elevado de toda a sondagem (entre 7 e 7.5, com valor médio de 7.3), sendo o sedimento alcalino. No que se refere ao teor de água das amostras, os valores são os mais baixos de toda a sondagem, verifica-se uma tendência acentuada de aumento do teor de água das amostras da base para o topo da unidade.

Subunidade IB – estende-se desde os 292cm até aos 255cm de profundidade. Esta subunidade é composta por amostras classificadas como vasas pouco arenosas, maioritariamente, e algumas vasas. No que se refere ao teor em carbonato de cálcio, embora as amostras da subunidade IB não sejam tão ricas como as amostras da subunidade IA, estas apresentam teores relativamente elevados sendo as amostras, na sua maioria, classificadas como pouco carbonatadas, com teores em média a rondar os 8% e com o máximo de 13%. Os teores de matéria orgânica são bastante uniformes, em média 7.39% (altos a moderadamente altos), com uma tendência suave de diminuição do seu teor para o topo e um mínimo (2.41%) a 271cm de profundidade. O pH das amostras que compõem esta subunidade apresenta também um comportamento bastante regular, com diminuição da base para o topo da subunidade. Os valores variam entre 7.2 e 6.9 (pH neutro), da base para o topo, respetivamente. No que diz respeito ao teor de água, a subunidade IB mostra-se bastante homogênea, com teores de água a variar entre 38 e 46%.

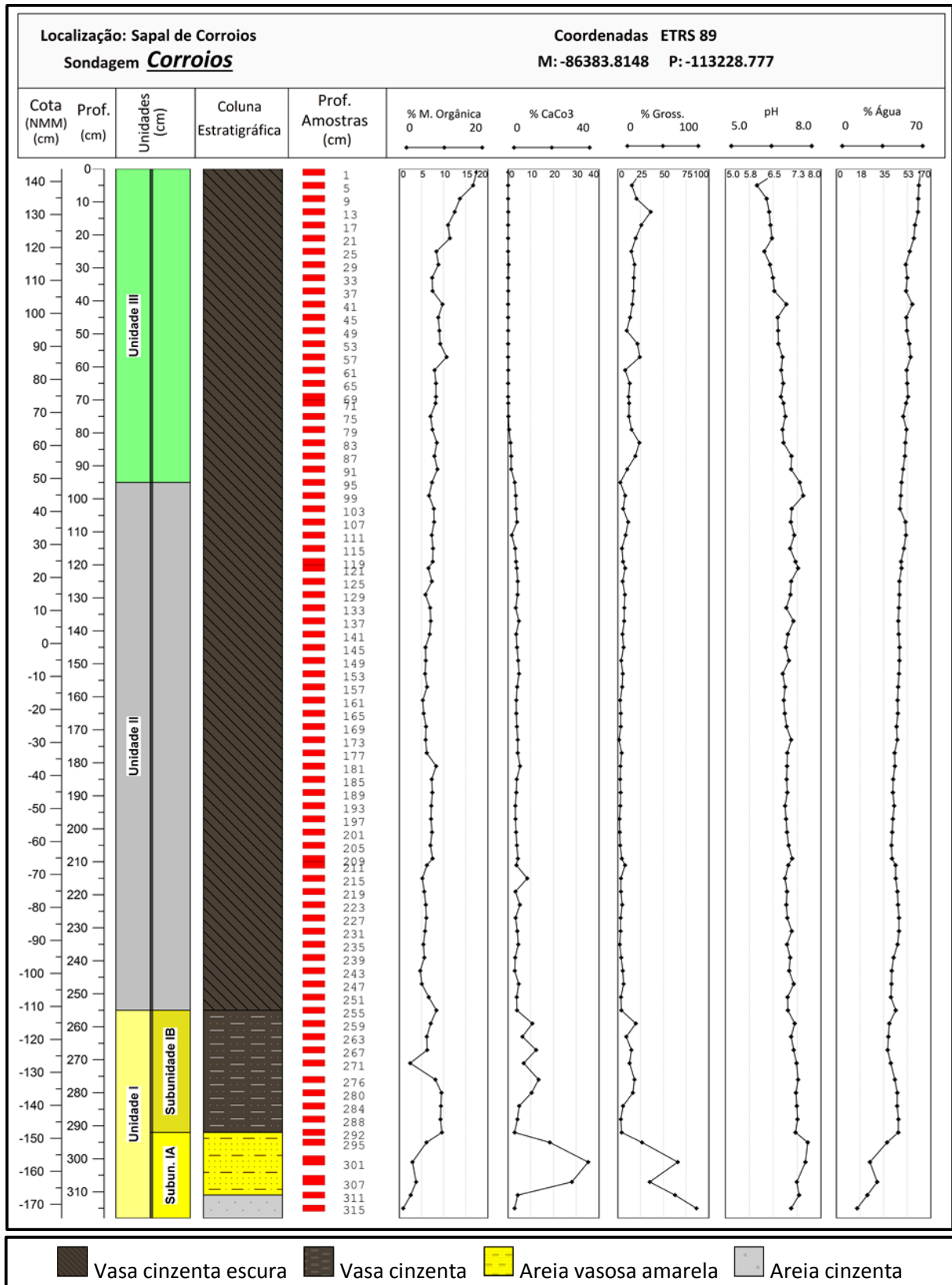


Figura 47 - Gráficos de variação das características sedimentológicas do sapal de Corroios, amostras estudadas e principais litologias nas unidades identificadas.

Unidade II – 255 a 95cm de profundidade. Caracteriza-se por grande homogeneidade nas características sedimentológicas, embora estejam marcadas tendências evidentes no comportamento dos diferentes parâmetros. A percentagem de partículas grosseiras desta subunidade é muito baixa, variando entre 1% e 11%, crescente para o topo (a partir dos 157cm de profundidade). É, pois, composta por vasas, na base, e vasas pouco arenosas, no topo. Isto evidencia uma tendência crescente da percentagem de partículas grosseiras para o topo da unidade. No que respeita ao carbonato de cálcio, os teores rondam os 4%, variando entre 1% e 8%. As amostras são nada ou pouco carbonatadas, com teores decrescentes para o topo. Existem apenas 3 exceções, as amostras aos 223cm, 215cm e 181cm que são classificadas como pouco carbonatadas. O teor de matéria orgânica é bastante homogéneo ao longo da Unidade II, com uma ligeira tendência crescente para o topo. Os valores, de modo geral, variam entre 4 e 8%, mas entre os 209cm e os 181cm de profundidade são mais elevados (7 e 8%). Trata-se pois, de teores de matéria orgânica moderadamente altos a altos. Verifica-se no entanto, ainda na base da subunidade, uma amostra (243cm de profundidade) com teor de matéria orgânica classificado como médio (4.68%). O pH das amostras é bastante homogéneo ao longo de toda a Unidade II, variando entre 6.8 e 7.4 e sendo as amostras classificadas como neutras. Existe no entanto uma zona no topo da subunidade em que se verifica um pequeno aumento do pH em duas amostras (7.44 aos 99cm e 7.33 aos 95cm de profundidade). O teor de água nesta subunidade é crescente para o topo. Este aumento, de cerca 40% na base para cerca de 50% no topo, é gradual ao longo da Unidade II.

Unidade III – 95cm à superfície. Trata-se, no geral, de vasas pouco arenosas, com algumas vasas arenosas aos 17 e 13cm de profundidade. A percentagem de partículas grosseiras sofre um incremento substancial relativamente à Unidade II, com um valor máximo de 36% (13cm de profundidade) e um valor mínimo de 7% (aos 61cm de profundidade). No que respeita ao teor de CaCO_3 a Unidade III é marcada por um decréscimo, sendo as amostras classificadas como nada ou pouco carbonatadas e o seu teor de CaCO_3 virtualmente zero. O teor de matéria orgânica aumenta para o topo da Unidade, variando entre 7% na base e 17% no topo. As amostras apresentam, deste modo, teores de matéria orgânica altos, sendo que as duas amostras mais superficiais têm teores muito altos. O pH das amostras diminui claramente em direção ao topo da sondagem. Deste modo as amostras da base são classificadas como neutras (valor de 7) e as do topo subácidas (5.99 a 5cm de profundidade). O teor de água continua a tendência verificada na Unidade II, crescente para o topo (51% na base e 62% no topo).

5.2.2. *Pancas*

As características sedimentológicas das amostras da sondagem realizada no sapal de Pancas permitiram a individualização de 4 unidades e 2 subunidade (Figura 48).

Unidade I - 317 a 269cm de profundidade. É essencialmente composta por vasas (2% de fração superior a $63\mu\text{m}$), à exceção da base, composta por vasas pouco arenosas (317 e 313cm de profundidade com frações superiores a $63\mu\text{m}$ de 9.4% e 5.4%, respetivamente). O teor de carbonato de cálcio apresenta uma variação semelhante à percentagem de partículas grosseiras, sugerindo que a fração superior a $63\mu\text{m}$ seja composta essencialmente por bioclastos. Estes teores são em média de 7% (vasas pouco carbonatadas) à exceção da amostra da base, com 11%, e da amostra a 281cm de profundidade, com um teor de 10%. O teor de matéria orgânica varia entre 5 e 7% (teores moderadamente altos a elevados). O pH aumenta para

o topo da unidade, ocorrendo valores entre 6.9 e 7.3 (vasas neutras). O teor de água das amostras nesta unidade apresenta um comportamento bastante regular com valores a rondarem os 44%.

Unidade II - 269 a 209cm de profundidade. Esta unidade diferencia-se da anterior por apresentar variações importantes no teor de carbonato de cálcio, na percentagem de partículas grosseiras e no pH das amostras que a compõem. No geral, os sedimentos são vasas arenosas (percentagem da fração superior a 63 μ m entre 1.5 e 17.3%) à exceção de algumas amostras da base e no troço entre 225 e 217cm de profundidade, onde são vasas. O teor de carbonato de cálcio varia entre 3 e 27%, correspondendo à unidade mais carbonatada de toda a sondagem. As amostras são assim classificadas como pouco carbonatadas (maioritariamente) e carbonatadas (249, 241 e 229cm e profundidade), com a exceção da amostra aos 217cm de profundidade classificada como nada ou pouco carbonatada. Os bioclastos são maioritariamente responsáveis pela fração grosseira desta unidade. O teor de matéria orgânica é muito semelhante ao da unidade anterior, com teores variando entre 6 e 7% (teores elevados e moderadamente elevados). O pH varia entre 6 e 7 (vasas neutras) com exceção da amostra a 229cm de profundidade, que é uma vasa subalcalina (pH de 7.6). O teor de água varia entre 41 e 48%, com um valor médio de 43%.

Unidade III – 209 a 133cm de profundidade. Caracteriza-se, de modo geral, por apresentar grande homogeneidade dos parâmetros analisados. A unidade é composta por vasas, com teores de partículas grosseiras muito baixos, entre 1 e 3%. Quanto ao teor de carbonato de cálcio (bioclastos) varia entre 3 e 8%. As amostras desta unidade são classificadas como vasas nada ou pouco carbonatadas e pouco carbonatadas. O teor de matéria orgânica é igualmente muito homogêneo, variando entre 7.1 e 8.4% (teores de matéria orgânica altos). O pH varia entre 7.2 e 7.7, sendo classificadas como vasas neutras e subalcalinas. O teor de água varia entre 41 e 47%.

Unidade IV – 133cm de profundidade até à superfície. Esta unidade foi subdividida em duas subunidades: IVA, entre os 133 e os 61cm de profundidade, e IVB, desde os 57cm de profundidade até à superfície. A Unidade IV diferencia-se da Unidade III por apresentar maior variabilidade no comportamento dos parâmetros sedimentológicos, exceto no teor de carbonato de cálcio.

Subunidade IVA – É composta maioritariamente por sedimentos vasosos, com exceção dos intervalos entre os 121-117 e 81-77cm de profundidade, onde os sedimentos são classificados como vasas pouco arenosas. O carbonato de cálcio das amostras desta unidade mostra-se bastante homogêneo, variando 2.5 e 4.2%, com todas as amostras a corresponderem a vasas nada ou pouco carbonatadas. O teor de matéria orgânica dos sedimentos varia entre 5 e 11% (teores moderadamente altos a altos). O pH das amostras varia entre 7.3 e 7.7 (vasas neutras e subalcalinas) e o teor de água entre 40 e 55%.

Sedimentologia e morfodinâmica de sapais do estuário do Tejo em cenários de alteração climática

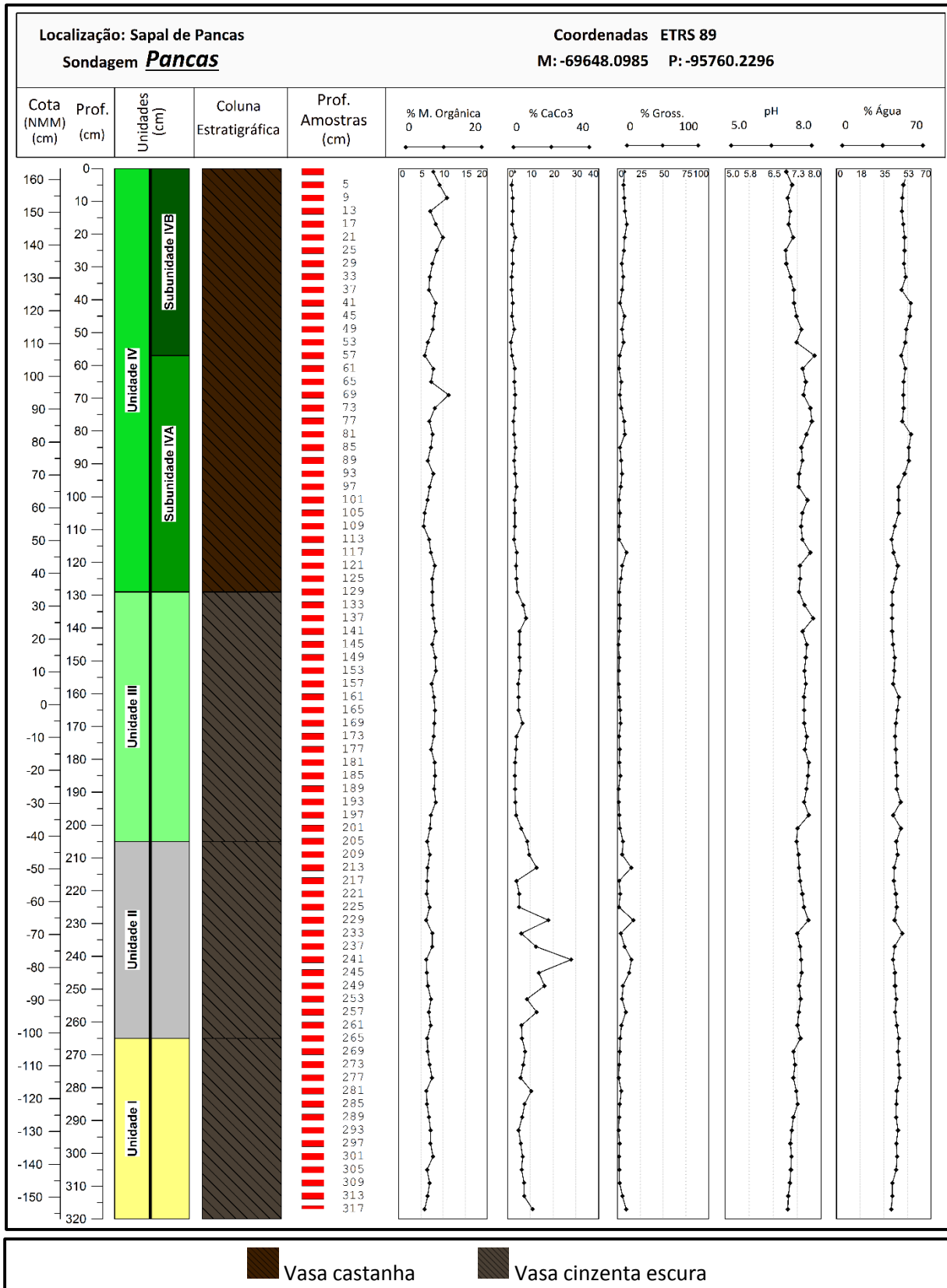


Figura 48 - Gráficos de variação das características sedimentológicas do sapal de Pancas, das amostras estudadas e principais litologias nas unidades identificadas.

Subunidade IVB – Nesta subunidade a percentagem de partículas grosseiras varia entre 2 e 10%, com um valor médio de 6%. Os sedimentos evoluem de vasas, predominantemente na base da subunidade, para vasas pouco arenosas, no topo. O comportamento deste parâmetro parece acompanhar a variação do teor de matéria orgânica das amostras, podendo por isso estar a ser enviesado pela presença de fibras vegetais. Quanto ao teor de carbonatos de cálcio, a subunidade mostra-se muito homogénea. O teor de CaCO_3 das amostras varia entre 1 e 3% e todas as amostras são classificadas como vasas nada ou pouco carbonatadas. O teor de matéria orgânica das amostras é alto, com apenas algumas amostras na base da subunidade a apresentarem teores moderadamente altos. O teor de matéria orgânica apresenta uma tendência crescente para o topo da subunidade. No que respeita ao pH, todas as amostras são classificadas como vasas neutras, excetuando uma única amostra na base da subunidade que é classificada como uma vasa subalcalina. O teor de água das amostras varia entre 47 e 52%, com tendência crescente em direção à superfície.

5.2.3. *Mouchão da Póvoa*

A sondagem realizada no sapal do Mouchão da Póvoa foi dividida em 4 unidades principais, sendo a Unidade III ainda subdividida em três subunidades: Subunidade IIIA, Subunidade IIIB e Subunidade IIIC (Figura 49).

Unidade I – base da sondagem até 382cm de profundidade. Trata-se de vasas ou vasas pouco arenosas, com percentagem de partículas grosseiras variável entre 3.1 e 11.6% (valor médio de 6.7%), decrescente para o topo da unidade. O teor de carbonato de cálcio varia entre 5 e 12% (valor médio de 7.7%) sendo as amostras classificadas como vasas pouco carbonatadas. Aos 402cm de profundidade encontra-se a amostra com maior teor de CaCO_3 da unidade (12%), resultante de bioclastos presentes neste nível. O teor de matéria orgânica das amostras da Unidade I é bastante homogéneo, variando entre 6.0 e 7.4%, com um valor médio de 6.8%. As amostras são por isso classificadas com tendo teores moderadamente altos e altos de matéria orgânica (com as primeiras a ocorrerem em maior número). O pH das amostras desta unidade é igualmente homogéneo, variando entre 7.2 e 7.4, com valor médio de 7.3 (vasas neutras), assim como o teor de água com valor mínimo de 41 e máximo de 44% (valor médio de 43%), indicando uma ligeira tendência crescente para o topo.

Unidade II – 382 a 321cm de profundidade. Nesta unidade verifica-se uma grande variação na percentagem de partículas grosseiras, com valores entre 6 e 56% (valor médio de 22%) - vasas pouco arenosas a areias vasosas, sendo os teores mais elevados encontrados entre os 356 e os 344cm de profundidade. O teor de carbonato de cálcio das amostras é muito variável, entre 2 e 9%, (valor médio de 5%) - vasas nada ou pouco carbonatadas e pouco carbonatadas. As amostras pouco carbonatadas são mais abundantes na base da unidade e as amostras nada ou pouco carbonatadas no topo da unidade, verificando-se uma tendência para a diminuição do teor de carbonato de cálcio para o topo da unidade. Existe uma relação inversa entre o teor de CaCO_3 e a percentagem de partículas grosseiras. O teor de matéria orgânica varia entre os 2 e os 7% (valor médio de 5%), sendo as amostras classificadas como apresentando teores médios a moderadamente elevados de matéria orgânica. Os teores médios de matéria orgânica correspondem às amostras mais grosseiras. O pH varia entre 7.2 e 7.7 (média de 7.5) sendo as amostras classificadas como neutras ou subalcalinas, estas últimas correspondendo às areias vasosas. O teor de água das amostras da Unidade II varia entre 25 e 44%, valor médio de 37%, correspondendo os valores mais baixos às areias vasosas.

Sedimentologia e morfodinâmica de sapais do estuário do Tejo em cenários de alteração climática

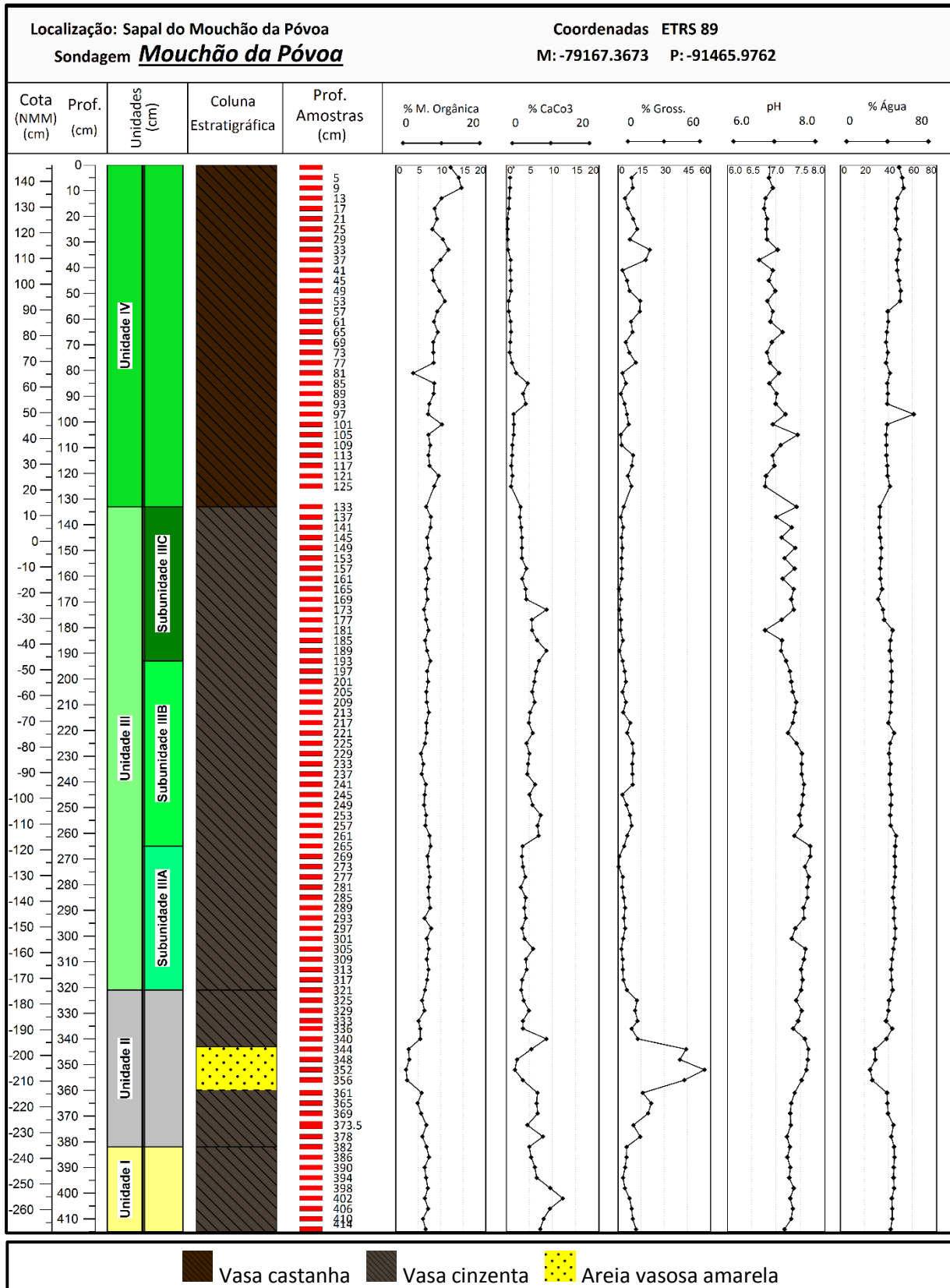


Figura 49 - Gráficos de variação das características sedimentológicas do sapal de Mouchão da Póvoa, das amostras estudadas e principais litologias nas unidades identificadas.

Unidade III – 321cm a 133cm de profundidade. Esta unidade encontra-se subdividida nas subunidades IIIA, IIIB e IIIC.

Subunidade IIIA – 321cm a 265cm de profundidade. A percentagem de partículas grosseiras apresenta um perfil bastante regular com valores que variam entre 0.3 e 4.5% (valor médio de 3.0%), sendo as amostras classificadas como vasas. O teor de CaCO_3 varia entre 3 e 6% (valor médio de 4.0%), classificando-se as amostras como nada ou pouco carbonatadas. A amostra aos 305cm de profundidade classifica-se como pouco carbonatada e corresponde à única variação de destaque no teor de CaCO_3 desta subunidade. O teor de matéria orgânica apresenta uma tendência crescente para o topo da subunidade, com valores a variarem entre 6 e 8% (valor médio de 7.2%), tendo as amostras do topo da subunidade teores de matéria orgânica altos e as amostras da base teores moderadamente altos. O pH varia entre 7.3 e 7.7, com um valor médio de 7.6. As amostras são por isso classificadas como vasas subalcalinas, exceto as amostras aos 301 e 297cm de profundidade, classificadas como vasas neutras. O teor de água varia ao longo desta subunidade entre 42 e 46% e tem como valor médio 44.3%, com valores crescentes para o topo.

Subunidade IIIB – 265cm a 193cm de profundidade. A percentagem de partículas grosseiras das amostras desta subunidade varia entre 3 e 10% (valor médio de 6%) – vasas e, principalmente, vasas pouco arenosas. Os teores de CaCO_3 variam entre 4 e 7% (valor médio de 5.8%) – amostras pouco carbonatadas e pouco ou nada carbonatadas. O teor de matéria orgânica das amostras desta subunidade é bastante monótono, variável entre 6 e 8% (valor médio é de 6.7%) - teores de matéria orgânica moderadamente altos e altos, sendo que as últimas ocorrem no topo da subunidade (tendência crescente do teor de matéria orgânica para o topo da subunidade). O pH das amostras varia entre 7.2 e 7.6 (média de 7.4), sendo as amostras classificadas como vasas subalcalinas, na base da subunidade, e neutras, no topo, denotando-se uma tendência decrescente do pH para o topo da subunidade. O teor de água mostra uma tendência decrescente para o topo da subunidade, variando entre 40 e 46% (média de 41.9%).

Subunidade IIIC – 193cm a 133cm de profundidade. A percentagem de partículas grosseiras desta subunidade varia entre 1 e 4% (com valor médio de 2.1%) – vasas. O teor de carbonato de cálcio varia entre 3 e 9% (com valores médio de 4.7%), sendo as amostras classificadas como pouco carbonatadas, na base da subunidade, e pouco ou nada carbonatadas no topo. Estes valores evidenciam uma tendência decrescente do teor de CaCO_3 das amostras para o topo da subunidade. O teor de matéria orgânica varia entre 6 e 8% (valor médio de 7.0%), classificando-se as amostras como apresentando valores moderadamente altos e altos de matéria orgânica. Quanto ao pH, as amostras classificam-se como neutras, com o pH a variar entre 6.7 e 7.4 (média de 7.2). O teor de água, com um valor mínimo de 31% e máximo de 43% (valor médio de 35.1%), apresenta um comportamento decrescente para o topo da subunidade.

Unidade IV – 133cm de profundidade até à superfície. Esta unidade destaca-se da anterior por apresentar variações mais importantes das características sedimentológicas. A percentagem de partículas grosseiras varia entre 2 e 21% (valor médio de 8.2%) - vasas e vasas pouco arenosas. Verifica-se uma tendência ligeira para o aumento da percentagem de partículas grosseiras das amostras para a superfície. O teor de carbonato de cálcio apresenta-se com uma tendência marcadamente decrescente para a superfície, ocorrendo entre os 93 e os 85cm de profundidade um pico de CaCO_3 . Ainda assim, todas as amostras são classificadas como nada ou pouco carbonatadas, apresentando variações entre 0.3 e 4.6% (valor médio de 1.3%). Este comportamento decorre de uma menor concentração de bioclastos neste

intervalo. As amostras têm teores de matéria orgânica altos, que variam entre 4 e 15%, com um valor médio de 9.1%, e tendência crescente para o topo. A amostra aos 81cm de profundidade, com um teor de matéria orgânica médio (4%) é uma exceção nesta unidade. O pH medido nas amostras da Unidade IV varia entre 6.7 e 7.4, com um valor médio de 6.9, sendo as amostras classificadas como vasas neutras. Verifica-se uma ligeira tendência para o decréscimo do pH para a superfície. O teor de água aumenta substancialmente para o topo da unidade, com teores a variarem entre 32 e 60%. Os 53cm de profundidade parecem marcar um limite neste parâmetro, uma vez que as amostras acima e abaixo apresentam valores médios de teor de água que diferem em cerca de 10% (40% abaixo e 49% acima), provavelmente relacionado com o teor de matéria orgânica.

5.2.4. *Trancão*

A sondagem realizada no sapal do Trancão foi analisada quanto às suas características sedimentológicas e os resultados foram projetados em função da profundidade (Figura 50). Da análise dos dados resultantes, foi possível distinguir 3 unidades.

Unidade I – 438cm até 293cm de profundidade. Trata-se de vasas e vasas pouco arenosas com percentagens de partículas grosseiras variáveis entre 1 e 16% (valor médio de 5.3%). As amostras mais grosseiras ocupam a base da unidade. O teor de CaCO_3 varia entre 2.5 e 4.7% (valor médio de 3.1%) - vasas pouco carbonatadas. O teor de matéria orgânica é moderadamente alto, variando entre 4.5 e 7.5% (valor médio de 6.0%). Algumas amostras apresentam-se como exceções e têm teores de matéria orgânica considerados altos.

Unidade II – 293cm a 121cm de profundidade. Trata-se de vasas com valor médio de 2.5% de partículas grosseiras, variando entre 0.5% e 5.4%. As amostras aos 241 e 233cm de profundidade classificam-se como vasas pouco arenosas, consistindo as únicas exceções. Quanto ao teor de carbonato de cálcio, este varia entre 2 e 6% (valor médio de 4.3%) – vasas nada ou pouco carbonatadas. Verifica-se no entanto a ocorrência de amostras com teores de CaCO_3 mais elevados (vasas pouco carbonatadas), entre os 269 e os 217cm de profundidade. Nesta unidade o teor de matéria orgânica é moderado, variando entre 2 e 9% (valor médio de 7.0%). Excetua-se a amostra aos 141cm de profundidade com um teor baixo (1.8%). As amostras com teores moderadamente altos concentram-se na base da unidade e as amostras com teores altos ocupam o topo da unidade.

Unidade III – 121cm de profundidade até à superfície. Trata-se de vasas e vasas pouco arenosas com percentagem de partículas grosseiras variável entre 0.1 e 15.9% (valor médio de 2.9%). As vasas pouco arenosas estão presentes no troço de sondagem acima dos 21cm de profundidade. Quanto ao teor de carbonato de cálcio, varia entre 0.0 e 9.2% (valor médio de 3.1%). Acima dos 17cm de profundidade, as amostras da Unidade III apresentam teores de carbonato de cálcio de 0%. As amostras classificam-se como nada ou pouco carbonatadas, com algumas amostras a serem classificadas como pouco carbonatadas. No que respeita ao teor de matéria orgânica, verifica-se um aumento significativo na transição entre a Unidade II e III. Na unidade III o teor de matéria orgânica das amostras varia entre 7 e 24%, com um valor médio de 12%. Deste modo as amostras são classificadas como tendo teores altos a muito altos, estando a maioria das amostras com teores muito altos de matéria orgânica próximas da superfície.

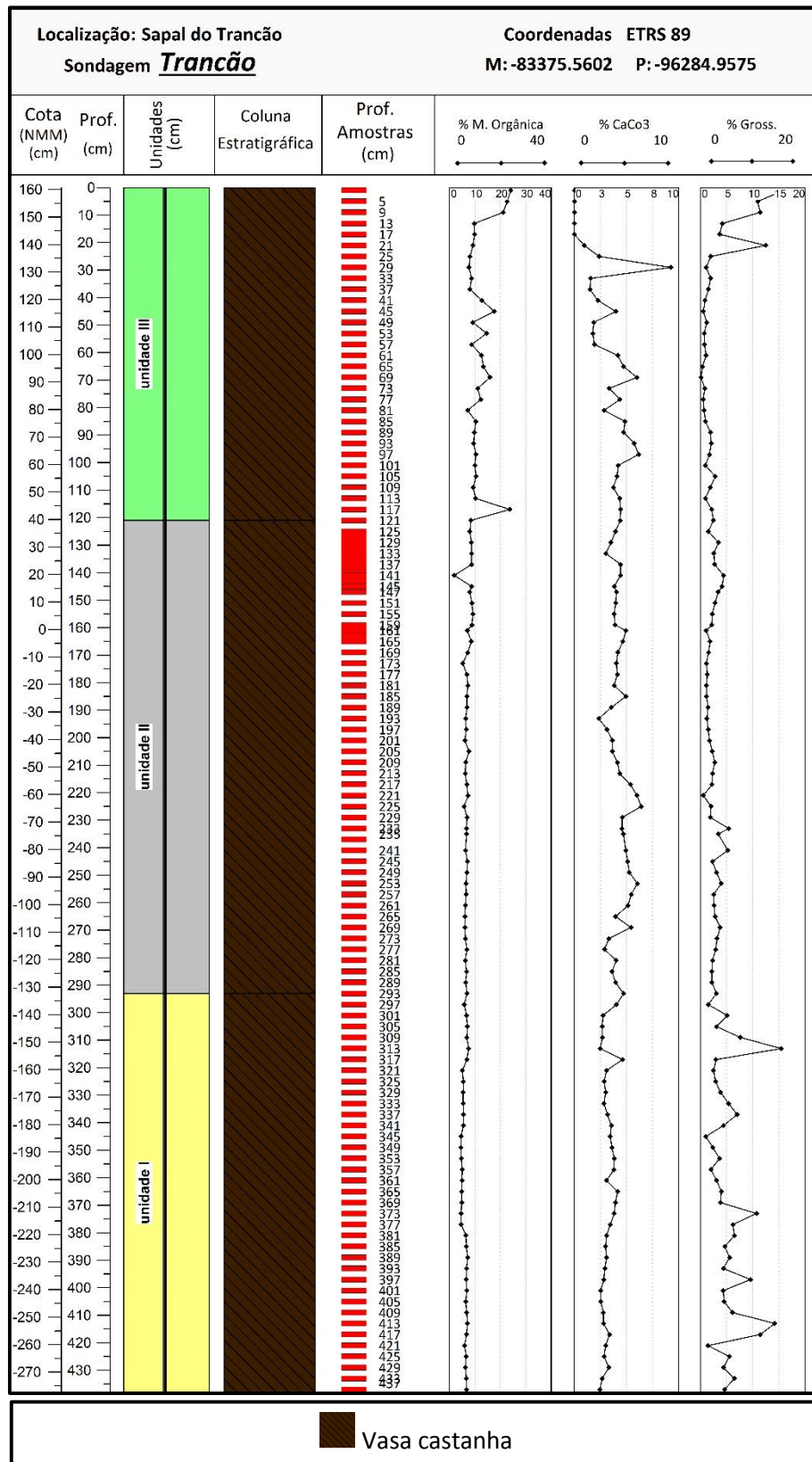


Figura 50 - Gráficos de variação das características sedimentológicas do sapal do Trancão, das amostras estudadas e principais litologias nas unidades identificadas.

5.3. Datações e taxas de sedimentação

5.3.1. Corroios

A Tabela 6 corresponde aos resultados da datação por ^{14}C (AMS) da amostra “Seixal Africa 2 #8 293-294”, recolhida a uma profundidade próxima à base da sondagem mais longa efetuada em Corroios. A datação indica que a amostra deixou de incorporar radiocarbono há 1720-1870 anos antes do presente (1950). Ou seja o material da base da sondagem de Corroios teria sido depositado entre 80 e 240 E.C. (séc. I a séc. III E.C.).

Tabela 6 - Datação por ^{14}C (AMS) da amostra do sapal de Corroios à profundidade 293-294cm de profundidade.

Profundidade	Material Datado	Idade Radiocarbono Medida	$^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$	Idade radiocarbono convencional	Calibração 2 Sigma
293-294 cm	Sedimento Orgânico	1830 +/- 30 BP	-22.9 ‰	1860 +/- 30 BP	Cal AD 80 a 240 (Cal BP 1870 a 1720)

De acordo com o tempo decorrido desde a deposição deste material e com a profundidade a que se encontra (293cm), pode ser estabelecida uma taxa de sedimentação média de 0.15 cm/ano.

As taxas de sedimentação determinadas a partir da análise de ^{210}Pb e ^{137}Cs mostram alguma variabilidade. Esta variabilidade decorreu da quebra na atividade do ^{210}Pb nas amostras do topo. Assim, foram aplicados diferentes métodos de análise, ajustando retas de regressão exponencial à atividade de ^{210}Pb usando todos os dados, todos os dados normalizados para $^{232-228}\text{Th}$ e apenas as amostras abaixo dos 10cm de profundidade (Figura 51). As taxas de sedimentação obtidas variam entre os 0.6 e 0.9 cm/ano.

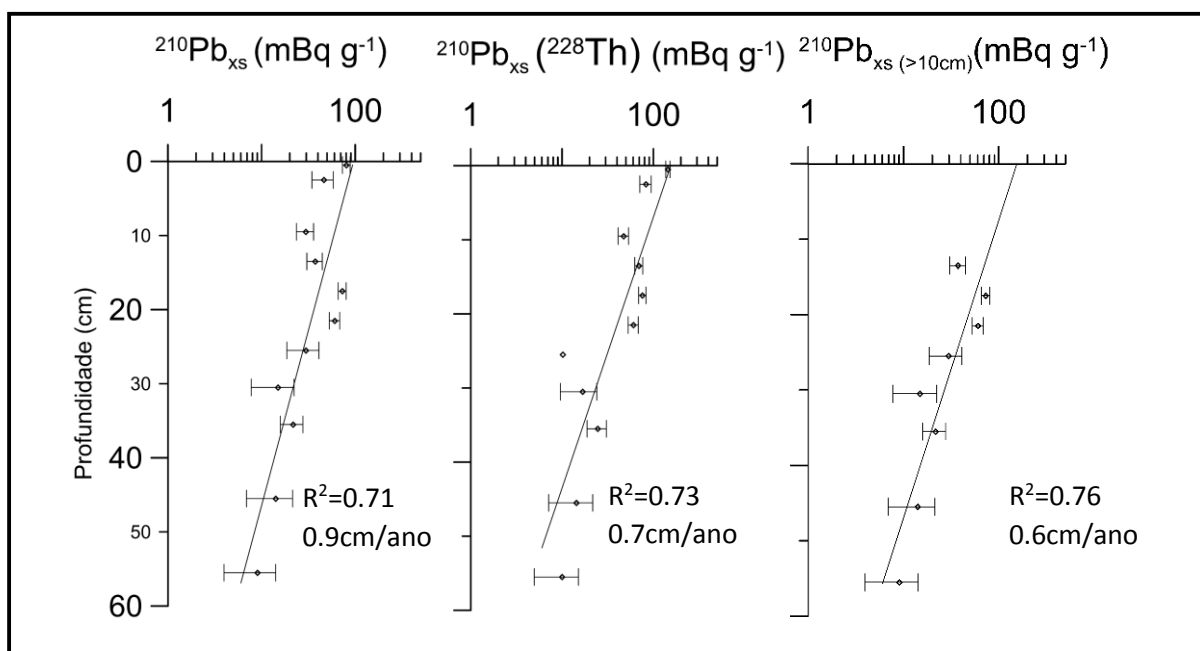


Figura 51 - Perfis de atividade de ^{210}Pb no sapal de Corroios. À esquerda o perfil de atividade de ^{210}Pb em excesso, ao centro o perfil de atividade de ^{210}Pb normalizado segundo ^{228}Th e à direita o perfil de atividade de ^{210}Pb apenas com as amostras abaixo de 10cm profundidade.

Observando o gráfico da atividade de ^{137}Cs (Figura 52) e considerando o máximo de atividade aos 21.5cm como sendo o ano de 1963 e o início de atividade aos 30.5cm como sendo 1954, foram calculadas taxas de sedimentação de 0.45cm/ano e 0.54cm/ano, respetivamente. Estes dados são compatíveis com as taxas mais baixas calculadas a partir do ^{210}Pb .

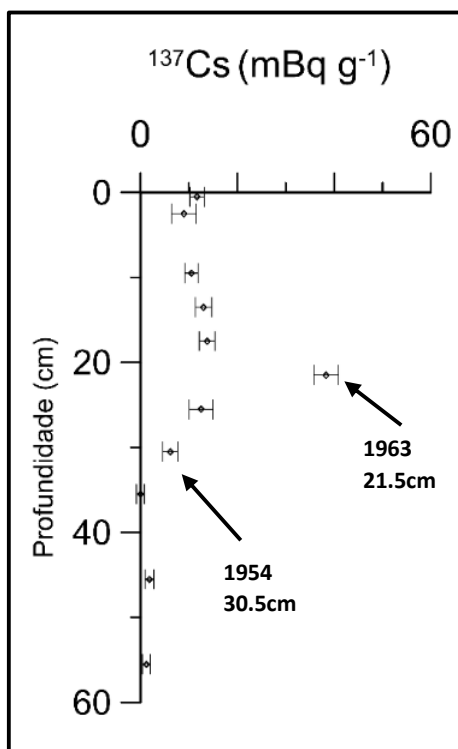


Figura 52 - Perfil de atividade de ^{137}Cs no sapal de Corroios.

5.3.2. Pancas

Da datação por ^{14}C (AMS) da amostra “Pancas S1 #8 316-317”, retirada da base da sondagem, resultaram os dados da Tabela 7.

Tabela 7 - Datação por ^{14}C (AMS) da amostra do sapal de Pancas recolhida à profundidade de 316-317cm.

Profundidade	Material Datado	Idade Radiocarbono Medida	$^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$	Idade radiocarbono convencional	Calibração 2 Sigma
316-317 cm	Sedimento Orgânico	1470 +/- 30 BP	-26.0 ‰	1450 +/- 30 BP	Cal AD 560 a 650 (Cal BP 1390 a 1300)

Esta datação indica que a amostra deixou de incorporar radiocarbono há cerca de 1450 anos (+/- 30) antes do presente (1950). Deste modo, o material da base da sondagem de Pancas teria sido depositado entre 560 e 650 A.D. (séc. VI – séc. VII E.C.). Tendo por base esta datação, deriva-se uma sedimentação média para toda a sondagem de Pancas de 0.22 cm/ano, durante os últimos 1300-1400 anos, superior à obtida em Corroios.

Da análise da atividade dos isótopos de ^{210}Pb e ^{137}Cs foram determinadas, para o sapal de Pancas, taxas de sedimentação bastante superiores àquelas determinadas por datação por ^{14}C . Projetando a atividade do ^{210}Pb em excesso das amostras ao longo da sondagem (Figura 53) e aplicando uma regressão

exponencial, determinou-se uma taxa de sedimentação de 2.2cm/ano. A partir do perfil de atividade de ^{137}Cs das amostras ao longo da sondagem (Figura 53), verificou-se que o horizonte aos 100cm de profundidade apresenta as amostras com maior atividade de ^{137}Cs e por isso foi correlacionado com o ano de 1963. O início da atividade de ^{137}Cs , aos 120.5cm de profundidade, foi correlacionado com o ano de 1954. Com os dados resultantes da análise de ^{137}Cs calculou-se uma taxa de sedimentação de 2.08cm/ano com o ano de 1963 e de 2.11cm/ano com o ano de 1954, podendo considerar-se um valor médio de 2.1cm/ano. Estes dados validam a taxa de sedimentação calculada a partir da análise de ^{210}Pb .

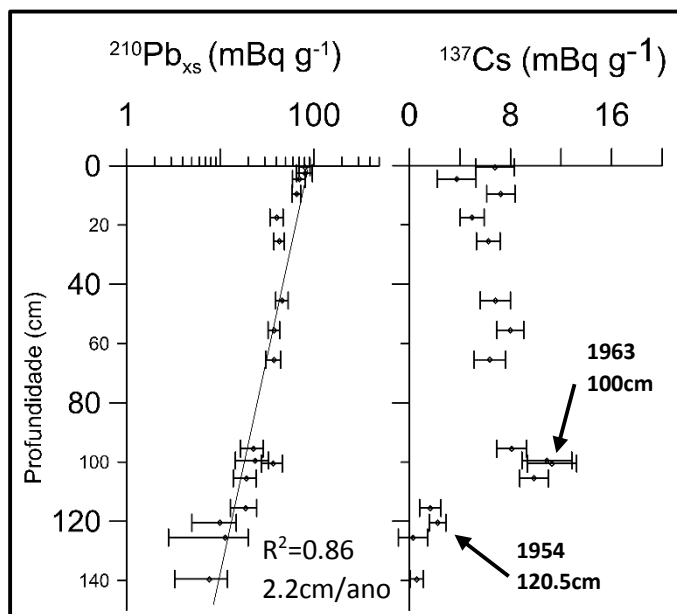


Figura 53 - Perfis de atividade de ^{210}Pb em excesso e de ^{137}Cs no sapal de Pancas.

5.3.3. Mouchão da Póvoa

Foi realizada uma datação por radiocarbono (AMS) na base da sondagem efetuada no sapal do Mouchão da Póvoa. Essa datação indica que o sedimento da base do sapal (413-415cm de profundidade) foi depositado há 1290-1360 anos cal BP (600 a 660 A.D. – séc. VII E.C.) (Tabela 8), resultando numa taxa de sedimentação de 0.29 cm/ano.

Tabela 8 - Datação da amostra do sapal do Mouchão da Póvoa a 413-415cm de profundidade através de radiocarbono (AMS).

Profundidade	Material Datado	Idade Radiocarbono Medida	$^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$	Idade radiocarbono convencional	Calibração 2 Sigma
413-415cm	Sedimento Orgânico	1430 +/- 30 BP	-25.7 ‰	1420 +/- 30 BP	Cal AD 600 a 660 (Cal BP 1360 a 1290)

A determinação das taxas de sedimentação através da atividade de ^{210}Pb e de ^{137}Cs foi realizada em ambas nas sondagens recolhidas no alto sapal e no raso de maré.

Na sondagem efetuada no alto sapal, os resultados da aplicação dos diferentes modelos de análise (todos os dados, normalização das amostras a ^{228}Th e amostras abaixo dos 5cm de profundidade) (Figura 54) apontam para uma taxa de sedimentação variável entre 1.41 e 1.55 cm/ano.

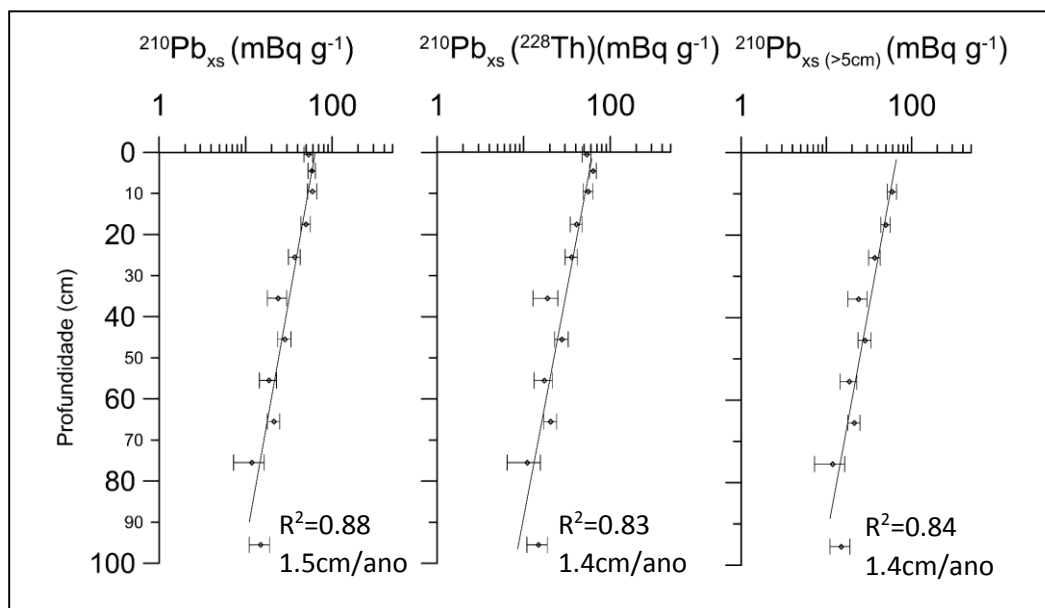


Figura 54 - Perfis de atividade de ^{210}Pb em excesso no sapal do Mouchão da Póvoa. À direita o perfil de atividade de ^{210}Pb em excesso, ao centro o perfil de atividade de ^{210}Pb normalizado segundo ^{228}Th , à direita o perfil de atividade das amostras abaixo dos 5cm de profundidade.

Considerando o aparecimento de ^{137}Cs aos 75.5cm como o ano de 1954 e o pico de produção em 1963 aos 55.5cm de profundidade, os dados (Figura 55) parecem apontar para uma taxa de sedimentação de 1.3cm/ano de acordo com o aparecimento do isótopo e 1.2cm/ano de acordo com o pico de 1963 no sapal do Mouchão da Póvoa.

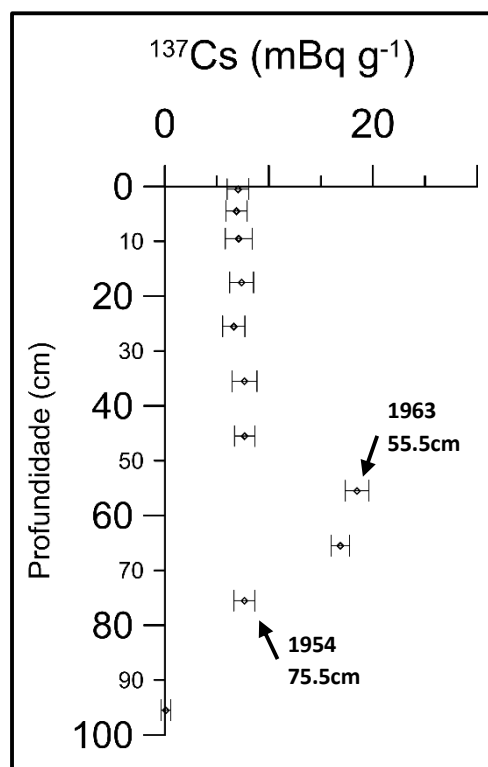


Figura 55 - Perfil de atividade de ^{137}Cs no sapal do Mouchão da Póvoa.

Já os dados de ^{210}Pb obtidos na sondagem do raso de maré (Figura 56) indicam taxas de sedimentação de 0.30cm/ano.

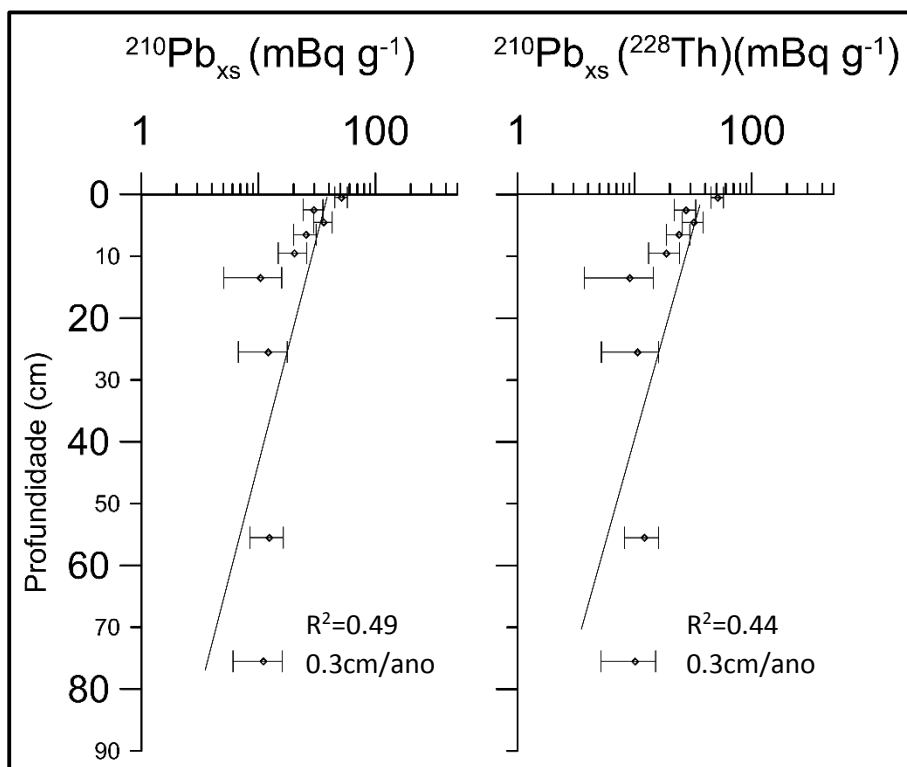


Figura 56 - Perfis de atividade de ^{210}Pb em excesso no raso de maré do Mouchão da Póvoa. À esquerda o perfil de atividade de ^{210}Pb em excesso e à esquerda o perfil de atividade de ^{210}Pb em excesso normalizado segundo ^{228}Th .

Quanto à atividade de ^{137}Cs (Figura 57), verifica-se que no raso de maré do Mouchão da Póvoa o máximo de atividade ocorre na camada superficial da sondagem.

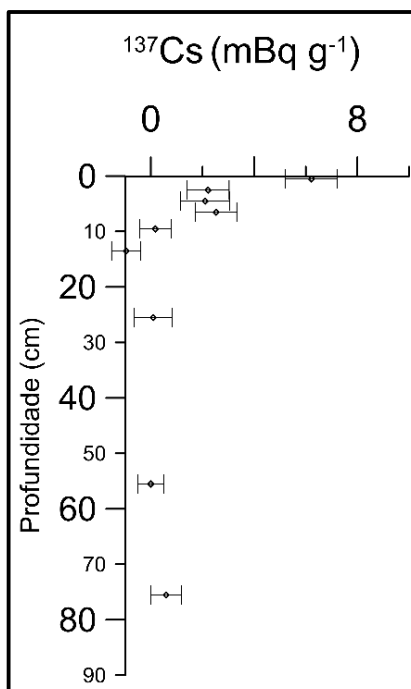


Figura 57 - Perfil de atividade de ^{137}Cs no raso de maré adjacente ao sapal do Mouchão da Póvoa.

5.3.4. Trancão

Os resultados das datações por radiocarbono (AMS) no sapal Trancão não correspondem ao que seria esperado (Tabela 9). A datação da base da sondagem (4.38-4.40 m de profundidade) indica uma idade de 18810 anos BP. Esta data corresponde ao último máximo glacial (22330 Cal BP) e o nível médio do mar estaria 120m abaixo do atual. O local da sondagem corresponderia provavelmente a uma margem de canal fluvial e não a um ambiente intertidal. Realizou-se uma outra datação perto da base da sondagem (4.10-4.12m de profundidade) e essa apresenta uma idade entre 1060 e 930 anos Cal BP. A diferença de idades poderia resultar de um horizonte erosivo entre as duas datações. No entanto, na zona mais superficial da sondagem, as datações aparecem invertidas. A amostra colhida a 0.92-0.94m é datada de 1540 a 1370 anos Cal BP e a amostra colhida a 1.98-2.00m data de 1290 a 1140 anos Cal BP. Temos, pois, uma sequência de datações invertida, com amostras mais antigas à superfície (à exceção da amostras da base). Esta ocorrência não foi ainda explicada, mas a contaminação devido a depósitos de hidrocarbonetos na proximidade do sapal ou a remobilização de material lodoso mais antigo podem ser explicações plausíveis.

Tabela 9 - Resultados das datações por ^{14}C realizadas no sapal do Trancão.

Profundidade	Material Datado	Idade Radiocarbono Medida	$^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$	Idade radiocarbono convencional	Calibração 2 Sigma
92-94cm	Sedimento Orgânico	1570 +/- 40 BP	-25.0 ‰	1570 +/- 40 BP	Cal AD 410 a 580 (Cal BP 1540 a 1370)
198-200cm	Sedimento Orgânico	1290 +/- 40 BP	-25.7 ‰	1280 +/- 40 BP	Cal AD 660 a 810 (Cal BP 1290 a 1140)
410-412cm	Sedimento Orgânico	1100 +/- 40 BP	-26.1 ‰	1080 +/- 40 BP	Cal AD 890 a 1020 (Cal BP 1060 a 930)
438-440cm	Sedimento Orgânico	18820 +/- 80 BP	-25.7 ‰	18810 +/- 80 BP	Cal AD 20520 a 20280 (Cal BP 22470 a 22230)

A taxa de sedimentação determinada através dos 2 perfis de atividade de ^{210}Pb em excesso (Figura 58) é bastante consistente, variando entre 0.71 e 0.65cm/ano.

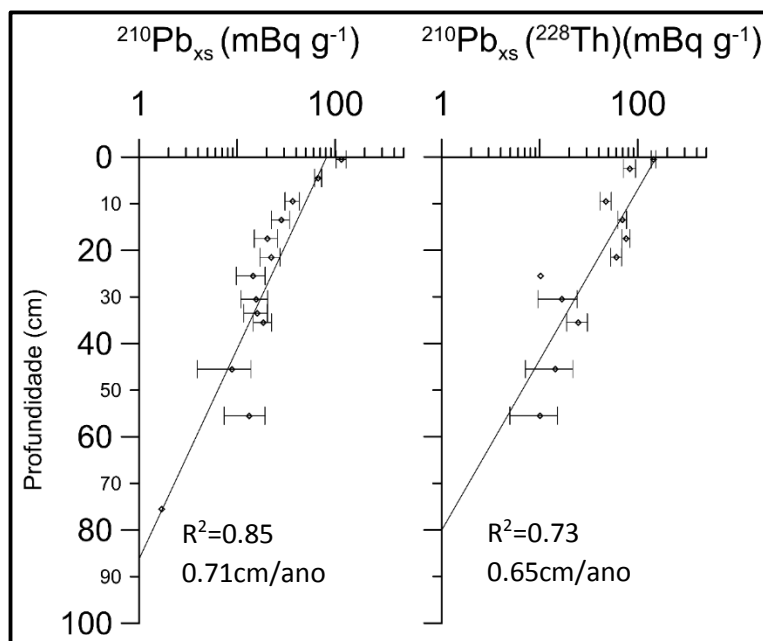


Figura 58 - Perfis de atividade de ^{210}Pb em excesso nas amostras do sapal do Trancão. À esquerda o perfil de atividade de ^{210}Pb em excesso com todas as amostras estudadas e à esquerda o perfil de atividade de ^{210}Pb em excesso normalizado segundo ^{228}Th .

No que respeita ao perfil de atividade de ^{137}Cs (Figura 59), verifica-se que o máximo de atividade deste radionuclídeo está a apenas 17.5cm de profundidade. Se esse máximo fosse resultante dos ensaios termonucleares em 1963, a taxa de sedimentação inferida seria de cerca de 0.36cm/ano, valor relativamente baixo comparativamente com os dados obtidos com o ^{210}Pb . No entanto, esta profundidade é consistente com o ano de 1986. Em 1986 ocorreu o desastre nuclear de Chernobyl, embora este evento não ocorra em todos os registos sedimentares na europa, e não ocorra em mais nenhum dos sapais do Tejo aqui estudados, feitos os cálculos assumindo este evento determinou-se uma taxa de 0.7cm/ano para o sapal do Trancão. Essa taxa é compatível com as taxas derivadas da análise de ^{210}Pb . O início de atividade de ^{137}Cs no sapal do Trancão parece estar a uma profundidade a rondar os 28.5cm. A taxa de sedimentação determinada a partir desse limite é de 0.5cm/ano, o que parece corroborar os resultados anteriores.

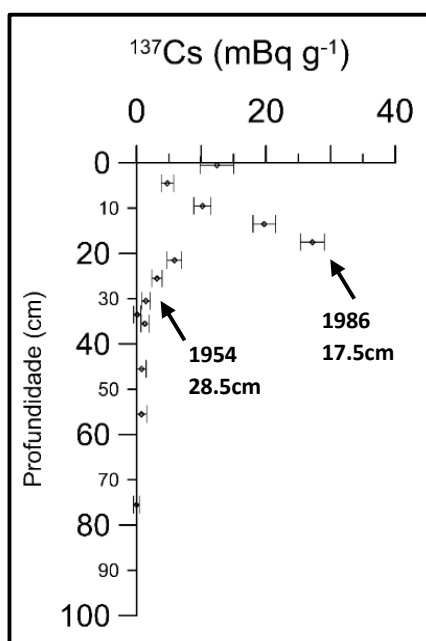


Figura 59 - Perfil de atividade de ^{137}Cs no sapal do Trancão.

5.4. Fotografia aérea

A fotografia aérea de 1958 na zona intermédia do sapal de Pancas foi georreferenciada a partir de 10 pontos e aplicando um ajuste polinomial de 1º ordem (erro quadrático de 3.85m).

Posteriormente foi delimitado um troço do sapal de Pancas com cerca de 400m, composto não só por uma zona de frente contínua como por diversas manchas de sapal destacadas, principalmente a norte. Para simplificar a medição da progradação da frente do sapal de Pancas, foi apenas comparada a zona sul do limite marcado (Figura 60), uma vez que a zona norte apresentava já algumas manchas de sapal destacadas. Essas manchas foram incorporadas na frente de sapal (verificando-se ainda a morfologia de algumas dessas manchas na frente de sapal em 2007) mas o seu avanço seria considerado mais reduzido e por isso iria enviesar o cálculo do avanço da frente de sapal.

A delimitação da frente do sapal de Pancas em 2007 foi adaptada do trabalho realizado por Mendes *et al.* (2012). A frente do sapal de Pancas em 2007 apresenta-se bem desenvolvida, com uma frente contínua e apenas algumas manchas de sapal destacadas (Figura 60).

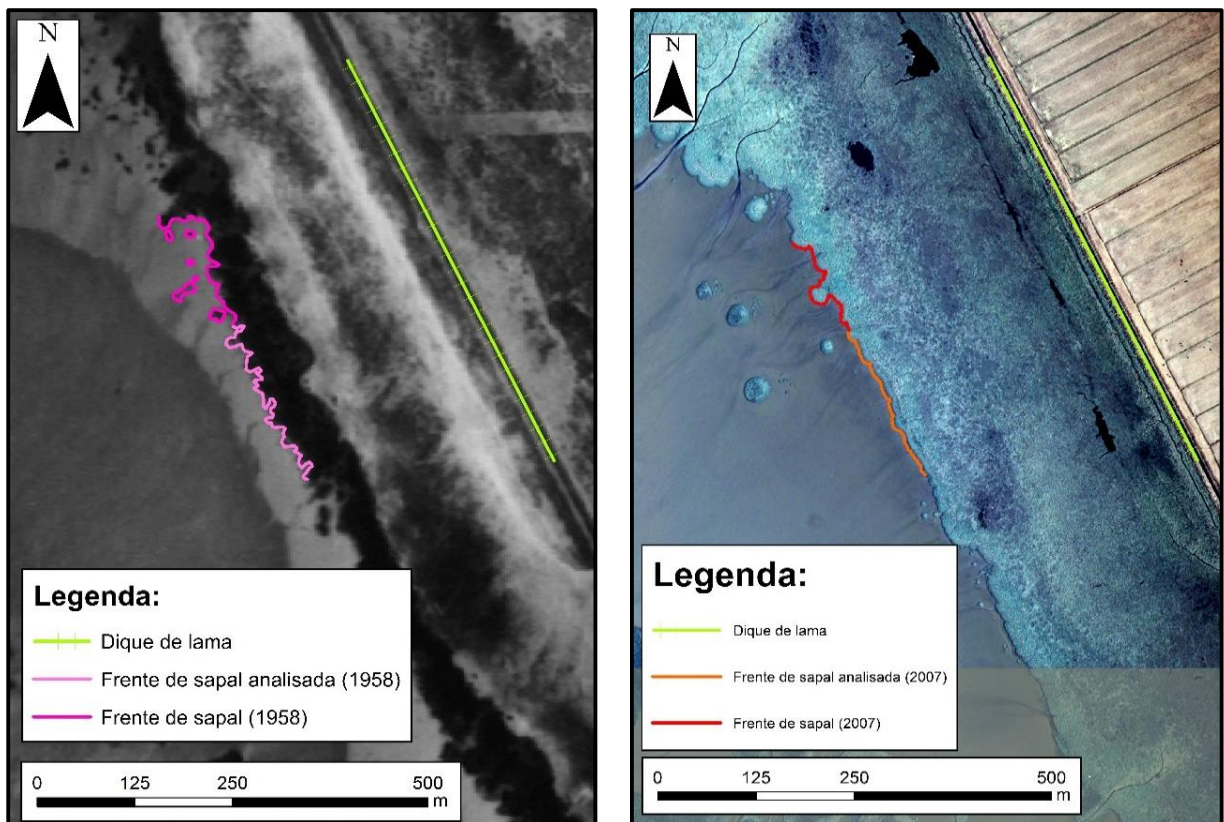


Figura 60 - À direita: Fotografia aérea da zona central do sapal de Pancas datada de 1958. Delimitação do dique de lama e da frente de sapal à data. À esquerda: Aerofotomapa da zona central do sapal de Pancas datada de 2007. Delimitação do dique de lama e da frente de sapal à data.

A comparação da frente do sapal de Pancas entre 1958 e 2007 aponta para um avanço médio de 25.8m, indicando uma taxa de avanço de cerca de 0.53m/ano (Figura 61). As áreas onde anteriormente ocorriam manchas de sapal destacadas provocam um avanço maior da frente de sapal devido à coalescência das manchas. Esse avanço não corresponde ao comportamento geral da frente de sapal e por isso não foi considerado para o cálculo do avanço da frente de sapal entre 1958 e 2007.

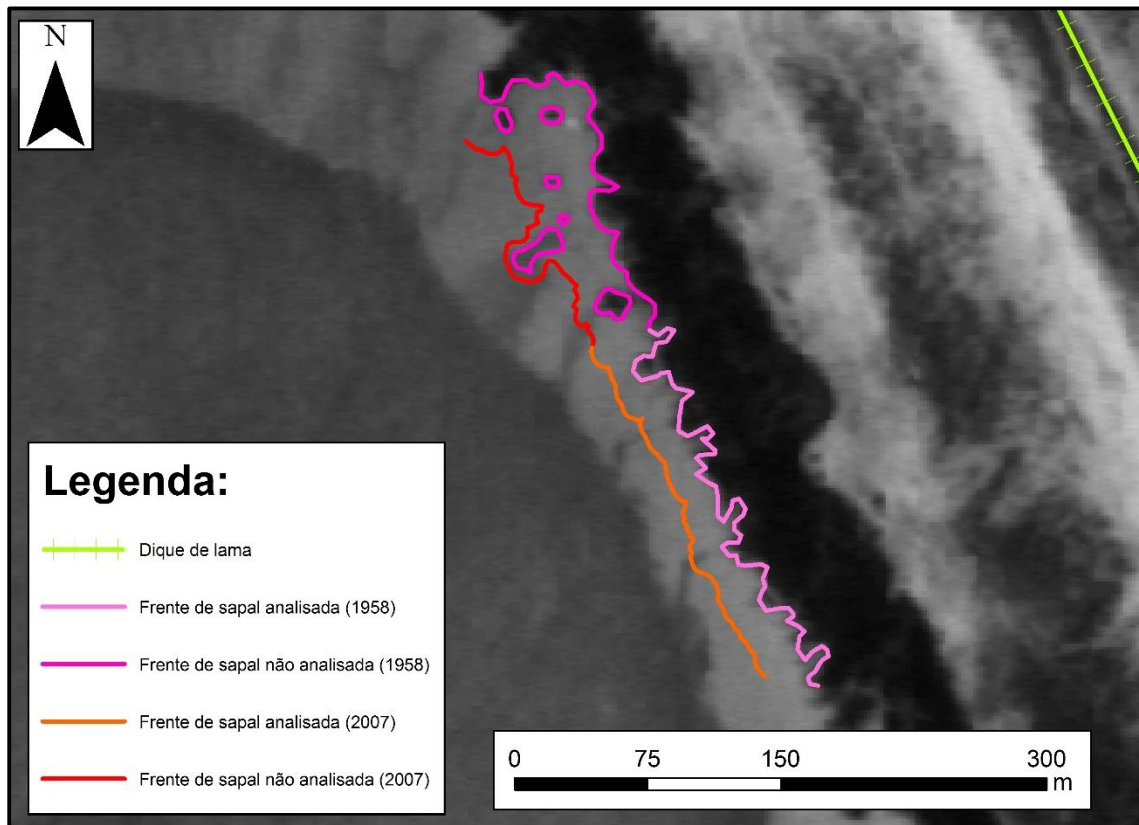


Figura 61 - Projeção das frentes de sapal delineadas para 1958 e 2007 sobre a fotografia aérea da zona central do sapal de Pancas de 1958.

6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

6.1. Sedimentologia

Embora os registos sedimentares dos sapais estudados apresentem diferentes valores absolutos dos parâmetros texturais e composicionais, a tendência geral de variação ao longo da coluna é semelhante e ocorre na mesma sequência em cada uma das sondagens (Tabela 10). Verificou-se que os sapais estudados apresentam 3 unidades litoestratigráficas equivalentes (Figura 62).

Tabela 10 - Médias e intervalos de valores dos parâmetros sedimentológicos das sondagens realizadas em cada um dos sapais.

Unidade		IV		III		II		I	
		Média	Intervalo	Média	Intervalo	Média	Intervalo	Média	Intervalo
Teor de CaCO ₃ (%)	Corroios			0.21	0.00 - 1.37	3.91	1.60 - 8.41	10.96	2.84 - 35.22
	Pancas	2.78	1.48 - 4.25	5.07	3.26 - 8.58	10.95	3.95 - 27.87	7.19	4.87 - 10.99
	M. Póvoa	1.25	0.27 - 4.62	4.87	2.93 - 8.70	4.88	1.85 - 8.65	7.73	4.95 - 12.81
	Trancão			3.16	0.00 - 9.23	4.30	2.33 - 6.41	3.20	2.45 - 4.71
Teor de matéria orgânica (%)	Corroios			9.74	7.02 - 17.40	6.50	4.68 - 8.27	6.15	0.86 - 9.58
	Pancas	7.65	5.61 - 11.26	7.79	6.42 - 8.36	6.76	6.20 - 7.57	6.79	5.83 - 7.72
	M. Póvoa	9.11	3.87 - 14.57	6.96	5.62 - 7.86	4.95	2.29 - 6.78	6.75	6.01 - 7.41
	Trancão			12.26	7.15 - 24.09	6.96	1.83 - 9.18	5.98	4.51 - 7.53
Percentagem de part. Grosseiras (%)	Corroios			17.43	7.95 - 36.01	4.51	1.24 - 11.18	25.59	3.09 - 86.28
	Pancas	4.90	1.46 - 10.06	2.20	1.09 - 5.96	7.27	1.45 - 17.29	2.85	1.04 - 9.39
	M. Póvoa	8.2	1.60 - 20.60	3.98	0.33 - 9.91	21.79	5.63 - 56.02	6.66	3.07 - 11.60
	Trancão			2.93	0.10 - 15.94	2.46	0.53 - 5.43	5.27	0.98 - 15.45
pH	Corroios			6.63	5.99 - 7.07	7.00	6.80 - 7.44	7.23	6.96 - 7.58
	Pancas	7.30	6.89 - 7.79	7.50	7.23 - 7.75	7.36	7.25 - 7.60	7.09	6.96 - 7.26
	M. Póvoa	6.92	6.65 - 7.44	7.39	6.77 - 7.70	7.45	7.22 - 7.66	7.28	7.17 - 7.36
Teor de água (%)	Corroios			54.18	49.34 - 62.15	45.08	40.39 - 51.50	37.03	15.35 - 45.94
	Pancas	48.82	40.66 - 55.09	43.64	41.04 - 47.57	43.96	41.75 - 48.60	44.05	40.46 - 46.44
	M. Póvoa	43.85	37.81 - 60.87	40.47	31.25 - 46.14	36.95	24.55 - 43.68	43.65	41.67 - 44.89

Assim, temos que os sapais estudados são compostos na base por uma unidade (C) que apresenta sedimentos mais grosseiros (ocorrendo por vezes areias), com teores de CaCO₃ mais elevados e teor de matéria orgânica relativamente baixo. As amostras mostram ainda pH neutro ou subalcalino e teor de água baixo, quando comparado com as unidades subsequentes.

A unidade intermédia (B) é composta por sedimentos finos (geralmente siltes e argilas) e teores de CaCO₃ mais baixos que na unidade anterior. O teor de matéria orgânica é geralmente bastante monótono nesta unidade, com variações muito pouco significativas, embora possa apresentar uma tendência crescente para o topo da unidade. Por vezes verifica-se um aumento da granulometria dos sedimentos que compõem esta unidade, aumento esse ligado a zonas com maior teor de CaCO₃, indicando que esse aumento estará relacionado com a presença de fragmentos de conchas de bivalves ou gastrópodes. O pH das amostras mantém-se neutro e o teor de água tende a mostrar um aumento progressivo para o topo da unidade.

No topo das sondagens surge a unidade (A), caracterizada por apresentar teores de matéria orgânica muito elevados em relação às outras unidades. Embora a percentagem de partículas grosseiras desta unidade apresente um aumento em relação à unidade anterior, verificou-se que isto resulta da presença de fibras vegetais neste troço da sondagem. O teor de CaCO_3 das amostras sofre também uma diminuição muito significativa, podendo ser virtualmente zero.

As características destas unidades correspondem a diferentes ambientes de deposição. A Unidade C, que ocupa a base das sondagens, parece corresponder, devido à maior granulometria dos sedimentos, ao maior teor de carbonato de cálcio (derivado de um maior número de fragmentos de conchas, alguma das quais inteiras e em posição e vida) e ao menor teor de matéria orgânica, a um ambiente intertidal de maior hidrodinamismo e quase sempre submerso. Os rasos de maré arenosos, que ocorrem até ao nível de BMAV, apresentam estas características (Gao, 2009; Woodroffe, 2003).

A Unidade B, que ocupa a zona intermédia das sondagens e apresenta sedimentos mais finos, teores de carbonato de cálcio indicativos da colonização por alguns gastrópodes e bivalves e teores de matéria orgânica relativamente baixos e regulares, corresponderá a um ambiente de menor hidrodinamismo e menor tempo de submersão durante um ciclo de maré. A monotonia das variações dos seus parâmetros sedimentológicos é também indicativa de uma sedimentação em ambiente pouco perturbado. Os rasos de maré lodosos, que se desenvolvem entre os níveis de BMAV e de PMAM (Gao, 2009; Woodroffe, 2003), apresentam características hidrodinâmicas concordantes com o descrito, e são também reconhecidos pela deposição não perturbada de sedimentos vasosos. Deste modo, a Unidade B distinguida nas sondagens efetuadas no estuário do Tejo, poderá corresponder a um raso de maré lodoso.

A Unidade A apresenta teores de matéria orgânica mais elevados que as restantes unidades e uma clara tendência do seu aumento para o topo da unidade. Também a diminuição do teor de CaCO_3 é indicativa de um ambiente inundado pelas marés durante períodos de tempo menores. Foram ainda descritos nas zonas superficiais de todas as sondagens perturbações provocadas por bioturbação, resultantes da instalação de raízes de plantas e organismos endobentónicos. As características sedimentológicas da Unidade A são concordantes com as descritas para ambientes de sapal (Allen, 2000; Davis Jr e Fitzgerald, 2004; Woodroffe, 2003).

Aplicando os limites de maré, PM, PMAM e BMAV (Figura 62), que teoricamente dividem os ambientes da zona intertidal, verifica-se uma concordância razoável com os limites traçados para as unidades litoestratigráficas A, B e C.

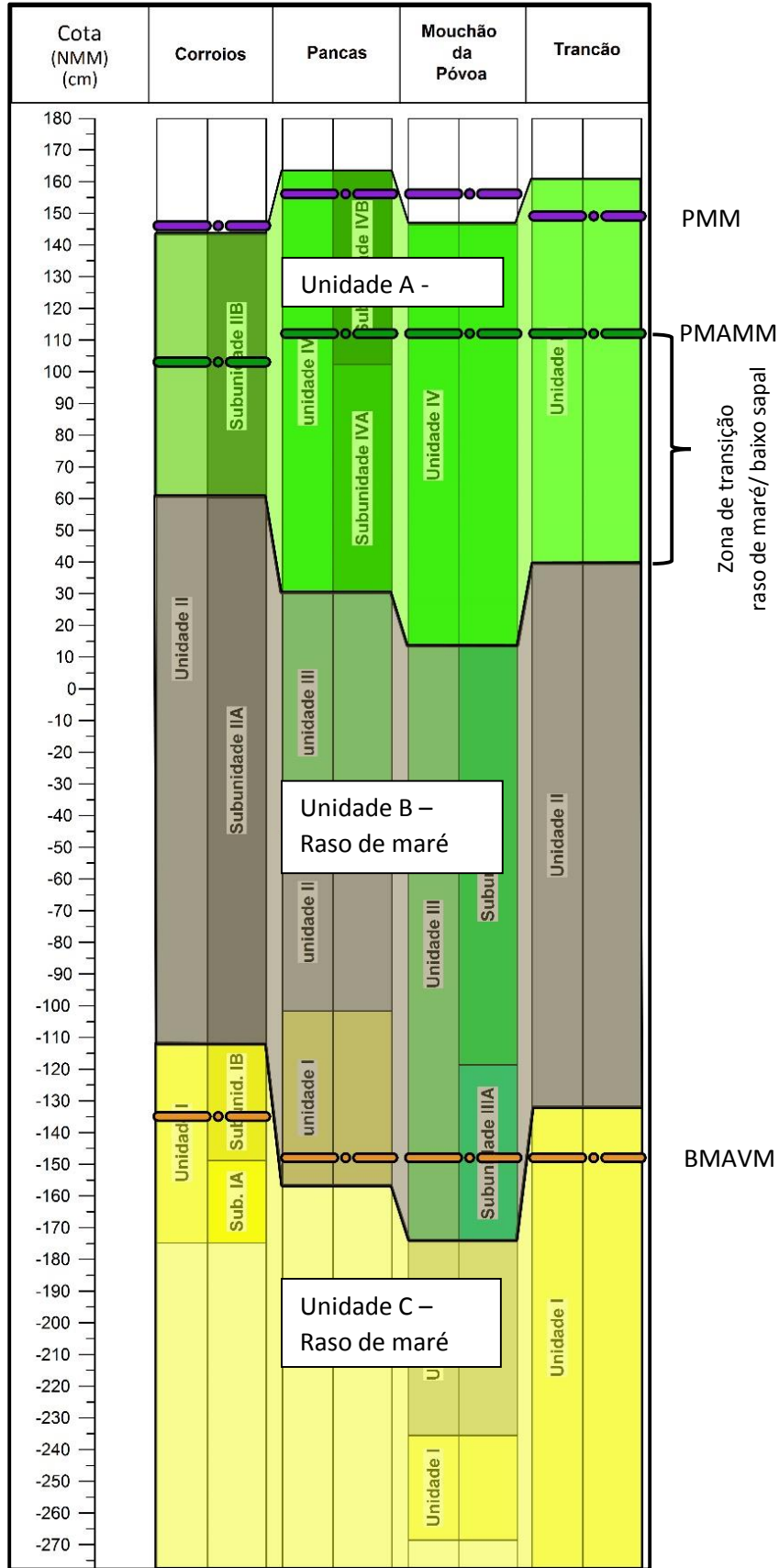


Figura 62 - Posição relativa entre as unidades litoestratigráficas identificadas nos sapais estudados e os níveis de maré (PMM - laranja, PMAMM - verde e BMAVM - amarelo) que definem a extensão dos ambientes intertidais.

Verifica-se que o limite teórico entre o raso de maré lodoso e o baixo sapal, PMAM, se encontra acima do limite traçado para a Unidade B. O limite entre as unidades B e A foi estabelecido devido a diferenças nos seus parâmetros sedimentológicos, nomeadamente a diminuição bastante marcada do teor de carbonato de cálcio e o aumento progressivo do teor de matéria orgânica das amostras (principalmente as mais próximas da superfície). A diferença entre o limite teórico do baixo sapal/raso de maré e o limite entre as unidades B e A parece resultar da existência de uma zona de transição entre estes ambientes. Nessa zona, o tempo de submersão da superfície do raso de maré é já bastante diminuto para que os moluscos aí habitem mas ainda é demasiado elevado para que as plantas halófitas comecem a colonizar a superfície. Desse modo, o teor de carbonatos diminui, uma vez que os fragmentos de conchas eram a principal fonte de carbonato de cálcio dos sedimentos, e o teor de matéria orgânica ainda não é muito elevado. Próximo da cota de PMAM verifica-se que o teor de matéria orgânica das amostras aumenta, marcando claramente o início da colonização da superfície do raso de maré lodoso por plantas halófitas. Assim, embora ainda não seja considerado um sapal, a parte superior do raso de maré lodoso apresenta já diferenças significativas nos seus parâmetros sedimentológicos em relação a um raso de maré lodoso mais baixo.

No que respeita à divisão entre raso de maré lodoso e raso de maré arenoso, verifica-se que o limite entre as Unidades C e B é ligeiramente diferente do limite teórico (BMAV). Essa pequena diferença, identificada no registo sedimentar dos locais estudados, pode dever-se à morfologia das superfícies. Por exemplo, os canais de maré apresentam um hidrodinamismo maior que as superfícies que os rodeiam o que provoca uma assinatura sedimentar mais semelhante a um raso de maré arenoso que a de um raso lodoso, levando a que o limite entre a unidade C e B seja ligeiramente diferente do limite teórico.

Ainda que os níveis de maré possam não apresentar uma concordância exata com as unidades diferenciadas durante a análise das sondagens realizadas, é possível concluir que as áreas amostradas apresentam uma sequência de ambientes intertidais cada vez mais próximos do limite de influência das marés. Ou seja, as áreas estudadas apresentam uma sequência de ambientes com cada vez menos influência marinha e por isso mais terrestres. Isto indica que os ambientes intertidais do estuário têm conseguido não só fazer face à subida do NMM como têm até evoluído a taxas superiores, levando à evolução destas áreas para ambientes cada vez mais próximos de uma ambiente terrestre.

6.2. Taxas de sedimentação

A partir da análise dos radioisótopos de chumbo e cério foram determinadas taxas de sedimentação nos sapais estudados. As taxas de sedimentação foram calculadas a partir da atividade de ^{210}Pb em excesso e validadas recorrendo à datação de horizontes de ^{137}Cs que apresentavam picos de atividade.

No caso do sapal de Corroios foram determinadas taxas de sedimentação a partir da atividade de ^{210}Pb em excesso entre 0.9 e 0.6cm/ano (Figura 51). A reta com melhor correlação aos dados ($R^2=0.76$) foi a considerada, retirando as amostras dos primeiros 10cm de sondagem. Isto acontece porque se verificou na superfície da sondagem do sapal de Corroios uma diminuição na atividade de ^{210}Pb em excesso. Essa diminuição pode dever-se a uma camada de mistura de sedimentos devido a bioturbação resultante da ação de raízes e de organismos que habitam na superfície e no subsolo do sapal. A partir dessa reta foi calculada uma taxa de sedimentação de 0.6cm/ano (Figura 51). Essa taxa está em concordância com a taxa determinada a partir da atividade de ^{137}Cs , que indica uma taxa de sedimentação de 0.5cm/ano a partir da datação dos horizontes de 1954 e 1963 (Figura 52).

Em Pancas, os resultados das taxas de sedimentação obtidas da análise dos radionuclídeos ^{210}Pb e ^{137}Cs (Figura 53) estão também em concordância. A reta de regressão aplicada aos dados sobre a atividade de ^{210}Pb em excesso nas amostras apresentou um $R^2=0.86$ (Figura 53) e a partir dessa reta foi determinada uma taxa de sedimentação de 2.2cm/ano. Quanto à atividade de ^{137}Cs , foi possível determinar uma taxa de 2.1cm/ano para os horizontes de 1963 e 1954 (Figura 53).

Quanto ao sapal do Mouchão da Póvoa, as taxas de sedimentação determinadas a partir da atividade de ^{210}Pb em excesso variam entre 1.5 e 1.4cm/ano (Figura 54). Tal como no sapal de Corroios, no sapal do Mouchão da Póvoa verificou-se a existência de uma camada superficial onde a atividade de ^{210}Pb em excesso se encontrava abaixo do expectável. Novamente, tal foi interpretado como resultado da mistura de sedimentos decorrente da ação de raízes e de organismos endobentónicos que habitam o sapal. Apesar de a reta com melhor ajuste aos dados do sapal do Mouchão da Póvoa ser a que contabiliza todos os dados (Figura 54), foram considerados os dados de atividade de ^{210}Pb em excesso das amostras abaixo de 5cm de profundidade (com um R^2 de 0.84), resultando uma taxa de sedimentação de 1.4cm/ano, próxima da calculada através da atividade de ^{137}Cs (cerca de 1.2cm/ano) (Figura 54).

Da análise de radioisótopos realizada às amostras do raso de maré adjacente ao sapal do Mouchão da Póvoa, obtiveram-se taxas de sedimentação na ordem dos 0.3cm/ano (Figura 56). Não foi possível corroborar as taxas determinadas, uma vez que o perfil de atividade de ^{137}Cs mostrou que a camada com maior atividade se encontrava à superfície do raso (Figura 57). Isto poderá indicar um episódio erosivo ou um hiato na sedimentação de material. A peculiaridade deste resultado levou a que este não fosse, para já, tido em conta.

A análise de radioisótopos no sapal do Trancão indica a partir do ^{210}Pb em excesso uma taxa de sedimentação de 0.7cm/ano ($R^2=0.85$) (Figura 58). Quando se calcula a taxa de sedimentação considerando a data de 1963 a 17.5cm de profundidade, o valor resultante é de 0.3cm/ano. No entanto, se o máximo de atividade de ^{137}Cs aos 17.5cm for resultado do desastre de Chernobyl, a taxa de sedimentação no sapal do

Trancão seria de 0.7cm/ano (Figura 59). Este resultado está de acordo com os resultados da análise de ^{210}Pb . A taxa de sedimentação calculada a partir do início de atividade de ^{137}Cs aos 28.5cm de profundidade foi de 0.5cm/ano, o que está razoavelmente de acordo com os restantes resultados obtidos.

Assim, as taxas de sedimentação determinadas neste estudo para os sapais do Tejo estudados variam entre 2.2 e 0.6cm/ano. Outros autores determinaram taxas de sedimentação para alguns sapais do estuário do Tejo com ordens de grandeza semelhantes às agora obtidas.

Salgueiro e Caçador (2007) determinaram taxas de sedimentação para alguns sapais do estuário do Tejo através de armadilhas sedimentares colocadas na sua superfície durante um período de 9 meses. No sapal de S. João da Talha, 3km a norte da foz do Trancão, Salgueiro e Caçador (2007) determinaram uma taxa de sedimentação de 1.8cm/ano; para o sapal de Corroios os valores obtidos pelos mesmos autores foram de 0.4cm/ano e para o sapal de Vasa Sacos, um pouco a norte do sapal de Pancas, 3.9cm/ano. Freitas *et al.* (1998) determinaram para a zona superficial (acima de 40cm de profundidade) do sapal de Corroios uma taxa de sedimentação entre 0.4 e 0.6cm/ano, a partir de sinais geoquímicos de poluição antrópica e uma taxa de 0.7cm/ano a partir da datação de uma concha de bivalve por radiocarbono.

Embora ocorram diferenças entre as taxas de sedimentação determinadas neste estudo e aquelas determinadas por outros autores, é importante salientar que as diferenças não são significativas e que a aplicação de radionuclídeos (^{210}Pb e ^{137}Cs) provou já ser uma técnica bastante fiável na datação de sedimentos recentes, principalmente em ambientes com registos de sedimentação bastante regulares como os sapais e os rasos de maré (Appleby, 2002).

Quanto à expansão das áreas de sapal do estuário do Tejo, apenas foi analisado o caso do sapal de Pancas uma vez que a observação de fotografias aéreas antigas do estuário mostrou que os restantes sapais apresentavam alterações na posição das margens inferiores aos erros de georreferenciação. Da comparação das fotografias aéreas com os ortofotomapas realizada na área do sapal de Pancas resultou que, entre 1958 e 2007, a frente do sapal experimentou um avanço de cerca de 25m, correspondendo a uma taxa de 0.53m/ano (Figura 61). Verificou-se que o avanço da frente de sapal foi efetuado a partir do crescimento e coalescência de manchas de baixo sapal, e agradação de toda a superfície e instalação de plantas halófitas, características de sapal. Caçador (1987: *in*: Portela, 2004) calculou (através da comparação de fotografias aéreas) um avanço da frente de sapal de Pancas de 0.26cm/ano entre 1957 e 1982 e Portela (2002) calculou, para o mesmo sapal, um avanço na ordem de 0.5m/ano, entre 1977 e 1995. Estes resultados estão de acordo com aqueles obtidos neste trabalho para o mesmo sapal.

Os restantes sapais estudados podem até ter experimentado uma diminuição da sua área. Na verdade, os sapais do Mouchão da Póvoa, do Trancão e de Corroios apresentam escarpas no limite entre o sapal e o raso de maré adjacente. Estas escarpas são apontadas como resultado de processos erosivos que decorrem da ação das ondas nas frentes de sapais (Woodroffe, 2003). Fagherazzi (2013) refere alguns trabalhos (e. g. Mariotti *et al.*, 2010) que indicam que é possível que sapais com taxas de sedimentação elevadas possam desaparecer face à subida do NMM se as áreas de raso de maré adjacentes não conseguirem também elas fazer face a essa subida. Efetivamente, são as superfícies dos rasos de maré que dissipam a energia das ondas e impedem que estas atuem sobre as frentes de sapal. Se os rasos de maré não conseguirem manter taxas de sedimentação superiores à subida do NMM, a coluna de água sobre elas é maior quando estão submersas, levando a uma mitigação menor da energia das ondas que se propagam

em direção à frente de sapal, provocando recuo e erosão na frente de sapal e diminuição da sua área. Nestas circunstâncias, os sapais só podem manter a sua área por translação do seu limite terrestre, ou seja, invadindo áreas anteriormente do domínio terrestre (Doody, 2004). No entanto, esta translação só ocorre se houver espaço de acomodação, o que não acontece no caso dos sapais estudados, uma vez que estes ou estão limitados por estruturas antropogénicas (no Mouchão da Póvoa existe um dique de contenção de marés, no Trancão um aterro) ou separados da margem terrestre como no sapal de Corroios. Estudos acerca do comportamento da fronteira sapal/raso de maré são necessários de modo a poder aferir qual o tipo de comportamento futuro dos sapais estudados.

Quanto às datações de ^{14}C obtidas nas amostras da base das sondagens, verificou-se que as taxas de sedimentação inferidas são bastante inferiores (0.15cm/ano para Corroios, 0.21cm/ano para Pancas e 0.29cm/ano para o Mouchão da Póvoa) às determinadas através de radionuclídeos. É importante referir que as taxas de sedimentação inferidas através das datações por radiocarbono abrangem uma janela temporal bastante mais alargada, podendo englobar períodos de cessação da sedimentação nos sapais estudados ou mesmo períodos de erosão das suas superfícies. No entanto, e de acordo com os registos sedimentares recuperados em cada um dos sapais, essa situação torna-se bastante improvável já que estes parecem comporta-se de forma bastante regular. Deste modo, a diferença entre as taxas de sedimentação determinadas para as últimas décadas através dos isótopos de ^{210}Pb e ^{137}Cs e aquelas determinadas a partir do radiocarbono para os últimos mil a dois mil anos pode ser justificada se as taxas de sedimentação decorrentes nos rasos de maré lodosos e arenosos forem significativamente mais baixas que as verificadas nos ambientes de sapal.

6.3. Cenários de subida do NMM

Antunes e Taborda (2009) determinaram a taxa de subida do NMM para a costa Oeste Portuguesa recorrendo aos dados do marégrafo de Cascais, localizado na boca do estuário. A partir do cálculo da média mensal do NMM registado naquele marégrafo, os autores chegaram a valores de subida de 0.19cm/ano até 2010 (Figura 63). Para a última década do séc. XX, a taxa de subida do NMM estimada foi de 0.21cm/ano.

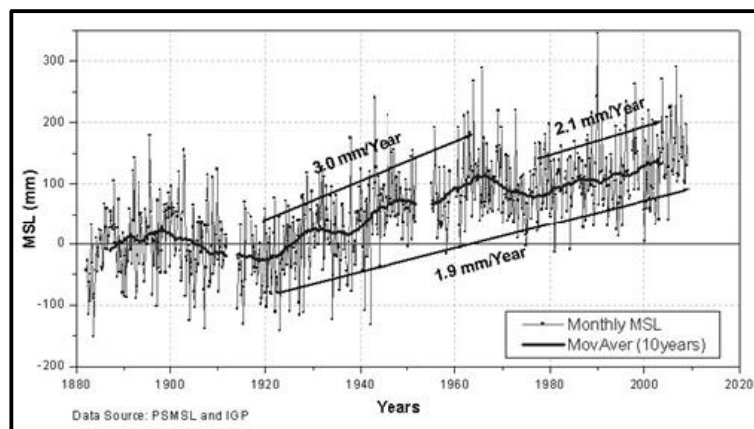


Figura 63 - Média mensal do NMM medido no marégrafo de Cascais desde 1880 ao qual foi imposta uma média móvel de 10anos (Adaptado de Antunes e Taborda, 2009).

Os autores estimaram também uma taxa de subida do NMM de 0.25cm/ano para o ano de 2008. Estes valores apontam para uma aceleração na subida do NMM de 0.0024cm/ano². As taxas de sedimentação determinadas para os sapais do Tejo são pelo menos duas vezes superiores à taxa de subida do NMM determinada por Antunes e Taborda (2009).

Antunes (2011) recalculou a taxa de subida do NMM para a costa Oeste Portuguesa através de dados diários do marégrafo de Cascais entre 2000 e 2010 (primeira década deste século). Foi calculada uma taxa de subida do NMM de 0.357cm/ano, o que, relativamente à última década do séc. XX, resulta numa aceleração da taxa de subida do NMM de 0.0074cm/ano².

Projetando a acreção da superfície dos sapais do estuário do Tejo de acordo com as taxas determinadas neste estudo, bem como a subida do NMM e respetiva aceleração determinada por Antunes e Taborda (2009), foi possível inferir acerca da resposta morfológica destes sapais face à subida do NMM (Figura 64).

Verifica-se que para uma taxa de subida do NMM de 0.21cm/ano todos os sapais do Tejo estudados neste trabalho continuarão a acrecionar, aproximando a cota da superfície do sapal ao nível de PMAV, considerado como o limite superior de agradação destes ambientes intertidais. Apenas o sapal de Corroios não atingirá o nível de PMAV antes de 2100; os restantes sapais passam a acrecionar a uma taxa igual ou superior à de subida do NMM a partir de 2031 em Pancas, 2057 no Mouchão da Póvoa e 2061 no Trancão.

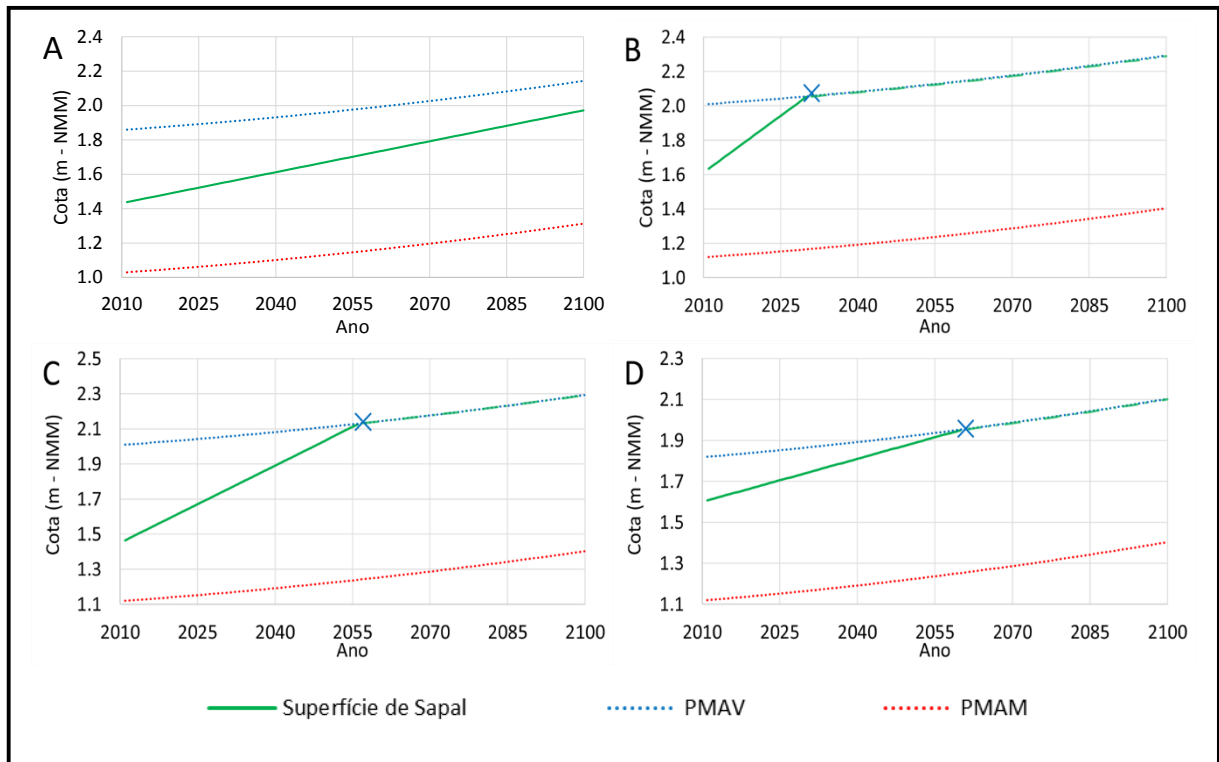


Figura 64 - Projeção do crescimento previsto das superfícies dos sapais de Corroios (A), Pancas (B), Mouchão da Póvoa (C) e Trancão (D) e dos níveis de PMAV e PMAM previstos com a subida do NMM (0.21cm/ano). As cruzes azuis marcam a intersecção da superfície do sapal com o nível do PMAV.

Projetando a acreção da superfície dos sapais do estuário do Tejo e a subida do NMM com o valor de aceleração calculada por Antunes (2011), foi possível inferir acerca da resposta morfológica destes sapais a estas novas condições (Figura 65).

Verificou-se que para os sapais de Pancas e do Mouchão da Póvoa, o aumento da taxa de subida do NMM apenas retardou em alguns anos o momento em que as superfícies dos sapais atingirão o limite superior dos ambientes intertidais, 2033 e 2074, respetivamente, e continuarão a acrecionar a uma taxa igual ou superior à de subida do NMM. Neste cenário, o sapal do Trancão não alcançará o limite superior da área intertidal até 2100. Observa-se que até cerca de 2055 a superfície do sapal do Trancão se estará a aproximar desse limite mas que após essa data a aceleração da subida do NMM irá levar a que a taxa de subida do NMM ultrapasse a taxa de sedimentação na superfície do sapal, provocando maior inundação da superfície embora continue a evoluir como sapal. A evolução do sapal de Corroios face a este cenário de subida do NMM é ainda mais extrema que a do sapal do Trancão. A superfície do sapal de Corroios mostra incapacidade no acompanhamento da taxa de subida do NMM por volta de 2040. A partir daí a superfície do sapal de Corroios aproxima-se do nível de PMAM até 2100. Embora esse limite não seja ultrapassado, a superfície do sapal de Corroios estará, segundo o modelo aqui aplicado, a cerca de 40cm do limite sapal/raso de maré lodoso sendo possível que, mantendo-se estas condições para além de 2100, exista uma substituição da área do sapal de Corroios por uma área de raso de maré lodoso.

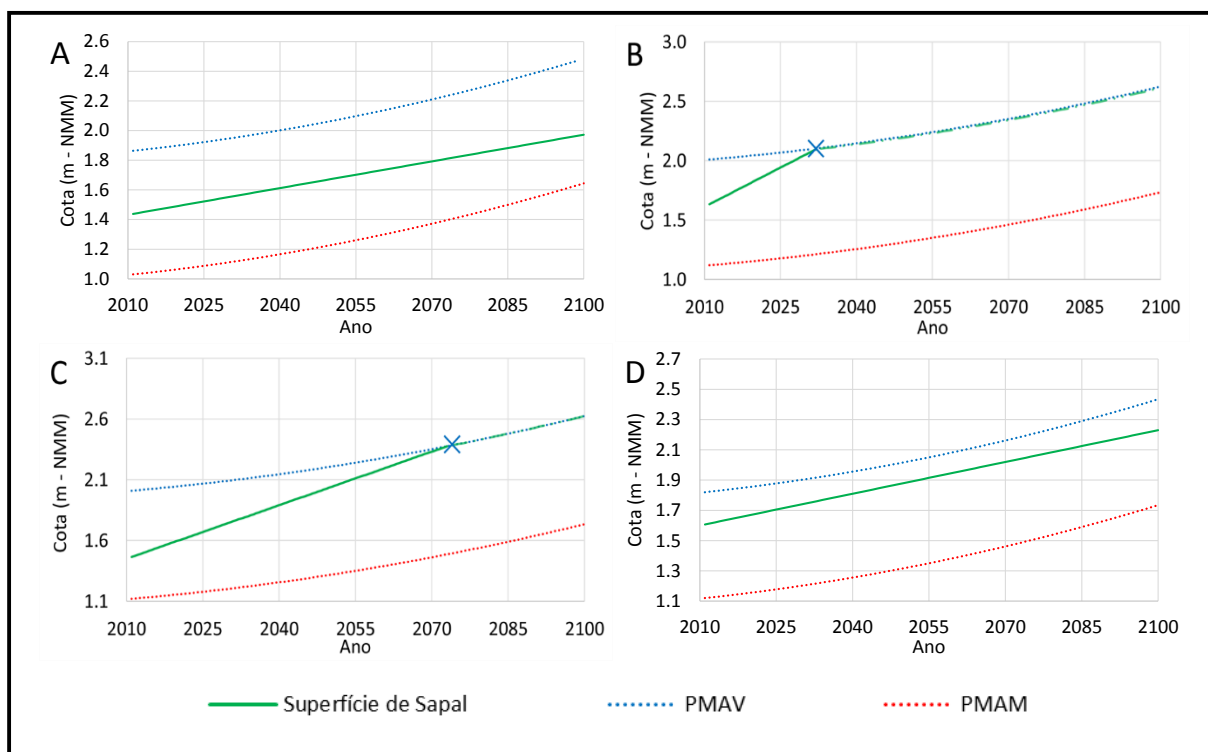


Figura 65 - Projeção do crescimento previsto das superfícies dos sapais de Corroios (A), Pancas (B), M. da Póvoa (C) e Trancão (D) e dos níveis de PMAV e PMAM previstos com a subida do NMM e efeito de aceleração. As cruzes azuis marcam a intersecção da superfície do sapal com o nível do PMAV.

Ambos os cenários propostos para a taxa de subida do NMM derivados dos dados do marégrafo de Cascais, são menos gravosos que os mais extremos previstos por outros autores (e.g. IPCC, 2007, 2001; Rahmstorf, 2007) (Figura 66). Assim, foram comparadas as cotas das superfícies dos sapais do estuário do Tejo estudados neste trabalho com o cenário mais gravoso previsto pelo IPCC (2001) (A1FI). Embora o IPCC já tenha apresentado relatórios mais atualizados (IPCC, 2007) existem ainda bastantes incertezas acerca do valor que o NMM irá atingir em 2100, referindo alguns autores (e.g. Rahmstorf, 2007) que os dados de 2007 foram subestimados pelo IPCC (2007) no seu "Fourth Assessment Report" (AR4).

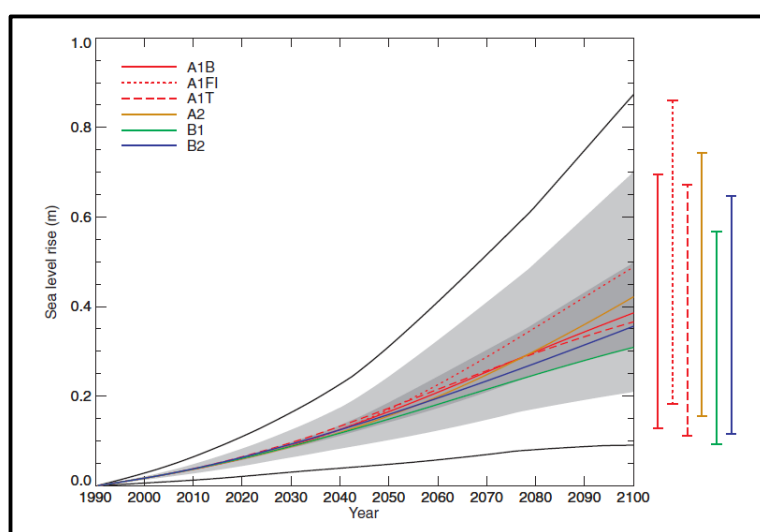


Figura 66 - NMM global entre 1990 e 2100 previstos para os cenários SRES (Special Reports on Emissions Scenarios) (IPCC, 2001).

Deste modo, foi selecionado o cenário A1FI do IPCC (2001), uma vez que é mais gravoso, para comparação das cotas da superfície dos sapais estudados e do NMM previsto para 2050 e 2100, 0.30m e 0.85m, respetivamente (Figura 67).

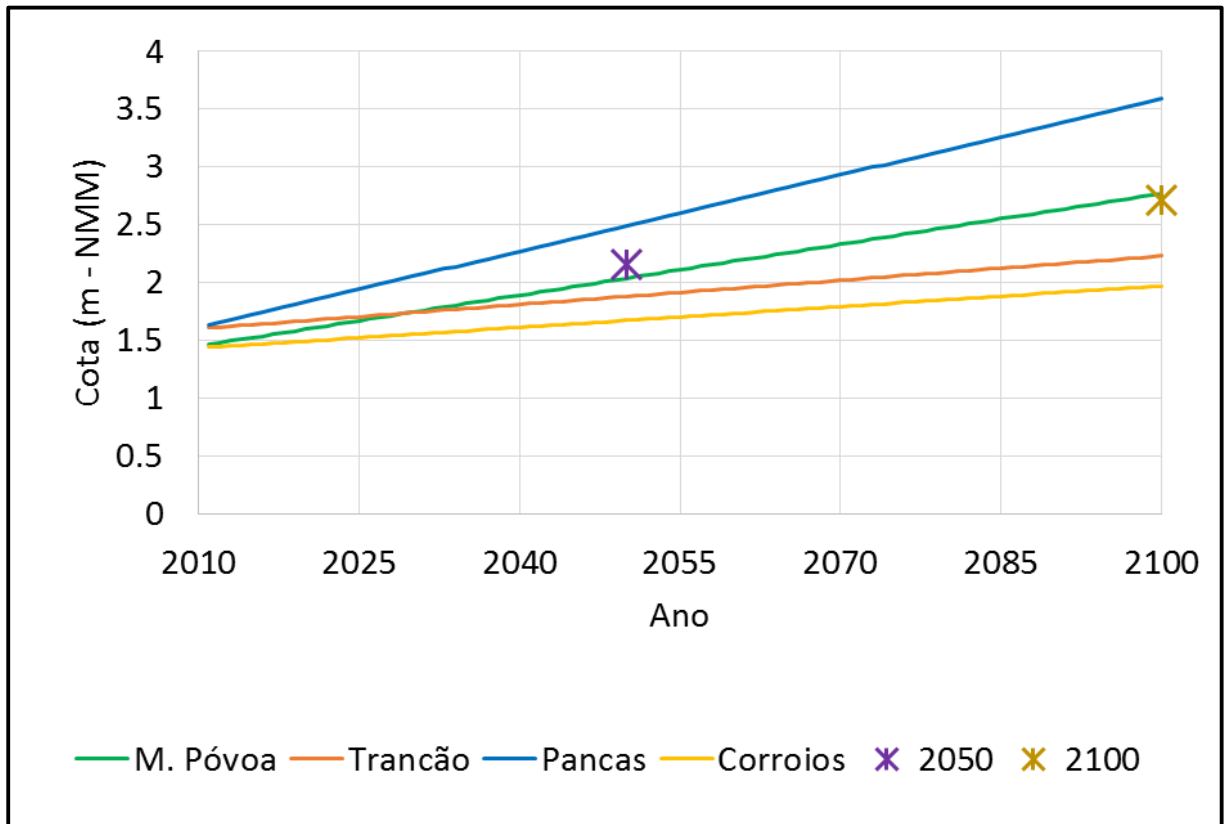


Figura 67 - Comparação entre a cota das superfícies dos sapais estudados e a cota do PMAV previsto pelo cenário A1FI do IPCC (2001).

Verifica-se que os sapais de Pancas e do Mouchão da Póvoa continuam a apresentar uma taxa de acreção mais rápida que a taxa de subida do NMM, chegando as suas superfícies a ultrapassar o nível de PMAV antes de 2100. Os sapais do Trancão e de Corroios veem neste cenário as suas superfícies afundarem-se ainda mais em relação ao limite dos ambientes intertidais, correndo assim sérios riscos de as suas áreas serem ocupadas por rasos de maré.

Salienta-se que estes resultados são obtidos com base em alguns pressupostos e só validos se esses se verificarem.

As taxas de sedimentação nos sapais variam, tal como referido no Capítulo 2, de acordo com diversas variáveis, entre as quais o tempo de submersão que é controlado pela cota da superfície em relação ao limite de influência da maré. Assim, à medida que a superfície do sapal se aproxima da cota do PMAV, a sua taxa de sedimentação deveria sofrer uma quebra (comportamento assintótico). O contrário também é válido: quando uma superfície de sapal se afasta do limite da maré, a sua superfície passa mais tempo submersa e por isso deverá apresentar uma taxa de sedimentação mais elevada. Durante este estudo, não foi possível chegar a uma correlação satisfatória entre a posição relativa das superfícies dos sapais e a sua taxa de sedimentação e por isso procedeu-se a uma extrapolação linear da taxa de sedimentação de cada um deles para o futuro. Isto implica que o intervalo temporal necessário para que os sapais de Pancas e do Mouchão da Póvoa atinjam o limite do PMAV poderá ser maior e que, pelo contrário, a descida da superfície dos sapais do Trancão e de Corroios em relação ao limite da maré poderá não implicar uma grande

submersão, uma vez que estes sapais podem responder com um aumento das suas taxas de sedimentação, impedindo que sofram uma evolução no sentido de se transformarem em raso de maré.

Uma vez que as taxas de sedimentação determinadas através de ^{210}Pb e ^{137}Cs já integram, em parte, as variações da posição relativa das superfícies destes sapais ao longo do tempo, foi aplicada uma extrapolação linear às taxas de sedimentação dos sapais estudados e às suas superfícies, sendo as repostas morfológicas dos sapais do Tejo aqui apresentadas as mais ajustadas aos dados que foram conseguidos.

Foram ainda consideradas amplitudes de maré invariantes no futuro e que haverá disponibilidade sedimentar para alimentar o crescimento dos sapais do estuário do Tejo. Quanto à amplitude da maré, este trabalho não procurou debruçar-se sobre esse tema e por isso considerar que esta se mantinha invariante foi um compromisso devido à falta de dados. Quanto à disponibilidade sedimentar, não é expectável que deixe de existir sedimento disponível para o crescimento dos sapais do estuário. Uma vez que o grosso da sua alimentação parece resultar do transporte de sedimentos pelo Tejo, e na medida em que não estão previstas nenhuma obra de engenharia que pudessem cortar esse fluxo sedimentar (e.g. barragens, diminuição do escoamento superficial na área envolvente ao estuário ou na bacia do Tejo), considerou-se que no futuro existirá sedimento disponível suficiente para satisfazer as necessidades sedimentológicas dos sapais do Tejo. Não foram abordadas, no entanto, possíveis alterações na carga sólida transportada pelos rios devido às alterações climáticas.

O comportamento morfológico dos sapais do estuário do Tejo são semelhantes aos relatados por outros autores (Dijkema *et al.*, 1990; Pye e French, 1993) para outros sapais europeus, nomeadamente na Grã-Bretanha e no mar de Wadden.

As conclusões da análise dos dados deste trabalho são assim bastante úteis para a compreensão da resposta geomorfológica dos sapais do estuário do Tejo face à subida do NMM.

7. CONCLUSÕES

Dos resultados obtidos dos trabalhos elaborados durante a elaboração desta tese podem ser retiradas diversas conclusões.

A análise sedimentológica das sondagens permitiu concluir-se que as sequências sedimentares dos sapais do estuário do Tejo são compostas por unidades equivalentes. Essas unidades apresentam-se segundo a mesma ordem cronológica em todos os sapais (Figura 62). Os seus parâmetros sedimentológicos indicam que evoluíram desde ambientes intertidais baixos, com tempos de submersão elevados em cada ciclo de maré, até ambientes intertidais mais altos, onde os tempos de submersão são menores. O comportamento dos diversos parâmetros sedimentológicos de cada unidade e a análise da sua posição em relação a níveis de maré divisórios de alguns ambientes intertidais (e.g. PMAV, PMAM e BMAV) permitiu que se realizasse uma analogia entre as unidades identificadas e alguns desses ambientes. Assim, a Unidade C, composta por sedimentos mais grosseiros, teores de carbonato de cálcio elevados (resultantes da presença de conchas e fragmentos de concha de moluscos) e teores de matéria orgânica baixos, foi identificado como correspondendo a um raso de maré arenoso; a Unidade B, com decréscimo da granulometria dos sedimentos (composta por siltes e argilas) e do teor carbonato de cálcio (menor concentração de conchas, inteiras e fragmentadas), foi identificada como um raso de maré lodoso; a Unidade A, composta por sedimentos muito finos (argilas), com teores de CaCO_3 muito baixos (fragmentos de concha quase inexistentes), e teores de matéria orgânica elevados, foi considerada como correspondente a um ambiente de sapal. Esta sequência mostra que as áreas de estudo têm apresentado uma evolução no sentido da terrestrialização. Uma vez que não se verificou no registo sedimentar nenhuma inversão no sentido dessa evolução, e que o NMM tem vindo a subir ao longo dos últimos séculos, concluiu-se que a taxa de acreção destas áreas tem sido superior à taxa de subida do NMM até à atualidade.

Quanto às taxas de sedimentação determinadas em cada um dos sapais estudados a partir da atividade de isótopos de ^{210}Pb e ^{137}Cs , concluiu-se que todos eles apresentam, atualmente, taxas de acreção superiores à da subida do NMM (o que está de acordo com o concluído através da análise sedimentológica). Foram determinadas taxas de sedimentação de 2.2cm/ano, 1.4cm/ano, 0.7cm/ano e 0.6cm/ano, para Pancas, Mouchão da Póvoa, Trancão e Corroios, respetivamente. Verificou-se que as taxas de sedimentação calculadas para os sapais do sector superior do estuário, Pancas e Mouchão da Póvoa, são bastante superiores às dos sapais do sector médio/inferior, Trancão e Corroios. Tal poderá estar ligado à maior proximidade dos primeiros às principais fontes sedimentares do estuário, os rios Tejo e Sorraia, e à maior concentração de sedimentos em suspensão nesse sector. As taxas de sedimentação determinadas neste trabalho estão de acordo com os dados de outros autores para outros sapais do estuário do Tejo. Esses autores determinaram taxas de acreção a partir de técnicas diferentes das aqui aplicadas (^{14}C , armadilhas sedimentares), demonstrando assim que as técnicas de datação radiométrica (nomeadamente ^{210}Pb e ^{137}Cs), desenvolvidas para aplicação em ambientes de muito baixo hidrodinamismo (e.g. lagos e lagunas) podem ser aplicadas em ambientes intertidais de baixo hidrodinamismo e sedimentação imperturbada (e.g. rasos de maré lodosos e sapais) em estuários, com a obtenção de bons resultados. Verificou-se ainda que as taxas de sedimentação determinadas a partir das datações por radiocarbono são bastante mais baixas

que as anteriormente referidas. A explicação para tal facto pode prender-se com o maior horizonte temporal que estas datações abrangeram, cerca de 2000 anos, contraposto com o horizonte de cerca de 50 anos das datações por ^{210}Pb e ^{137}Cs . O maior horizonte temporal abrangido aumenta a probabilidade de inclusão de episódios de hiatos de sedimentação, baixando as taxas de acreção médias. Por outro lado as menores taxas de acreção podem também resultar do facto de estas integrarem taxas de sedimentação mais baixas experimentadas em ambientes de raso de maré lodoso e arenoso, ao contrário das taxas de maior expressão encontradas nos sapais e determinadas pelos isótopos de chumbo e céσιο.

Quanto à expansão horizontal das áreas de sapal do estuário, as fotografias aéreas e os ortofotomapas analisados para o sapal de Pancas (Figura 61) mostram que esse se encontra em franca expansão. A sua frente avançou, entre 1958 e 2007, 25m (+/- 3m), correspondendo a uma taxa de 0.53m/ano. Isto está de acordo com os dados obtidos por outros autores para este sapal. No que diz respeito aos restantes sapais estudados verificou-se, a partir dos perfis topográficos realizados, que todos eles apresentam escarpas no limite entre o sapal e o raso de maré, que podem corresponder figuras erosivas provocadas pela ação das ondas na frente marinha do sapal. Se se mantiverem estes processos, os sapais irão ver a sua área diminuída devido à ação das ondas. Os rasos de maré funcionam como áreas de dissipação da energia das ondas, deste modo, será necessário conhecer também a resposta geomorfológica destes ambientes intertidais para perceber o tipo de processos que irão ocorrer na frente dos sapais. Se estes ambientes conseguirem acompanhar a taxa de subida do NMM, continuarão a dissipar a energia das ondas e a proteger a frente de sapal, se as superfícies dos rasos de maré não conseguirem acompanhar a taxa de subida do NMM a profundidade da coluna de água sobre elas aumentará e a dissipação da energia das ondas não será tão eficaz, promovendo a erosão das áreas de sapal.

De acordo com as taxas de sedimentação determinadas para cada sapal e com as taxas de subida do NMM propostas por diversos autores foi possível inferir acerca da evolução das áreas estudadas neste trabalho até 2100. Face ao cenário de subida do NMM de 0.21cm/ano, verificou-se que todos os sapais analisados conseguiriam manter uma taxa de acreção superior à do NMM. Os sapais de Pancas, Mouchão da Póvoa e Trancão mostram-se capazes, neste cenário, de atingir o limite superior de extensão dos ambientes intertidais (PMAV). O sapal de Corroios é a única exceção, não atingindo o nível de PMAV até 2100, embora se aproxime dele. Num cenário de subida do NMM mais extremo (0.357cm/ano) os sapais de Pancas e do Mouchão da Póvoa continuam a apresentar uma grande resiliência. Ambos continuam a acrecionar a taxas superiores à da subida do NMM, e atingem o nível de PMAV antes de 2100. Neste cenário, os sapais do Trancão e de Corroios começam a apresentar dificuldade em manter as suas superfícies a acrecionar a uma taxa superior à da subida do NMM. Das projeções efetuadas para este cenário, verificou-se que as superfícies destes dois sapais se aproximam do nível de PMAV, ou seja, as suas superfícies aproximam-se do limite inferior de domínio dos sapais. Deste modo, torna-se possível que a longo prazo, após 2100, as suas áreas sejam ocupadas de novo por rasos de maré lodosos. Aplicando para 2050 e 2100 uma subida do NMM de 0.3m e 0.85m, respetivamente, verificou-se que mesmo neste cenário o sapal de Pancas continua a acrecionar a uma taxa superior à do NMM, ultrapassando a cota do PMAV antes de 2050. O sapal do Mouchão da Póvoa também atinge o nível de PMAV até 2100. Os sapais do Trancão e de Corroios veem neste cenário a sua situação piorar, sendo que as suas superfícies se afastam do nível de PMAV, tal como já se havia verificado no cenário anterior. Estes resultados indicam que os sapais do sector superior do estuário, Pancas e Mouchão da Póvoa, deverão mostrar-se resilientes à subida do NMM até 2100. Estes sapais poderão até ter potencial para evoluírem para ambientes terrestres depois de

atingirem o nível de PMAV. Para o primeiro cenário proposto, o sapal do Trancão apresenta o mesmo potencial.

O caso do sapal de Corroios é o mais grave de todos os analisados, uma vez que este sapal nunca atinge o nível de PMAV, embora no primeiro cenário se aproxime dele. A sua superfície aproxima-se mais do nível de PMAM (limite entre baixo sapal e raso de maré lodoso).

O comportamento destes sapais face à subida do NMM do mar está de acordo com aquele reportado por outros autores para sapais da Grã- Bretanha e no mar de Wadden.

É preciso ressaltar que estas conclusões resultam da extrapolação linear das taxas de acreção dos sapais e do pressuposto que a amplitude de maré e o abastecimento sedimentar do estuário se mantêm. Ora, a taxa de sedimentação numa superfície de sapal está relacionada com o tempo de submersão dessa superfície. Deste modo, quando a superfície do sapal se aproxima do nível de PMAV, e o seu tempo de submersão diminui, a sua taxa de sedimentação deverá também diminuir. Se pelo contrário, a sua superfície se afasta do nível de PMAV, esse aproxima do nível de PMAM, o seu tempo de submersão aumenta, devendo então a sua taxa de acreção aumentar. Assim, é possível que os sapais de Pancas e do Mouchão da Póvoa demorem mais tempo até que atinjam o nível de PMAV e que os sapais do Trancão e de Corroios vejam as suas taxas de acreção aumentarem quando as suas superfícies se aproximarem do PMAM, estabelecendo-se uma situação de equilíbrio, passando essas superfícies a evoluir à mesma taxa que a subida do NMM, não chegando por isso a evoluir no sentido de um raso de maré.

Os resultados apresentados nesta dissertação permitiram aumentar o conhecimento acerca da dinâmica morfossedimentar dos sapais do estuário do Tejo, possibilitando uma resposta mais sustentada ao possível comportamento geomorfológico destes sapais face à subida do NMM. No entanto, a grande complexidade dos processos de sedimentação decorrentes nos sapais, leva a que a este estudo possa vir a ser melhorado. Para isso seria necessário aumentar o número de sapais amostrados no Tejo, aumentar o número de sondagens em cada um dos sapais e determinar taxas de sedimentação médias em cada um deles. Seria também importante determinar taxas de sedimentação nos rasos de maré adjacentes a estes sapais e monitorizar as frentes das manchas de sapal de modo a determinar se estes estão a experimentar uma redução ou aumento das suas áreas. Os dados resultantes desses novos trabalhos permitiriam melhor ainda mais o modelo conceptual aqui apresentado para a resposta geomorfológica dos sapais do estuário do Tejo.

8. BIBLIOGRAFIA

- Allen, J.R.L., 1990. Salt-marsh growth and stratification: A numerical model with special reference to the Severn Estuary, southwest Britain. *Mar. Geol.* 95, 77–96.
- Allen, J.R.L., 2000. Morphodynamics of Holocene salt marshes: a review sketch from the Atlantic and Southern North Sea coasts of Europe. *Quat. Sci. Rev.* 19, 1155–1231.
- Amos, C.L., 1995. Siliciclastic Tidal Flats, in: Perillo, G.M.E. (Ed.), *Geomorphology and Sedimentology of Estuaries*. Elsevier, pp. 273–306.
- Andrade, C., Freitas, M., Miranda, J., 2003. Recognizing possible tsunami sediments in the ultradissipative environment of the Tagus estuary (Portugal), in: Davis, R.A., Sallenger, A., Howd, P. (Eds.), *Coastal Sediments' 03 - The 5th International Symposium on Coastal Engineering and Science of Coastal Sediments Processes*. CD-ROM (ISBN: 978-981-238-422-5 CD), Clearwater Beach, Florida, pp. 1–14.
- Antunes, C., 2011. Variação actual do NMM em Cascais, in: *Acta Da VII Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia*. In Press.
- Antunes, C., Taborda, R., 2009. Sea level at Cascais tide gauge: data, analysis and results. *J. Coast. Res.* 56, 218–222.
- Appleby, P., 2002. Chronostratigraphic techniques in recent sediments. *Track. Environ. Chang. using lake sediments* 1, 171–203.
- Baize, D., 1988. *Soil Sciences Analyses. A guide to current use*. John Willey & Sons.
- Bengtsson, L., Enell, M., 1986. Chemical Analysis, in: Berglund, B.E. (Ed.), *Handbook of Holocene Paleoecology and Paleohydrology*. John Willey & Sons, Chichester, pp. 423–451.
- Bettencourt, A., Gomes, V., Dias, A., Ferreira, G., Silva, M.C., Costa, L., 2003. *Estuários Portugueses*. Direcção dos Serviços de Planeamento, Instituto da Água, Ministério das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente, Lisboa.
- Choi, K., 2011. Tidal rhythmites in a mixed-energy, macrotidal estuarine channel, Gomso Bay, west coast of Korea. *Mar. Geol.* 280, 105–115.
- Costa, J.B. da, 1991. *Caracterização e constituição do solo*, 4ª Edição. ed. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.
- Dalrymple, R.W., Knight, R.J., Zaitlin, B.A., Middleton, G. V., 1990. Dynamics and facies model of a macrotidal sand-bar complex, Cobequid Bay-Salmon River Estuary (Bay of Fundy). *Sedimentology* 37, 577–612.
- Davis Jr, R., Fitzgerald, D.M., 2004. *Beaches and Coasts*. Wiley.
- Deloffre, J., Lafite, R., Lesueur, P., Lesourd, S., Verney, R., Guézennec, L., 2005. Sedimentary processes on an intertidal mudflat in the upper macrotidal Seine estuary, France. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 64, 710–720.

- Deloffre, J., Verney, R., Lafite, R., Lesueur, P., Lesourd, S., Cundy, A.B., 2007. Sedimentation on intertidal mudflats in the lower part of macrotidal estuaries: Sedimentation rhythms and their preservation. *Mar. Geol.* 241, 19–32.
- Dijkema, K.S., Bossinade, J.H., Bouwsema, P., Glopper, R.J., 1990. Salt Marshes in the Netherlands Wadden Sea: Rising High-Tide Levels and Accretion Enhancement, in: Beukema, J., Wolff, W., Brouns, J.W.M. (Eds.), *Expected Effects of Climatic Change on Marine Coastal Ecosystems SE* - 21. Springer Netherlands, pp. 173–188.
- Doody, J.P., 2004. “Coastal squeeze” – an historical perspective. *J. Coast. Conserv.* 10, 129.
- Fagherazzi, S., 2013. The ephemeral life of a salt marsh. *Geology* 41, 943–944.
- Fan, D., Li, C., Archer, A.W., Wang, P., 2002. Temporal distribution of diastems in deposits of an open-coast tidal flat with high suspended sediment concentrations. *Sediment. Geol.* 152, 173–181.
- Ferreira, D. de B., 1981. Carte geomorphologique du Portugal. *Memórias do Cent. Estud. Geográficos* 6, 53.
- Flemming, B.W., 2000. A revised textural classification of gravel-free muddy sediments on the basis of ternary diagrams. *Cont. Shelf Res.* 20, 1125–1137.
- Freire, P.M.S., 1999. Evolução morfo-sedimentar de margens estuarinas (estuário do Tejo, Portugal). Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- Freitas, M.C., Andrade, C., Moreno, J.C., Munhá, J.M., Cachão, M., 1998. The sedimentary record of recent (last 500 years) environmental changes in the Seixal Bay marsh, Tagus estuary, Portugal. *Geol. en Mijnb.* 77, 283–293.
- French, J.R., 1991. Eustatic and neotectonic controls on salt marsh sedimentation., in: Kraus, N.C., Gingerich, K.J., Kriebel, D.L. (Eds.), *Coastal Sediments '91*. American Society of Civil Engineers, New York, pp. 1223–1236.
- French, J.R., 1993. Numerical simulation of vertical marsh growth and adjustment to accelerated sea-level rise, North Norfolk, U.K. *Earth Surf. Process. Landforms* 18, 63–81.
- Gao, S., 2007. Determination of preservation potential in tidal flat sedimentary records: a forward modeling approach. *Quat. Sci.* 27, 750–755.
- Gao, S., 2009. Geomorphology and sedimentology of tidal flats, in: Perillo, G.M.E., Wolanski, E., Cahoon, D.R., Brinson, M.M. (Eds.), *Coastal Wetlands: An Ecosystem Integrated Approach*. Elsevier, pp. 293–316.
- IPCC, 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, in: Houghton, J.T., Ding, Y., Griggs, D.J., Noguer, M., van der Linden, P.J., Dai, X., Maskell, K., Johnson, C.A. (Eds.), Cambridge University Press, United Kingdom, and New York, NY, USA, p. 881.
- IPCC, 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, in: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L. (Eds.), Cambridge University Press, United Kingdom and New York, NY, USA, p. 996.
- Klein, G. deVries, 1985. Intertidal Flats and Intertidal Sand Bodies, in: Davis Jr, R.A. (Ed.), *Coastal Sedimentary Environments*. Springer, New York, pp. 187–224.
- Lowe, J.J., Walker, M.J.C., 1984. *Reconstructing Quaternary Environments*, 2nd ed. Longman, London and New York.

- Manuppella, G., Antunes, M.T., Cardoso, J., Ramalho, M.M., Rey, J., 1999. Notícia Explicativa da Carta geológica 1: 50.000, 38-B, Setúbal.
- Mariotti, G., Fagherazzi, S., Wiberg, P.L., McGlathery, K.J., Carniello, L., Defina, A., 2010. Influence of storm surges and sea level on shallow tidal basin erosive processes. *J. Geophys. Res.* 115, C11012.
- Mendes, R.N., Ceia, R., Silva, T., Rilo, A., 2012. Detecção Remota e Cartografia de Intertidal. O contributo do Projeto MorFeed. *Actas das 2as Jornadas Eng. Hidrográfica* 341–344.
- Möller, I., Spencer, T., French, J.R., Leggett, D.J., Dixon, M., 2001. The Sea-Defence Value of Salt Marshes: Field Evidence From North Norfolk. *Water Environ. J.* 15, 109–116.
- Pais, J., Moniz, C., Cabral, J., Cardoso, J.L., Legoinha, P., Machado, S., Morais, M.A., Lourenço, C., Ribeiro, M.L., Henriques, P., Falé, P., 2006. Notícia Explicativa da Carta geológica 1:50.000, 34-D, Lisboa. Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Informação- Departamento de Geologia, Lisboa.
- Pethick, J.S., 1981. Long-term Accretion Rates on Tidal Salt Marshes. *J. Sediment. Res.* 2, 571–577.
- Portela, L., 2002. Preliminary assessment of saltmarsh areas in the Tagus estuary, in: Veloso-Gomes, F., Taveira-Pinto, F., Neves, L. (Eds.), *Littoral, 2002, The Changing Coast. EUROCOAST - Portugal*. Porto, pp. 117–119.
- Portela, L.I. (LNEC), 2004. Recuperação de áreas de Sapal: conceito, métodos e a sua aplicação em Portugal, in: 7º Congresso Da Água. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, Lisboa, p. 10.
- Pye, K., French, P.W., 1993. Erosion and accretion processes on British salt marshes. Vol. 2: Databases of British Saltmarshes. Cambridge Environmental Research Consultants, Cambridge.
- Rahmstorf, S., 2007. A semi-empirical approach to projecting future sea-level rise. *Science* (80-.). 315, 368–370.
- Randerson, P.F., 1979. A Simulation of Saltmarsh Develop- ment and Plant Ecology., in: Knights, B., Phillips, A.J. (Eds.), *Estuarine and Coastal Land Reclamation and Water Storage*. Saxon House, Teakfield Ltd., Farnborough, Hants, UK, pp. 48–67.
- Reed, D.J., 1990. The impact of sea-level rise on coastal salt marshes. *Prog. Phys. Geogr.* 14, 465–481.
- Ribeiro, A., Antunes, M.T., Ferreira, M.P., Rocha, R.B., Soares, A.F., Zbyszewsky, G., Moitinho de Almeida, F., Carvalho, D., Monteiro, J.H., 1979. Introduction à la géologie générale du Portugal. *Serviços geológicos de Portugal*.
- Salgueiro, N., Caçador, I., 2007. Short-term sedimentation in Tagus estuary, Portugal: the influence of salt marsh plants. *Hydrobiologia* 587, 185–193.
- Sanchez-Cabeza, J.A., Ruiz-Fernández, A.C., 2012. ²¹⁰Pb sediment radiochronology: An integrated formulation and classification of dating models. *Geochim. Cosmochim. Acta* 82, 183–200.
- Taborda, R., Freire, P., Silva, A., 2009. Origin and evolution of Tagus estuarine beaches. *J. Coast. Res.* 56, 213–217.
- Townend, I., Fletcher, C., Knappen, M., Rossington, K., 2011. A review of salt marsh dynamics. *Water Environ. J.* 25, 477–488.
- Vos, P., Kesteren, W. van, 2000. The long-term evolution of intertidal mudflats in the northern Netherlands during the Holocene; natural and anthropogenic processes. *Cont. Shelf Res.* 20, 31–38.

- Woodroffe, C.D., 2003. Coasts: form, process and evolution, First Edit. ed. Cambridge University Press, United Kingdom.
- Zbyszewsky, G., 1963. Notícia explicativa da Folha 4 - Lisboa, da Carta Geológica dos arredores de Lisboa na escala 1/50 000. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Zbyszewsky, G., 1964. Notícia explicativa da Folha 2 - Loures, da Carta Geológica dos arredores de Lisboa na escala 1/50 000. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Zhang, R.S., Shen, Y.M., Lu, L.Y., Yan, S.G., Wang, Y.H., Li, J.L., Zhang, Z.L., 2004. Formation of *Spartina alterniflora* salt marshes on the coast of Jiangsu Province, China. *Ecol. Eng.* 23, 95–105.

ANEXO I – Tabelas de resultados sedimentológicos

Dados do sapal de Corroios

Tabela 10 a - Resultados sedimentológicos dos segmentos #1 e #2 da sondagem do Sapal de Corroios.

Segmento	Amostra	Prof. Média (cm)	Teor de CaCO ₃ (Baize, 1988) (%)		Teor de M. Orgânica (Costa, 1991) (%)		Teor de part. Grosseiras (Costa, 1991) (%)		pH (Costa, 1991)		Teor de água (%)
#1	0-2	1	0.11	Nada/pouco Carbonatado	17.40	Muito alto	24.76	Vasa pouco Arenosa	6.63	Neutro	62.15
	4-6	5	0.00	Nada/pouco Carbonatado	16.64	Muito alto	15.35	Vasa pouco Arenosa	5.99	Subácido	61.06
	8-10	9	0.02	Nada/pouco Carbonatado	13.64	Alto	20.35	Vasa pouco Arenosa	6.29	Subácido	60.57
	12-14	13	0.06	Nada/pouco Carbonatado	12.47	Alto	36.01	Vasa Arenosa	6.37	Subácido	60.38
	16-18	17	0.00	Nada/pouco Carbonatado	10.95	Alto	25.72	Vasa Arenosa	6.41	Subácido	58.19
	20-22	21	0.00	Nada/pouco Carbonatado	11.39	Alto	19.44	Vasa pouco Arenosa	6.46	Subácido	57.37
	24-26	25	0.00	Nada/pouco Carbonatado	8.35	Alto	14.73	Vasa pouco Arenosa	6.22	Subácido	54.36
	28-30	29	0.20	Nada/pouco Carbonatado	8.79	Alto	18.17	Vasa pouco Arenosa	6.40	Subácido	51.38
	32-34	33	0.00	Nada/pouco Carbonatado	7.37	Alto	17.38	Vasa pouco Arenosa	6.49	Subácido	52.47
	36-38	37	0.06	Nada/pouco Carbonatado	7.49	Alto	17.12	Vasa pouco Arenosa	6.53	Neutro	51.57
#2	40-42	41	0.00	Nada/pouco Carbonatado	9.73	Alto	15.85	Vasa pouco Arenosa	6.91	Neutro	56.19
	44-46	45	0.02	Nada/pouco Carbonatado	8.76	Alto	13.38	Vasa pouco Arenosa	6.64	Neutro	51.81
	48-50	49	0.00	Nada/pouco Carbonatado	9.02	Alto	9.65	Vasa pouco Arenosa	6.65	Neutro	52.18
	52-54	53	0.02	Nada/pouco Carbonatado	9.22	Alto	21.51	Vasa pouco Arenosa	6.66	Neutro	54.05
	56-58	57	0.00	Nada/pouco Carbonatado	10.64	Alto	23.98	Vasa pouco Arenosa	6.79	Neutro	54.93
	60-62	61	0.09	Nada/pouco Carbonatado	7.91	Alto	7.95	Vasa pouco Arenosa	6.75	Neutro	52.00
	64-66	65	0.00	Nada/pouco Carbonatado	8.26	Alto	12.95	Vasa pouco Arenosa	6.81	Neutro	52.39
	68-70	69	0.00	Nada/pouco Carbonatado	8.25	Alto	11.62	Vasa pouco Arenosa	6.74	Neutro	53.04

Sedimentologia e morfodinâmica de sapais do estuário do Tejo em cenários de alteração climática

Tabela 10 b - Resultados sedimentológicos dos segmentos #3 e #4 da sondagem do Sapal de Corroios.

Segmento	Amostra	Prof. Média (cm)	Teor de CaCO ₃ (Baize, 1988) (%)		Teor de M. Orgânica (Costa, 1991) (%)		Teor de part. Grosseiras (Costa, 1991) (%)		pH (Costa, 1991)		Teor de água (%)
#3	70-72	71	0.07	Nada/pouco Carbonatado	8.16	Alto	12.30	Vasa pouco Arenosa	6.82	Neutro	51.62
	74-76	75	0.11	Nada/pouco Carbonatado	7.02	Alto	12.01	Vasa pouco Arenosa	6.88	Neutro	49.47
	78-80	79	0.41	Nada/pouco Carbonatado	7.44	Alto	15.01	Vasa pouco Arenosa	6.79	Neutro	51.92
	82-84	83	1.04	Nada/pouco Carbonatado	8.45	Alto	23.46	Vasa pouco Arenosa	6.82	Neutro	51.07
	86-88	87	1.37	Nada/pouco Carbonatado	7.90	Alto	19.20	Vasa pouco Arenosa	7.07	Neutro	50.75
	90-92	91	1.35	Nada/pouco Carbonatado	8.56	Alto	10.32	Vasa pouco Arenosa	7.06	Neutro	49.34
	94-96	95	2.92	Nada/pouco Carbonatado	7.36	Alto	2.64	Vasa	7.33	Neutro	48.23
	98-100	99	3.38	Nada/pouco Carbonatado	6.68	Mod. Alto	7.91	Vasa pouco Arenosa	7.44	Neutro	47.66
	102-104	103	3.46	Nada/pouco Carbonatado	7.77	Alto	5.70	Vasa pouco Arenosa	7.08	Neutro	47.08
	106-108	107	3.92	Nada/pouco Carbonatado	7.82	Alto	11.18	Vasa pouco Arenosa	7.05	Neutro	51.14
#4	110-112	111	1.60	Nada/pouco Carbonatado	7.29	Alto	8.35	Vasa pouco Arenosa	7.16	Neutro	51.50
	114-116	115	3.11	Nada/pouco Carbonatado	7.56	Alto	4.30	Vasa	7.03	Neutro	50.02
	118-120	119	3.51	Nada/pouco Carbonatado	7.50	Alto	5.55	Vasa pouco Arenosa	7.20	Neutro	47.95
	120-122	121	3.78	Nada/pouco Carbonatado	6.56	Mod. Alto	7.91	Vasa pouco Arenosa	7.28	Neutro	48.22
	124-126	125	4.22	Nada/pouco Carbonatado	7.31	Alto	5.07	Vasa pouco Arenosa	7.06	Neutro	46.68
	128-130	129	4.19	Nada/pouco Carbonatado	5.89	Mod. Alto	7.56	Vasa pouco Arenosa	7.04	Neutro	46.66
	132-134	133	3.37	Nada/pouco Carbonatado	6.93	Mod. Alto	6.96	Vasa pouco Arenosa	6.91	Neutro	46.20
	136-138	137	4.71	Nada/pouco Carbonatado	7.07	Alto	6.91	Vasa pouco Arenosa	7.13	Neutro	45.78

Sedimentologia e morfodinâmica de sapais do estuário do Tejo em cenários de alteração climática

Tabela 10 c - Resultados sedimentológicos dos segmentos #5 e #6 da sondagem do Sapal de Corroios.

Segmento	Amostra	Prof. Média (cm)	Teor de CaCO ₃ (Baize, 1988) (%)		Teor de M. Orgânica (Costa, 1991) (%)		Teor de part. Grosseiras (Costa, 1991) (%)		pH (Costa, 1991)		Teor de água (%)
#5	140-142	141	3.56	Nada/pouco Carbonatado	6.83	Mod. Alto	4.92	Vasa	6.96	Neutro	46.12
	144-146	145	3.94	Nada/pouco Carbonatado	5.87	Mod. Alto	6.20	Vasa pouco Arenosa	6.89	Neutro	46.81
	148-150	149	4.45	Nada/pouco Carbonatado	5.95	Mod. Alto	3.54	Vasa	6.99	Neutro	46.66
	152-154	153	4.83	Nada/pouco Carbonatado	5.77	Mod. Alto	5.34	Vasa pouco Arenosa	6.80	Neutro	46.30
	156-158	157	3.98	Nada/pouco Carbonatado	6.22	Mod. Alto	4.64	Vasa	6.87	Neutro	45.70
	160-162	161	3.60	Nada/pouco Carbonatado	5.27	Mod. Alto	2.47	Vasa	6.83	Neutro	45.34
	164-166	165	3.62	Nada/pouco Carbonatado	5.45	Mod. Alto	3.15	Vasa	6.86	Neutro	45.53
	168-170	169	3.89	Nada/pouco Carbonatado	5.99	Mod. Alto	3.10	Vasa	6.92	Neutro	44.51
	172-174	173	4.23	Nada/pouco Carbonatado	5.91	Mod. Alto	1.24	Vasa	7.06	Neutro	45.06
	176-178	177	4.26	Nada/pouco Carbonatado	6.16	Mod. Alto	3.99	Vasa	6.94	Neutro	43.08
#6	180-182	181	5.21	Pouco Carbonatado	8.27	Alto	2.73	Vasa	6.93	Neutro	43.32
	184-186	185	3.81	Nada/pouco Carbonatado	7.28	Alto	2.47	Vasa	6.92	Neutro	42.01
	188-190	189	3.59	Nada/pouco Carbonatado	7.40	Alto	3.02	Vasa	6.94	Neutro	41.85
	192-194	193	3.17	Nada/pouco Carbonatado	7.20	Alto	2.63	Vasa	6.87	Neutro	42.73
	196-198	197	3.27	Nada/pouco Carbonatado	7.12	Alto	1.67	Vasa	6.90	Neutro	41.78
	200-202	201	3.50	Nada/pouco Carbonatado	7.34	Alto	1.98	Vasa	6.93	Neutro	41.33
	204-206	205	3.89	Nada/pouco Carbonatado	7.00	Alto	2.44	Vasa	6.98	Neutro	40.79
	208-210	209	4.30	Nada/pouco Carbonatado	7.47	Alto	4.28	Vasa	7.09	Neutro	41.21

Sedimentologia e morfodinâmica de sapais do estuário do Tejo em cenários de alteração climática

Tabela 10 d - Resultados sedimentológicos dos segmentos #7, #8 e #9 da sondagem do Sapal de Corroios.

Segmento	Amostra	Prof. Média (cm)	Teor de CaCO ₃ (Baize, 1988) (%)		Teor de M. Orgânica (Costa, 1991) (%)		Teor de part. Grosseiras (Costa, 1991) (%)		pH (Costa, 1991)		Teor de água (%)
#7	210-212	211	3.69	Nada/pouco Carbonatado	6.19	Mod. Alto	7.76	Vasa pouco Arenosa	6.97	Neutro	43.87
	214-216	215	8.41	Pouco Carbonatado	5.17	Mod. Alto	3.25	Vasa	6.87	Neutro	43.89
	218-220	219	3.23	Nada/pouco Carbonatado	5.60	Mod. Alto	3.32	Vasa	6.93	Neutro	45.17
	222-224	223	5.16	Pouco Carbonatado	5.95	Mod. Alto	4.67	Vasa	6.91	Neutro	45.57
	226-228	227	3.28	Nada/pouco Carbonatado	6.08	Mod. Alto	2.93	Vasa	6.94	Neutro	46.39
	230-232	231	4.08	Nada/pouco Carbonatado	5.79	Mod. Alto	3.01	Vasa	7.08	Neutro	46.32
	234-236	235	4.50	Nada/pouco Carbonatado	5.41	Mod. Alto	2.04	Vasa	6.93	Neutro	45.34
	238-240	239	3.11	Nada/pouco Carbonatado	5.63	Mod. Alto	3.56	Vasa	7.03	Neutro	42.35
	242-244	243	2.93	Nada/pouco Carbonatado	4.68	Médio	5.25	Vasa pouco Arenosa	7.00	Neutro	41.00
	246-248	247	4.70	Nada/pouco Carbonatado	5.05	Mod. Alto	6.24	Vasa pouco Arenosa	7.14	Neutro	40.80
#8	250-252	251	3.78	Nada/pouco Carbonatado	6.61	Mod. Alto	3.22	Vasa	6.95	Neutro	40.39
	254-256	255	3.90	Nada/pouco Carbonatado	8.34	Alto	3.80	Vasa	6.96	Neutro	43.91
	258-260	259	10.67	Pouco Carbonatado	7.06	Alto	19.65	Vasa pouco Arenosa	7.17	Neutro	39.15
	262-264	263	6.29	Pouco Carbonatado	6.18	Mod. Alto	9.21	Vasa pouco Arenosa	7.06	Neutro	38.44
	266-268	267	12.34	Pouco Carbonatado	6.26	Mod. Alto	14.85	Vasa pouco Arenosa	7.14	Neutro	37.93
	270-272	271	6.88	Pouco Carbonatado	2.41	Médio	12.84	Vasa pouco Arenosa	7.23	Neutro	40.22
	275-277	276	13.43	Pouco Carbonatado	8.11	Alto	18.25	Vasa pouco Arenosa	7.28	Neutro	43.30
	279-281	280	10.36	Pouco Carbonatado	9.49	Alto	16.39	Vasa pouco Arenosa	7.21	Neutro	45.06
	283-285	284	4.87	Nada/pouco Carbonatado	9.36	Alto	5.61	Vasa pouco Arenosa	7.24	Neutro	44.97
	287-289	288	4.13	Nada/pouco Carbonatado	9.26	Alto	3.09	Vasa	7.26	Neutro	45.94
	291-293	292	2.85	Nada/pouco Carbonatado	9.58	Alto	4.10	Vasa	7.20	Neutro	45.81
	294-296	295	18.33	Carbonatado	6.10	Mod. Alto	26.45	Vasa Arenosa	7.58	Subalcalino	37.49
	299-302	301	35.22	Carbonatado	2.92	Médio	65.74	Areia Vasosa	7.51	Subalcalino	24.84
305-308	307	28.04	Carbonatado	3.78	Médio	34.87	Vasa Arenosa	7.24	Neutro	30.15	
#9	310-312	311	4.23	Nada/pouco Carbonatado	2.54	Médio	62.76	Areia Vasosa	7.31	Neutro	22.89
	314-316	315	2.84	Nada/pouco Carbonatado	0.86	Baixo	86.28	Areia pouco Vasosa	7.06	Neutro	15.35

Dados do sapal de Pancas

Tabela 11 a - Resultados sedimentológicos dos segmentos #1 e #2 da sondagem realizada no sapal de Pancas.

Segmento	Amostra	Prof. Média (cm)	Teor de CaCO ₃ (Baize, 1988) (%)		Teor de M. Orgânica (Costa, 1991) (%)		Teor de part. Grosseiras (Costa, 1991) (%)		pH (Costa, 1991)		Teor de água (%)
#1	0-2	1	2.72	Nada/pouco Carbonatado	7.81	Alto	7.18	Vasa pouco Arenosa	6.91	Neutro	52.53
	4-6	5	1.76	Nada/pouco Carbonatado	9.21	Alto	6.61	Vasa pouco Arenosa	7.09	Neutro	49.35
	8-10	9	2.22	Nada/pouco Carbonatado	10.86	Alto	7.37	Vasa pouco Arenosa	6.95	Neutro	48.65
	12-14	13	2.16	Nada/pouco Carbonatado	7.13	Alto	7.96	Vasa pouco Arenosa	7.03	Neutro	48.31
	16-18	17	2.03	Nada/pouco Carbonatado	8.38	Alto	10.06	Vasa pouco Arenosa	6.98	Neutro	49.23
	20-22	21	3.27	Nada/pouco Carbonatado	9.92	Alto	7.59	Vasa pouco Arenosa	7.12	Neutro	50.33
	24-26	25	2.08	Nada/pouco Carbonatado	8.57	Alto	6.80	Vasa pouco Arenosa	6.89	Neutro	50.38
	28-30	29	2.16	Nada/pouco Carbonatado	7.61	Alto	4.29	Vasa	6.91	Neutro	49.86
	32-34	33	1.80	Nada/pouco Carbonatado	6.99	Mod. Alto	6.04	Vasa pouco Arenosa	7.04	Neutro	51.17
	36-38	37	1.72	Nada/pouco Carbonatado	6.80	Mod. Alto	5.18	Vasa pouco Arenosa	7.14	Neutro	48.13
#2	40-42	41	2.22	Nada/pouco Carbonatado	8.34	Alto	2.58	Vasa	7.15	Neutro	54.81
	44-46	45	1.88	Nada/pouco Carbonatado	7.91	Alto	7.30	Vasa pouco Arenosa	7.23	Neutro	54.23
	48-50	49	2.84	Nada/pouco Carbonatado	7.69	Alto	4.68	Vasa	7.38	Neutro	51.54
	52-54	53	1.43	Nada/pouco Carbonatado	6.54	Mod. Alto	6.34	Vasa pouco Arenosa	7.23	Neutro	50.89
	56-58	57	1.84	Nada/pouco Carbonatado	5.87	Mod. Alto	2.15	Vasa	7.79	Subalcalino	47.90
	60-62	61	3.13	Nada/pouco Carbonatado	7.79	Alto	1.61	Vasa	7.42	Neutro	50.88
	64-66	65	2.98	Nada/pouco Carbonatado	7.29	Alto	3.96	Vasa	7.52	Subalcalino	49.57
	68-70	69	3.30	Nada/pouco Carbonatado	11.26	Alto	2.48	Vasa	7.45	Neutro	49.43
	72-74	73	3.18	Nada/pouco Carbonatado	8.12	Alto	4.07	Vasa	7.66	Subalcalino	49.60
	76-78	77	2.54	Nada/pouco Carbonatado	6.94	Mod. Alto	7.05	Vasa pouco Arenosa	7.71	Subalcalino	48.61

Sedimentologia e morfodinâmica de sapais do estuário do Tejo em cenários de alteração climática

Tabela 11 b - Resultados sedimentológicos dos segmentos #3 e #4 da sondagem realizada no sapal de Pancas.

Segmento	Amostra	Prof. Média (cm)	Teor de CaCO ₃ (Baize, 1988) (%)		Teor de M. Orgânica (Costa, 1991) (%)		Teor de part. Grosseiras (Costa, 1991) (%)		pH (Costa, 1991)		Teor de água (%)
#3	80-82	81	2.89	Nada/pouco Carbonatado	7.59	Alto	7.85	Vasa pouco Arenosa	7.54	Subalcalino	55.09
	84-86	85	3.35	Nada/pouco Carbonatado	7.22	Alto	2.70	Vasa	7.38	Neutro	53.36
	88-90	89	2.95	Nada/pouco Carbonatado	6.56	Mod. Alto	3.92	Vasa	7.41	Neutro	53.46
	92-94	93	3.36	Nada/pouco Carbonatado	7.75	Alto	4.67	Vasa	7.31	Neutro	50.36
	96-98	97	3.87	Nada/pouco Carbonatado	6.95	Mod. Alto	3.46	Vasa	7.30	Neutro	45.79
	100-102	101	3.04	Nada/pouco Carbonatado	6.50	Mod. Alto	1.46	Vasa	7.57	Subalcalino	45.92
	104-106	105	3.18	Nada/pouco Carbonatado	5.84	Mod. Alto	2.53	Vasa	7.41	Neutro	45.97
	108-110	109	3.19	Nada/pouco Carbonatado	5.61	Mod. Alto	1.62	Vasa	7.37	Neutro	43.08
	112-114	113	2.81	Nada/pouco Carbonatado	6.86	Mod. Alto	1.83	Vasa	7.41	Neutro	40.66
	116-118	117	3.97	Nada/pouco Carbonatado	7.23	Alto	9.74	Vasa pouco Arenosa	7.66	Subalcalino	42.10
#4	120-122	121	3.72	Nada/pouco Carbonatado	8.16	Alto	5.12	Vasa pouco Arenosa	7.33	Neutro	45.29
	124-126	125	3.90	Nada/pouco Carbonatado	7.54	Alto	3.57	Vasa	7.34	Neutro	43.51
	128-130	129	4.25	Nada/pouco Carbonatado	7.62	Alto	1.81	Vasa	7.31	Neutro	41.23
	132-134	133	6.86	Pouco Carbonatado	7.62	Alto	2.11	Vasa	7.48	Neutro	41.24
	136-138	137	8.13	Pouco Carbonatado	7.87	Alto	2.29	Vasa	7.75	Subalcalino	41.04
	140-142	141	5.31	Pouco Carbonatado	8.31	Alto	2.08	Vasa	7.42	Neutro	41.10
	144-146	145	5.22	Pouco Carbonatado	7.58	Alto	1.09	Vasa	7.55	Subalcalino	41.72
	148-150	149	5.26	Pouco Carbonatado	8.20	Alto	1.75	Vasa	7.52	Subalcalino	42.96
	152-154	153	5.43	Pouco Carbonatado	8.36	Alto	1.37	Vasa	7.48	Neutro	42.63
	156-158	157	4.66	Nada/pouco Carbonatado	7.44	Alto	1.26	Vasa	7.52	Subalcalino	41.94

Sedimentologia e morfodinâmica de sapais do estuário do Tejo em cenários de alteração climática

Tabela 11 c - Resultados sedimentológicos dos segmentos #5 e #6 da sondagem realizada no sapal de Pancas.

Segmento	Amostra	Prof. Média (cm)	Teor de CaCO ₃ (Baize, 1988) (%)		Teor de M. Orgânica (Costa, 1991) (%)		Teor de part. Grosseiras (Costa, 1991) (%)		pH (Costa, 1991)		Teor de água (%)
#5	160-162	161	4.81	Nada/pouco Carbonatado	7.92	Alto	2.01	Vasa	7.46	Neutro	46.05
	164-166	165	4.86	Nada/pouco Carbonatado	8.19	Alto	2.59	Vasa	7.47	Neutro	45.02
	168-170	169	6.57	Pouco Carbonatado	8.02	Alto	3.33	Vasa	7.47	Neutro	43.89
	172-174	173	3.91	Nada/pouco Carbonatado	7.88	Alto	1.61	Vasa	7.55	Subalcalino	43.33
	176-178	177	3.72	Nada/pouco Carbonatado	7.29	Alto	2.35	Vasa	7.49	Neutro	43.87
	180-182	181	3.32	Nada/pouco Carbonatado	8.13	Alto	2.00	Vasa	7.61	Subalcalino	44.12
	184-186	185	3.26	Nada/pouco Carbonatado	8.17	Alto	3.02	Vasa	7.59	Subalcalino	44.60
	188-190	189	3.32	Nada/pouco Carbonatado	8.00	Alto	1.15	Vasa	7.54	Subalcalino	44.54
	192-194	193	3.41	Nada/pouco Carbonatado	8.35	Alto	1.37	Vasa	7.47	Neutro	47.38
	196-198	197	3.79	Nada/pouco Carbonatado	7.23	Alto	1.91	Vasa	7.61	Subalcalino	41.96
#6	200-202	201	6.00	Pouco Carbonatado	7.05	Alto	2.47	Vasa	7.26	Neutro	47.57
	204-206	205	8.58	Pouco Carbonatado	6.42	Mod. Alto	5.96	Vasa pouco Arenosa	7.23	Neutro	44.29
	208-210	209	9.45	Pouco Carbonatado	6.99	Mod. Alto	5.06	Vasa pouco Arenosa	7.29	Neutro	45.18
	212-214	213	12.70	Pouco Carbonatado	6.52	Mod. Alto	14.99	Vasa pouco Arenosa	7.31	Neutro	42.71
	216-218	217	3.95	Nada/pouco Carbonatado	6.41	Mod. Alto	1.71	Vasa	7.34	Neutro	42.34
	220-222	221	5.18	Pouco Carbonatado	6.31	Mod. Alto	2.90	Vasa	7.41	Neutro	43.78
	224-226	225	5.02	Pouco Carbonatado	6.95	Mod. Alto	1.45	Vasa	7.46	Neutro	44.57
	228-230	229	17.93	Carbonatado	6.20	Mod. Alto	17.29	Vasa pouco Arenosa	7.60	Subalcalino	42.96
	232-234	233	6.03	Pouco Carbonatado	7.57	Alto	3.55	Vasa	7.25	Neutro	48.60
	236-238	237	12.45	Pouco Carbonatado	7.55	Alto	7.62	Vasa pouco Arenosa	7.34	Neutro	43.02

Sedimentologia e morfodinâmica de sapais do estuário do Tejo em cenários de alteração climática

Tabela 11 d - Resultados sedimentológicos dos segmentos #7 e #8 da sondagem realizada no sapal de Pancas.

Segmento	Amostra	Prof. Média (cm)	Teor de CaCO ₃ (Baize, 1988) (%)		Teor de M. Orgânica (Costa, 1991) (%)		Teor de part. Grosseiras (Costa, 1991) (%)		pH (Costa, 1991)		Teor de água (%)
#7	240-242	241	27.87	Carbonatado	6.24	Mod. Alto	15.20	Vasa pouco Arenosa	7.37	Neutro	41.75
	244-246	245	13.71	Pouco Carbonatado	6.34	Mod. Alto	12.61	Vasa pouco Arenosa	7.39	Neutro	43.15
	248-250	249	16.19	Carbonatado	6.54	Mod. Alto	5.89	Vasa pouco Arenosa	7.31	Neutro	43.30
	252-254	253	8.47	Pouco Carbonatado	7.29	Alto	4.83	Vasa	7.36	Neutro	44.12
	256-258	257	12.81	Pouco Carbonatado	6.81	Mod. Alto	9.00	Vasa pouco Arenosa	7.30	Neutro	43.40
	260-262	261	6.09	Pouco Carbonatado	7.23	Alto	4.26	Vasa	7.26	Neutro	44.59
	264-266	265	6.38	Pouco Carbonatado	6.43	Mod. Alto	2.73	Vasa	7.35	Neutro	45.92
	268-270	269	7.74	Pouco Carbonatado	6.56	Mod. Alto	2.31	Vasa	7.13	Neutro	45.49
	272-274	273	6.83	Pouco Carbonatado	6.96	Mod. Alto	1.72	Vasa	7.18	Neutro	46.17
	276-278	277	5.72	Pouco Carbonatado	7.51	Alto	1.13	Vasa	7.13	Neutro	46.44
#8	280-282	281	10.44	Pouco Carbonatado	6.22	Mod. Alto	4.07	Vasa	7.22	Neutro	44.60
	284-286	285	7.48	Pouco Carbonatado	6.40	Mod. Alto	2.41	Vasa	7.26	Neutro	44.22
	288-290	289	6.41	Pouco Carbonatado	6.79	Mod. Alto	1.78	Vasa	7.13	Neutro	44.13
	292-294	293	4.87	Nada/pouco Carbonatado	7.20	Alto	1.04	Vasa	7.08	Neutro	45.37
	296-298	297	5.71	Pouco Carbonatado	7.16	Alto	2.25	Vasa	7.04	Neutro	44.28
	300-302	301	6.61	Pouco Carbonatado	7.72	Alto	1.68	Vasa	7.07	Neutro	44.78
	304-306	305	6.16	Pouco Carbonatado	6.38	Mod. Alto	1.71	Vasa	7.05	Neutro	44.14
	308-310	309	7.26	Pouco Carbonatado	6.98	Mod. Alto	2.23	Vasa	7.02	Neutro	41.25
	312-314	313	7.23	Pouco Carbonatado	6.52	Mod. Alto	5.37	Vasa pouco Arenosa	6.97	Neutro	41.30
	316-317	317	10.99	Pouco Carbonatado	5.83	Mod. Alto	9.39	Vasa pouco Arenosa	6.96	Neutro	40.46

Dados do sapal do Mouchão da Póvoa

Tabela 12 a - Resultados sedimentológicos dos segmentos #1 e #2 da sondagem realizada no sapal do Mouchão da Póvoa.

Segmento	Amostra	Prof. Média (cm)	Teor de CaCO ₃ (Baize, 1988) (%)		Teor de M. Orgânica (Costa, 1991) (%)		Teor de part. Grosseiras (Costa, 1991) (%)		pH (Costa, 1991)		Teor de água (%)
#1	0-2	1	1.30	Nada/pouco Carbonatado	12.17	Alto	15.57	Vasa pouco Arenosa	6.88	Neutro	48.77
	4-6	5	0.81	Nada/pouco Carbonatado	13.96	Alto	8.73	Vasa pouco Arenosa	6.85	Neutro	51.27
	8-10	9	0.76	Nada/pouco Carbonatado	14.57	Alto	9.47	Vasa pouco Arenosa	6.93	Neutro	52.41
	12-14	13	0.64	Nada/pouco Carbonatado	10.15	Alto	4.49	Vasa	6.78	Neutro	47.55
	16-18	17	0.57	Nada/pouco Carbonatado	8.64	Alto	6.39	Vasa pouco Arenosa	6.75	Neutro	46.07
	20-22	21	0.27	Nada/pouco Carbonatado	9.16	Alto	9.81	Vasa pouco Arenosa	6.81	Neutro	47.29
	24-26	25	0.27	Nada/pouco Carbonatado	8.13	Alto	12.28	Vasa pouco Arenosa	6.80	Neutro	45.89
	28-30	29	0.30	Nada/pouco Carbonatado	10.45	Alto	7.62	Vasa pouco Arenosa	6.81	Neutro	49.19
	32-34	33	0.39	Nada/pouco Carbonatado	11.65	Alto	20.60	Vasa pouco Arenosa	7.03	Neutro	48.82
	36-38	37	0.92	Nada/pouco Carbonatado	9.97	Alto	17.89	Vasa pouco Arenosa	6.65	Neutro	46.94
#2	40-42	41	0.90	Nada/pouco Carbonatado	8.06	Alto	2.95	Vasa	6.93	Neutro	47.17
	44-46	45	0.92	Nada/pouco Carbonatado	8.42	Alto	5.69	Vasa pouco Arenosa	6.85	Neutro	48.72
	48-50	49	0.99	Nada/pouco Carbonatado	9.70	Alto	7.35	Vasa pouco Arenosa	6.98	Neutro	50.07
	52-54	53	0.51	Nada/pouco Carbonatado	10.89	Alto	14.40	Vasa pouco Arenosa	6.82	Neutro	49.60
	56-58	57	0.50	Nada/pouco Carbonatado	9.20	Alto	14.04	Vasa pouco Arenosa	6.93	Neutro	39.30
	60-62	61	0.94	Nada/pouco Carbonatado	8.47	Alto	8.44	Vasa pouco Arenosa	6.88	Neutro	39.64
	64-66	65	0.99	Nada/pouco Carbonatado	9.33	Alto	9.40	Vasa pouco Arenosa	7.13	Neutro	38.49
	68-70	69	0.84	Nada/pouco Carbonatado	8.33	Alto	5.00	Vasa pouco Arenosa	6.91	Neutro	37.85
	72-74	73	0.72	Nada/pouco Carbonatado	8.35	Alto	7.23	Vasa pouco Arenosa	6.81	Neutro	39.37
	76-78	77	1.22	Nada/pouco Carbonatado	8.43	Alto	11.53	Vasa pouco Arenosa	6.87	Neutro	37.81
	80-82	81	2.14	Nada/pouco Carbonatado	3.87	Médio	2.66	Vasa	7.06	Neutro	41.06
	84-86	85	4.62	Nada/pouco Carbonatado	8.50	Alto	5.01	Vasa pouco Arenosa	6.86	Neutro	38.81
88-90	89	3.64	Nada/pouco Carbonatado	8.41	Alto	1.67	Vasa	7.01	Neutro	39.39	

Sedimentologia e morfodinâmica de sapais do estuário do Tejo em cenários de alteração climática

Tabela 12 b - Resultados sedimentológicos dos segmentos #3 da sondagem realizada no sapal do Mouchão da Póvoa.

Segmento	Amostra	Prof. Média (cm)	Teor de CaCO ₃ (Baize, 1988) (%)		Teor de M. Orgânica (Costa, 1991) (%)		Teor de part. Grosseiras (Costa, 1991) (%)		pH (Costa, 1991)		Teor de água (%)
#3	92-94	93	4.21	Nada/pouco Carbonatado	7.43	Alto	4.27	Vasa	6.99	Neutro	38.84
	96-98	97	1.54	Nada/pouco Carbonatado	7.19	Alto	5.73	Vasa pouco Arenosa	7.19	Neutro	60.87
	100-102	101	1.62	Nada/pouco Carbonatado	10.27	Alto	6.84	Vasa pouco Arenosa	6.93	Neutro	38.76
	104-106	105	1.55	Nada/pouco Carbonatado	7.21	Alto	1.60	Vasa	7.44	Neutro	37.94
	108-110	109	1.28	Nada/pouco Carbonatado	7.66	Alto	2.35	Vasa	7.09	Neutro	38.17
	112-114	113	1.26	Nada/pouco Carbonatado	7.25	Alto	9.72	Vasa pouco Arenosa	6.93	Neutro	38.20
	116-118	117	1.10	Nada/pouco Carbonatado	7.53	Alto	8.77	Vasa pouco Arenosa	6.96	Neutro	38.79
	120-122	121	1.31	Nada/pouco Carbonatado	9.53	Alto	6.23	Vasa pouco Arenosa	6.79	Neutro	39.14
	124-126	125	1.01	Nada/pouco Carbonatado	8.53	Alto	8.57	Vasa pouco Arenosa	6.77	Neutro	41.09
	132-134	133	3.09	Nada/pouco Carbonatado	6.76	Mod. Alto	3.55	Vasa	7.42	Neutro	32.78
	136-138	137	2.93	Nada/pouco Carbonatado	7.77	Alto	1.81	Vasa	7.00	Neutro	32.73
	140-142	141	3.17	Nada/pouco Carbonatado	7.72	Alto	3.34	Vasa	7.32	Neutro	32.30
	144-146	145	3.33	Nada/pouco Carbonatado	6.96	Mod. Alto	2.17	Vasa	7.11	Neutro	33.02
	148-150	149	3.33	Nada/pouco Carbonatado	7.15	Alto	2.71	Vasa	7.39	Neutro	33.82
	152-154	153	3.34	Nada/pouco Carbonatado	7.59	Alto	2.22	Vasa	7.17	Neutro	33.48
	156-158	157	4.35	Nada/pouco Carbonatado	6.68	Mod. Alto	2.42	Vasa	7.38	Neutro	32.89
	160-162	161	3.43	Nada/pouco Carbonatado	7.19	Alto	2.23	Vasa	7.13	Neutro	33.27
	164-166	165	4.18	Nada/pouco Carbonatado	6.77	Mod. Alto	0.50	Vasa	7.36	Neutro	34.53
168-170	169	4.29	Nada/pouco Carbonatado	7.02	Alto	1.94	Vasa	7.31	Neutro	31.25	
172-174	173	8.70	Pouco Carbonatado	6.28	Mod. Alto	0.81	Vasa	7.36	Neutro	35.33	
176-178	177	5.48	Pouco Carbonatado	6.69	Mod. Alto	1.91	Vasa	7.11	Neutro	36.25	

Sedimentologia e morfodinâmica de sapais do estuário do Tejo em cenários de alteração climática

Tabela 12 c - Resultados sedimentológicos dos segmentos #4 e #5 da sondagem realizada no sapal do Mouchão da Póvoa.

Segmento	Amostra	Prof. Média (cm)	Teor de CaCO ₃ (Baize, 1988) (%)		Teor de M. Orgânica (Costa, 1991) (%)		Teor de part. Grosseiras (Costa, 1991) (%)		pH (Costa, 1991)		Teor de água (%)
#4	180-182	181	5.55	Pouco Carbonatado	7.28	Alto	1.50	Vasa	6.77	Neutro	43.30
	184-186	185	6.66	Pouco Carbonatado	6.54	Mod. Alto	3.11	Vasa	7.12	Neutro	41.56
	188-190	189	8.66	Pouco Carbonatado	6.93	Mod. Alto	0.92	Vasa	7.10	Neutro	41.13
	192-194	193	7.06	Pouco Carbonatado	7.66	Alto	2.85	Vasa	7.20	Neutro	41.98
	196-198	197	6.39	Pouco Carbonatado	6.98	Mod. Alto	4.20	Vasa	7.28	Neutro	42.34
	200-202	201	6.05	Pouco Carbonatado	7.12	Alto	4.98	Vasa	7.31	Neutro	42.30
	204-206	205	5.58	Pouco Carbonatado	6.79	Mod. Alto	2.94	Vasa	7.34	Neutro	41.86
	208-210	209	6.14	Pouco Carbonatado	6.90	Mod. Alto	5.01	Vasa pouco Arenosa	7.41	Neutro	41.65
	212-214	213	5.14	Pouco Carbonatado	7.37	Alto	3.34	Vasa	7.38	Neutro	41.48
	216-218	217	4.88	Nada/pouco Carbonatado	6.80	Mod. Alto	7.83	Vasa pouco Arenosa	7.34	Neutro	39.79
#5	220-222	221	5.71	Pouco Carbonatado	6.82	Mod. Alto	5.89	Vasa pouco Arenosa	7.24	Neutro	44.60
	224-226	225	4.34	Nada/pouco Carbonatado	6.46	Mod. Alto	9.24	Vasa pouco Arenosa	7.42	Neutro	41.18
	228-230	229	4.98	Nada/pouco Carbonatado	5.62	Mod. Alto	9.91	Vasa pouco Arenosa	7.53	Subalcalino	40.35
	232-234	233	4.70	Nada/pouco Carbonatado	6.13	Mod. Alto	9.07	Vasa pouco Arenosa	7.52	Subalcalino	41.58
	236-238	237	4.49	Nada/pouco Carbonatado	5.77	Mod. Alto	9.43	Vasa pouco Arenosa	7.52	Subalcalino	41.07
	240-242	241	6.22	Pouco Carbonatado	6.66	Mod. Alto	9.54	Vasa pouco Arenosa	7.57	Subalcalino	41.04
	244-246	245	5.00	Nada/pouco Carbonatado	6.39	Mod. Alto	2.72	Vasa	7.55	Subalcalino	42.15
	248-250	249	5.67	Pouco Carbonatado	6.28	Mod. Alto	5.38	Vasa pouco Arenosa	7.53	Subalcalino	41.81
	252-254	253	7.46	Pouco Carbonatado	6.75	Mod. Alto	7.64	Vasa pouco Arenosa	7.48	Neutro	41.37
	256-258	257	6.76	Pouco Carbonatado	6.56	Mod. Alto	8.69	Vasa pouco Arenosa	7.51	Subalcalino	41.64

Sedimentologia e morfodinâmica de sapais do estuário do Tejo em cenários de alteração climática

Tabela 12 d - Resultados sedimentológicos dos segmentos #6 e #7 da sondagem realizada no sapal do Mouchão da Póvoa.

Segmento	Amostra	Prof. Média (cm)	Teor de CaCO3 (Baize, 1988) (%)		Teor de M. Orgânica (Costa, 1991) (%)		Teor de part. Grosseiras (Costa, 1991) (%)		pH (Costa, 1991)		Teor de água (%)
#6	260-262	261	6.99	Pouco Carbonatado	7.54	Alto	5.90	Vasa pouco Arenosa	7.37	Neutro	46.14
	264-266	265	3.49	Nada/pouco Carbonatado	7.72	Alto	3.95	Vasa	7.70	Subalcalino	45.59
	268-270	269	3.36	Nada/pouco Carbonatado	7.04	Alto	0.81	Vasa	7.70	Subalcalino	45.11
	272-274	273	3.60	Nada/pouco Carbonatado	7.21	Alto	0.33	Vasa	7.59	Subalcalino	45.38
	276-278	277	4.07	Nada/pouco Carbonatado	7.55	Alto	2.99	Vasa	7.67	Subalcalino	45.22
	280-282	281	3.14	Nada/pouco Carbonatado	7.21	Alto	2.60	Vasa	7.64	Subalcalino	44.13
	284-286	285	4.16	Nada/pouco Carbonatado	7.35	Alto	3.58	Vasa	7.64	Subalcalino	43.57
	288-290	289	3.90	Nada/pouco Carbonatado	7.59	Alto	4.45	Vasa	7.56	Subalcalino	44.70
	292-294	293	4.15	Nada/pouco Carbonatado	6.36	Mod. Alto	3.67	Vasa	7.57	Subalcalino	44.40
	296-298	297	3.41	Nada/pouco Carbonatado	7.86	Alto	4.48	Vasa	7.39	Neutro	45.54
#7	300-302	301	3.90	Nada/pouco Carbonatado	6.89	Mod. Alto	3.31	Vasa	7.32	Neutro	45.16
	304-306	305	5.78	Pouco Carbonatado	7.30	Alto	2.08	Vasa	7.60	Subalcalino	43.88
	308-310	309	4.20	Nada/pouco Carbonatado	6.88	Mod. Alto	2.87	Vasa	7.57	Subalcalino	42.83
	312-314	313	4.36	Nada/pouco Carbonatado	7.25	Alto	3.02	Vasa	7.51	Subalcalino	42.23
	316-318	317	3.40	Nada/pouco Carbonatado	6.96	Mod. Alto	3.35	Vasa	7.54	Subalcalino	42.40
	320-322	321	3.23	Nada/pouco Carbonatado	6.50	Mod. Alto	5.63	Vasa pouco Arenosa	7.51	Subalcalino	43.32
	324-326	325	3.76	Nada/pouco Carbonatado	5.84	Mod. Alto	12.19	Vasa pouco Arenosa	7.41	Neutro	40.20
	328-330	329	4.88	Nada/pouco Carbonatado	6.37	Mod. Alto	10.97	Vasa pouco Arenosa	7.52	Subalcalino	39.75
	332-334	333	3.57	Nada/pouco Carbonatado	5.04	Mod. Alto	12.60	Vasa pouco Arenosa	7.45	Neutro	37.81

Sedimentologia e morfodinâmica de sapais do estuário do Tejo em cenários de alteração climática

Tabela 12 e - Resultados sedimentológicos dos segmentos #8 e #9 da sondagem realizada no sapal do Mouchão da Póvoa.

Segmento	Amostra	Prof. Média (cm)	Teor de CaCO ₃ (Baize, 1988) (%)		Teor de M. Orgânica (Costa, 1991) (%)		Teor de part. Grosseiras (Costa, 1991) (%)		pH (Costa, 1991)		Teor de água (%)
#8	335-337	336	3.57	Nada/pouco Carbonatado	5.45	Mod. Alto	8.65	Vasa pouco Arenosa	7.35	Neutro	43.07
	339-341	340	8.65	Pouco Carbonatado	5.42	Mod. Alto	12.69	Vasa pouco Arenosa	7.59	Subalcalino	38.20
	343-345	344	5.37	Pouco Carbonatado	2.82	Médi o	44.00	Vasa Arenosa	7.66	Subalcalino	28.63
	347-349	348	2.31	Nada/pouco Carbonatado	2.99	Médi o	40.03	Vasa Arenosa	7.65	Subalcalino	28.94
	351-353	352	1.85	Nada/pouco Carbonatado	2.29	Médi o	56.02	Areia Vasosa	7.62	Subalcalino	24.55
	355-357	356	3.55	Nada/pouco Carbonatado	2.54	Médi o	42.89	Vasa Arenosa	7.52	Subalcalino	26.38
	360-362	361	6.71	Pouco Carbonatado	5.79	Mod. Alto	15.93	Vasa pouco Arenosa	7.38	Neutro	38.70
	364-366	365	6.53	Pouco Carbonatado	4.82	Médi o	21.47	Vasa pouco Arenosa	7.31	Neutro	39.05
	368-370	369	6.80	Pouco Carbonatado	5.64	Mod. Alto	19.47	Vasa pouco Arenosa	7.29	Neutro	39.46
	372-375	373.5	4.53	Nada/pouco Carbonatado	6.78	Mod. Alto	9.90	Vasa pouco Arenosa	7.30	Neutro	43.98
#9	377-379	378	7.90	Pouco Carbonatado	5.90	Mod. Alto	14.36	Vasa pouco Arenosa	7.22	Neutro	42.24
	381-383	382	4.95	Nada/pouco Carbonatado	6.85	Mod. Alto	5.50	Vasa pouco Arenosa	7.28	Neutro	44.56
	385-387	386	5.38	Pouco Carbonatado	7.41	Alto	5.39	Vasa pouco Arenosa	7.23	Neutro	44.89
	389-391	390	6.17	Pouco Carbonatado	6.39	Mod. Alto	4.49	Vasa	7.29	Neutro	44.31
	393-395	394	6.58	Pouco Carbonatado	6.71	Mod. Alto	3.07	Vasa	7.27	Neutro	44.14
	397-399	398	9.50	Pouco Carbonatado	7.12	Alto	4.34	Vasa	7.36	Neutro	44.59
	401-403	402	12.18	Pouco Carbonatado	6.46	Mod. Alto	7.41	Vasa pouco Arenosa	7.29	Neutro	42.68
	405-407	406	9.45	Pouco Carbonatado	7.16	Alto	8.75	Vasa pouco Arenosa	7.34	Neutro	43.00
	409-411	410	8.04	Pouco Carbonatado	6.01	Mod. Alto	9.42	Vasa pouco Arenosa	7.31	Neutro	42.98
	413-415	414	7.31	Pouco Carbonatado	6.61	Mod. Alto	11.60	Vasa pouco Arenosa	7.17	Neutro	41.67

Dados do sapal do Trancão

Tabela 13 a - Resultados sedimentológicos dos segmentos #1, #2 e #3 da sondagem realizada no sapal do Trancão.

Segmento	Amostra	Prof. Média (cm)	Teor de CaCO ₃ (Baize, 1988) (%)		Teor de M. Orgânica (Costa, 1991) (%)		Teor de part. Grosseiras (Costa, 1991) (%)	
#1	0-2	1	0.00	Nada/pouco Carbonatado	24.09	Muito alto	15.94	Vasa pouco Arenosa
	4-6	5	0.00	Nada/pouco Carbonatado	22.66	Muito alto	10.94	Vasa pouco Arenosa
	8-10	9	0.00	Nada/pouco Carbonatado	21.10	Muito alto	11.42	Vasa pouco Arenosa
	12-14	13	0.00	Nada/pouco Carbonatado	9.79	Alto	4.19	Vasa
	16-18	17	0.00	Nada/pouco Carbonatado	9.84	Alto	3.64	Vasa
	20-22	21	0.94	Nada/pouco Carbonatado	9.24	Alto	12.48	Vasa pouco Arenosa
	24-26	25	2.39	Nada/pouco Carbonatado	8.02	Alto	1.94	Vasa
	28-30	29	9.23	Pouco Carbonatado	7.65	Alto	1.10	Vasa
	32-34	33	1.56	Nada/pouco Carbonatado	8.62	Alto	1.92	Vasa
	36-38	37	1.49	Nada/pouco Carbonatado	8.01	Alto	1.51	Vasa
	40-42	41	2.25	Nada/pouco Carbonatado	12.73	Alto	0.86	Vasa
#2	44-46	45	3.97	Nada/pouco Carbonatado	17.63	Muito alto	0.54	Vasa
	48-50	49	1.86	Nada/pouco Carbonatado	9.13	Alto	1.17	Vasa
	52-54	53	1.76	Nada/pouco Carbonatado	14.58	Alto	0.70	Vasa
	56-58	57	1.91	Nada/pouco Carbonatado	8.70	Alto	0.76	Vasa
	60-62	61	4.15	Nada/pouco Carbonatado	12.56	Alto	1.07	Vasa
	64-66	65	4.70	Nada/pouco Carbonatado	13.29	Alto	0.36	Vasa
	68-70	69	5.98	Pouco Carbonatado	15.91	Muito alto	0.10	Vasa
	72-74	73	3.34	Nada/pouco Carbonatado	11.03	Alto	0.80	Vasa
	76-78	77	4.37	Nada/pouco Carbonatado	12.27	Alto	0.51	Vasa
#3	80-82	81	2.83	Nada/pouco Carbonatado	7.15	Alto	0.68	Vasa
	84-86	85	4.84	Nada/pouco Carbonatado	10.35	Alto	0.94	Vasa
	88-90	89	4.70	Nada/pouco Carbonatado	9.79	Alto	1.89	Vasa
	92-94	93	5.73	Pouco Carbonatado	9.54	Alto	2.04	Vasa
	96-98	97	6.16	Pouco Carbonatado	10.37	Alto	1.72	Vasa
	100-102	101	4.20	Nada/pouco Carbonatado	9.96	Alto	0.94	Vasa
	104-106	105	4.09	Nada/pouco Carbonatado	10.39	Alto	2.79	Vasa
	108-110	109	3.72	Nada/pouco Carbonatado	9.34	Alto	1.88	Vasa
	112-114	113	4.34	Nada/pouco Carbonatado	10.31	Alto	0.91	Vasa
	116-118	117	4.43	Nada/pouco Carbonatado	23.74	Muito alto	2.11	Vasa

Sedimentologia e morfodinâmica de sapais do estuário do Tejo em cenários de alteração climática

Tabela 13 b - Resultados sedimentológicos dos segmentos #4, #4.5, #5 e #6 da sondagem realizada no sapal do Trancão.

Segmento	Amostra	Prof. Média (cm)	Teor de CaCO ₃ (Baize, 1988) (%)		Teor de M. Orgânica (Costa, 1991) (%)		Teor de part. Grosseiras (Costa, 1991) (%)	
#4	120-122	121	4.40	Nada/pouco Carbonatado	8.43	Alto	2.46	Vasa
	124-126	125	3.93	Nada/pouco Carbonatado	7.99	Alto	1.49	Vasa
	128-130	129	3.50	Nada/pouco Carbonatado	8.60	Alto	3.41	Vasa
	132-134	133	3.01	Nada/pouco Carbonatado	8.69	Alto	2.56	Vasa
	136-138	137	4.43	Nada/pouco Carbonatado	8.69	Alto	2.69	Vasa
	140-142	141	4.41	Nada/pouco Carbonatado	1.83	Baixo	4.38	Vasa
	144-146	145	3.82	Nada/pouco Carbonatado	8.66	Alto	4.16	Vasa
#4.5(Hiato)	146-148	147	4.02	Nada/pouco Carbonatado	7.91	Alto	3.37	Vasa
	150-152	151	3.96	Nada/pouco Carbonatado	8.84	Alto	2.78	Vasa
	154-156	155	3.81	Nada/pouco Carbonatado	9.18	Alto	2.25	Vasa
	158-160	159	3.89	Nada/pouco Carbonatado	8.78	Alto	2.16	Vasa
#5	160-162	161	4.94	Nada/pouco Carbonatado	6.99	Mod. Alto	1.10	Vasa
	164-166	165	4.64	Nada/pouco Carbonatado	8.57	Alto	1.85	Vasa
	168-170	169	4.16	Nada/pouco Carbonatado	7.14	Alto	1.54	Vasa
	172-174	173	4.02	Nada/pouco Carbonatado	5.23	Mod. Alto	1.11	Vasa
	176-178	177	4.12	Nada/pouco Carbonatado	6.83	Mod. Alto	1.31	Vasa
	180-182	181	3.80	Nada/pouco Carbonatado	7.26	Alto	1.11	Vasa
	184-186	185	4.92	Nada/pouco Carbonatado	6.83	Mod. Alto	1.16	Vasa
	188-190	189	3.54	Nada/pouco Carbonatado	6.87	Mod. Alto	1.44	Vasa
	192-194	193	2.33	Nada/pouco Carbonatado	6.31	Mod. Alto	1.20	Vasa
	196-198	197	3.13	Nada/pouco Carbonatado	6.58	Mod. Alto	1.48	Vasa
#6	200-202	201	3.64	Nada/pouco Carbonatado	6.05	Mod. Alto	1.71	Vasa
	204-206	205	3.63	Nada/pouco Carbonatado	7.63	Alto	2.25	Vasa
	208-210	209	4.13	Nada/pouco Carbonatado	6.38	Mod. Alto	2.71	Vasa
	212-214	213	4.34	Nada/pouco Carbonatado	6.14	Mod. Alto	2.26	Vasa
	216-218	217	5.36	Pouco Carbonatado	6.75	Mod. Alto	2.21	Vasa
	220-222	221	5.98	Pouco Carbonatado	7.26	Alto	0.53	Vasa
	224-226	225	6.41	Pouco Carbonatado	5.77	Mod. Alto	1.99	Vasa
	228-230	229	4.58	Nada/pouco Carbonatado	6.86	Mod. Alto	1.86	Vasa
	232-234	233	4.56	Nada/pouco Carbonatado	6.73	Mod. Alto	5.43	Vasa pouco Arenosa
	234-236	235	4.69	Nada/pouco Carbonatado	6.68	Mod. Alto	3.36	Vasa

Sedimentologia e morfodinâmica de sapais do estuário do Tejo em cenários de alteração climática

Tabela 13 c - Resultados sedimentológicos dos segmentos #7, #8 e #9 da sondagem realizada no sapal do Trancão.

Segmento	Amostra	Prof. Média (cm)	Teor de CaCO ₃ (Baize, 1988) (%)		Teor de M. Orgânica (Costa, 1991) (%)		Teor de part. Grosseiras (Costa, 1991) (%)	
#7	240-242	241	4.92	Nada/pouco Carbonatado	6.32	Mod. Alto	5.19	Vasa pouco Arenosa
	244-246	245	5.10	Pouco Carbonatado	7.01	Alto	2.25	Vasa
	248-250	249	5.27	Pouco Carbonatado	6.89	Mod. Alto	3.10	Vasa
	252-254	253	6.03	Pouco Carbonatado	6.45	Mod. Alto	3.96	Vasa
	256-258	257	5.44	Pouco Carbonatado	6.55	Mod. Alto	2.51	Vasa
	260-262	261	5.15	Pouco Carbonatado	6.24	Mod. Alto	2.60	Vasa
	264-266	265	3.94	Nada/pouco Carbonatado	6.04	Mod. Alto	2.78	Vasa
	268-270	269	5.41	Pouco Carbonatado	6.03	Mod. Alto	3.76	Vasa
	272-274	273	3.31	Nada/pouco Carbonatado	6.28	Mod. Alto	3.16	Vasa
	276-278	277	2.89	Nada/pouco Carbonatado	6.83	Mod. Alto	2.90	Vasa
#8	280-282	281	4.00	Nada/pouco Carbonatado	6.21	Mod. Alto	2.27	Vasa
	284-286	285	3.60	Nada/pouco Carbonatado	6.71	Mod. Alto	2.18	Vasa
	288-290	289	3.95	Nada/pouco Carbonatado	6.39	Mod. Alto	2.18	Vasa
	292-294	293	4.71	Nada/pouco Carbonatado	6.86	Mod. Alto	3.02	Vasa
	296-298	297	4.03	Nada/pouco Carbonatado	5.82	Mod. Alto	1.45	Vasa
	300-302	301	2.74	Nada/pouco Carbonatado	6.71	Mod. Alto	5.12	Vasa pouco Arenosa
	304-306	305	2.67	Nada/pouco Carbonatado	7.05	Alto	3.063	Vasa
	308-310	309	2.69	Nada/pouco Carbonatado	6.81	Mod. Alto	7.619	Vasa pouco Arenosa
	312-314	313	2.47	Nada/pouco Carbonatado	7.53	Alto	15.451	Vasa pouco Arenosa
	316-318	317	4.62	Nada/pouco Carbonatado	6.82	Mod. Alto	2.965	Vasa
#9	320-322	321	3.07	Nada/pouco Carbonatado	5.09	Mod. Alto	2.483	Vasa
	324-326	325	2.85	Nada/pouco Carbonatado	5.40	Mod. Alto	2.863	Vasa
	328-330	329	2.99	Nada/pouco Carbonatado	5.35	Mod. Alto	3.848	Vasa
	332-334	333	2.83	Nada/pouco Carbonatado	5.33	Mod. Alto	5.347	Vasa pouco Arenosa
	336-338	337	3.16	Nada/pouco Carbonatado	5.42	Mod. Alto	7.016	Vasa pouco Arenosa
	340-342	341	3.54	Nada/pouco Carbonatado	5.40	Mod. Alto	4.395	Vasa
	344-346	345	3.43	Nada/pouco Carbonatado	4.51	Médio	0.984	Vasa
	348-350	349	3.60	Nada/pouco Carbonatado	4.55	Médio	2.372	Vasa
	352-354	353	3.82	Nada/pouco Carbonatado	4.59	Médio	3.62	Vasa
	356-358	357	3.79	Nada/pouco Carbonatado	5.02	Mod. Alto	1.99	Vasa

Sedimentologia e morfodinâmica de sapais do estuário do Tejo em cenários de alteração climática

Tabela 13 d - Resultados sedimentológicos dos segmentos #10 e #11 da sondagem realizada no sapal do Trancão.

Segmento	Amostra	Prof. Média (cm)	Teor de CaCO ₃ (Baize, 1988) (%)		Teor de M. Orgânica (Costa, 1991) (%)		Teor de part. Grosseiras (Costa, 1991) (%)	
#10	360-362	361	3.09	Nada/pouco Carbonatado	4.91	Médio	3.045	Vasa
	364-366	365	4.15	Nada/pouco Carbonatado	4.75	Médio	3.989	Vasa
	368-370	369	3.93	Nada/pouco Carbonatado	4.81	Médio	3.806	Vasa
	372-374	373	3.82	Nada/pouco Carbonatado	4.61	Médio	10.685	Vasa pouco Arenosa
	376-378	377	3.45	Nada/pouco Carbonatado	4.60	Médio	6.191	Vasa pouco Arenosa
	380-382	381	3.08	Nada/pouco Carbonatado	6.45	Mod. Alto	6.482	Vasa pouco Arenosa
	384-386	385	2.97	Nada/pouco Carbonatado	6.65	Mod. Alto	4.658	Vasa
	388-390	389	3.09	Nada/pouco Carbonatado	7.17	Alto	5.562	Vasa pouco Arenosa
	392-394	393	2.92	Nada/pouco Carbonatado	6.70	Mod. Alto	4.355	Vasa
	396-398	397	2.82	Nada/pouco Carbonatado	6.57	Mod. Alto	9.581	Vasa pouco Arenosa
#11	400-402	401	2.52	Nada/pouco Carbonatado	6.80	Mod. Alto	4.322	Vasa
	404-406	405	2.54	Nada/pouco Carbonatado	6.36	Mod. Alto	4.535	Vasa
	408-410	409	2.77	Nada/pouco Carbonatado	6.78	Mod. Alto	6.101	Vasa pouco Arenosa
	412-414	413	2.79	Nada/pouco Carbonatado	7.06	Alto	14.199	Vasa pouco Arenosa
	416-418	417	3.37	Nada/pouco Carbonatado	6.68	Mod. Alto	11.412	Vasa pouco Arenosa
	420-422	421	2.99	Nada/pouco Carbonatado	5.95	Mod. Alto	1.448	Vasa
	424-426	425	2.84	Nada/pouco Carbonatado	6.58	Mod. Alto	5.525	Vasa pouco Arenosa
	428-430	429	3.30	Nada/pouco Carbonatado	6.27	Mod. Alto	4.386	Vasa
	432-434	433	2.66	Nada/pouco Carbonatado	6.63	Mod. Alto	6.481	Vasa pouco Arenosa
	436-438	437	2.45	Nada/pouco Carbonatado	6.72	Mod. Alto	4.594	Vasa